



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

**LABORATORIO DE SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO
DE TUNGSTENO Y GAS (TIG)**

Carlos Walter Martínez Cortez

Asesorado por el Ing. Fredy Arnaldo de León de León

Guatemala, febrero de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**LABORATORIO DE SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO
DE TUNGSTENO Y GAS (TIG)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CARLOS WALTER MARTÍNEZ CORTEZ

ASESORADO POR EL ING. FREDY ARNOLDO DE LEÓN DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

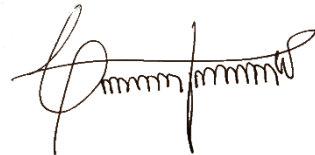
DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR	Ing. Melvin Aman Monroy
EXAMINADOR	Ing. Luis Gerardo Guzmán
SECRETARIO	Ing. Francisco J. González López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

LABORATORIO DE SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO Y GAS (TIG)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 26 de octubre de 2003.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Walter Martínez Cortez', with a stylized flourish at the end.

Carlos Walter Martínez Cortez

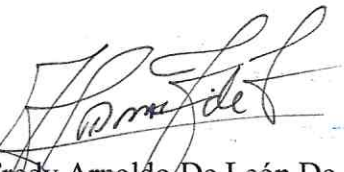
Guatemala, 16 de Marzo de 2,004

Ingeniero José Arturo Estrada Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Estrada :

Por este medio estoy informándole que he realizado la asesoría y revisión del trabajo de graduación elaborado por el estudiante Carlos Walter Martínez Cortez, titulado “ LABORATORIO DE SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO Y GAS (TIG) “, considero que este trabajo cumple con los objetivos planteados y me complace darle la aprobación.

Atentamente,



Ing. Fredy Arnoldo De León De León
Colegiado No. 4,874

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Guatemala, 13 de abril de 2004

El Coordinador del Área de Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **LABORATORIO DE SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO Y GAS (TIG)** desarrollado por el estudiante **Carlos Walter Martínez Cortez**, carné 8416949, recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

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



/aej

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

LNG.DIRECTOR.039.EIM.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **LABORATORIO DE SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO Y GAS (TIG)**, presentado por: **Carlos Walter Martínez Cortez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, febrero de 2022



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.099.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **LABORATORIO DE SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO Y GAS (TIG)**, presentado por: **Carlos Walter Martínez Cortez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada



Decana

Guatemala, febrero de 2022

AACE/gaac

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por haberme permitido alcanzar este triunfo.
Mis padres	Francisca Martínez y Arturo Martínez (q. e. p. d.), por su sacrificio y apoyo para mi formación.
Mis abuelos	Berta Cortez (q. e. p. d.), Transito Osorio (q. e. p. d.), por su cariño incondicional.
Mi esposa	María Magdalena de Martínez. por su apoyo y cariño.
Mis hijos	María Alejandra y Gabriel Andrés Martínez, por ser lo mejor de mi vida.
Mis hermanos	Alba, Nancy, Karla, Mónica y Carlos Martínez. por su cariño.
Mis tíos y tías	Alfonsina del Cid González (q. e. p. d.), Alicia, Carmen (q. e. p. d.), Eluvia, Teresa, Fermín y Rudy Osorio por su consejo y apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser una casa de estudios que siempre recordaré y representaré con orgullo.

Facultad de Ingeniería

Al personal administrativo y docente por su labor diario en mejorar y comprometerse con la educación de buenos profesionales.

**Mis amigos de la
Escuela de Mecánica**

Quienes en equipo fuimos creciendo como profesionales superando todos los obstáculos que se nos presentaron.

Mis amigos

Por su apoyo incondicional y estar presentes dando apoyo en todo logro alcanzado.

Ing. Carlos Perez

Mi agradecimiento especial por su orientación profesional y valioso apoyo proporcionado en la realización de mi trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XV
GLOSARIO.....	XVII
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXVII
1. SOLDADURA POR ARCO DE TUNGSTENO Y GAS (TIG).....	1
2. EQUIPO.....	3
2.1. Antorchas para soldar.....	3
2.1.1. Antorchas enfriadas por gas	4
2.1.2. Antorchas enfriadas por agua	4
2.1.3. Mandril del porta electrodo.....	6
2.1.4. Boquillas	6
2.1.4.1. Materiales	6
2.1.4.2. Tamaños y formas de las boquillas	7
2.1.4.3. Lentes de gas.....	9
2.2. Electrodos.....	9
2.2.1. Clasificación de los electrodos	10
2.2.2. Tamaños y capacidades de corriente de los electrodos	11
2.2.3. Clasificación de electrodos EWP	12
2.2.4. Clasificación de electrodos EWTh.....	12
2.2.5. Clasificación de electrodos EWCe	14

2.2.6.	Clasificación de electrodos EWLa	14
2.2.7.	Clasificación de electrodos EWZr	15
2.2.8.	Clasificación de electrodos EWG.....	15
2.3.	Configuraciones de punta de los electrodos	16
2.3.1.	Formación de bola.....	18
2.3.2.	Amolado	18
2.3.3.	Afilado químico	18
2.4.	Contaminación de los electrodos.....	19
2.5.	Alimentadores de alambre.....	20
2.5.1.	Alambre frío.....	20
2.5.2.	Alambre caliente.....	21
2.6.	Fuentes de potencia.....	23
2.6.1.	Corriente directa.....	27
2.6.1.1.	Soldadura con cc pulsante.....	29
2.6.1.2.	Soldadura pulsada de alta frecuencia ..	31
2.6.2.	Corriente alterna.....	33
2.7.	Control del voltaje de arco.....	38
2.8.	Oscilación del arco.....	39
2.9.	Gases protectores	40
2.9.1.	Tipos de gases protectores	40
2.9.1.1.	Argón.....	40
2.9.1.2.	Helio	41
2.9.1.3.	Características del argón y el helio	42
2.9.1.4.	Mezclas de argón e hidrógeno.....	44
2.9.1.5.	Selección del gas protector.....	45
2.9.2.	Tasas de flujo de gas recomendadas	47
2.9.3.	Purgante de respaldo	47
2.9.4.	Cámara para soldar con atmósfera controlada	50
2.9.5.	Escudos de estela	50

3.	PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO	53
3.1.	Descripción del proceso.....	53
3.2.	Ventajas del proceso	54
3.3.	Limitaciones del proceso	55
3.4.	Variables del proceso	56
3.4.1.	Corriente del arco	56
3.4.2.	Voltaje del arco	57
3.4.3.	Velocidad de recorrido	59
3.4.4.	Alimentación del alambre	59
3.5.	Métodos de iniciación del arco.....	60
3.5.1.	Inicio de fricción o toque	60
3.5.2.	Inicio de alta frecuencia	60
3.5.3.	Inicio de pulso	61
3.5.4.	Inicio con arco piloto	62
3.6.	Técnicas de GTAW.....	62
3.6.1.	Soldadura manual	63
3.6.2.	Equipo para soldadura manual	63
3.6.3.	Técnicas de soldadura manual	64
3.6.4.	Soldadura mecanizada	65
3.6.5.	Soldadura semiautomática.....	67
3.6.6.	Soldadura automática	67
3.6.7.	Soldadura de puntos por arco	68
3.7.	Materiales	70
3.7.1.	Metales base	70
3.7.1.1.	Aceros al carbono y de aleación	71
3.7.1.2.	Aceros inoxidables y aleaciones resistentes al calor	72
3.7.1.3.	Aleaciones de aluminio	73
3.7.1.4.	Aleaciones de magnesio	74

	3.7.1.5.	Berilio	74
	3.7.1.6.	Aleaciones de cobre	74
	3.7.1.7.	Aleaciones de níquel	75
	3.7.1.8.	Metales refractarios y reactivos	75
	3.7.1.9.	Hierros colados.....	76
	3.7.2.	Metales de aporte.....	77
3.8.		Diseño de las uniones	79
	3.8.1.	Configuración básica de las uniones	80
	3.8.2.	Preparación de la unión.....	82
	3.8.2.1.	Tolerancia de las uniones	82
	3.8.2.2.	Limpieza	83
	3.8.3.	Fijación.....	83
3.9.		Calidad de la soldadura.....	84
	3.9.1.	Discontinuidades y defectos	85
	3.9.2.	Problemas y correcciones	85
	3.9.2.1.	Inclusiones de tungsteno	85
	3.9.2.2.	Falta de protección	86
	3.9.3.	Problemas de soldadura y sus soluciones.....	87
4.		NORMAS DE SEGURIDAD EN LA SOLDADURA.....	89
	4.1.	Protección contra el choque eléctrico.....	89
	4.2.	Humos y gases	89
	4.2.1.	Dispositivos individuales de ventilación	92
	4.2.2.	Dispositivos de ventilación positiva para soldadura en interiores	93
	4.2.3.	Equipo respiratorio de protección	93
	4.3.	Rayos del arco en la soldadura	94
	4.4.	Chispa de la soldadura.....	95
	4.5.	Manejo de cilindros de gas.....	98

4.5.1.	Normas generales de seguridad para operación con cilindros de alta presión.....	98
4.5.2.	Normas relativas a la movilización y transporte de cilindros de alta presión	99
4.5.3.	Normas generales de almacenamiento de cilindros.....	100
4.5.4.	Precauciones generales de uso	101
4.5.5.	Precauciones durante el uso.....	102
4.5.6.	Precauciones adicionales durante el uso de gases inflamables	103
4.5.7.	Precauciones adicionales durante el uso de gases inertes	103
4.5.8.	Precauciones durante incidentes o accidentes fuera de control.....	103
5.	LABORATORIO SOLDADURA EN ACEROS AL CARBÓN	105
5.1.	Soldadura posición plana sin y con metal de aporte	105
5.1.1.	Procedimiento.....	105
5.2.	Soldadura de filete-junta de solapa-posición horizontal sin y con metal de aporte	108
5.2.1.	Procedimiento.....	108
5.2.2.	Soldar sin metal de aporte	110
5.3.	Soldadura de filete-junta de esquina exterior posición plana sin y con metal de aporte.....	112
5.3.1.	Procedimiento.....	113
5.4.	Soldadura de filete junta en T posiciones horizontal y vertical, ascendente con metal de aporte.....	118
5.4.1.	Procedimiento.....	119

5.5.	Soldadura de ranura cuadrada-junta a tope-posición plana con metal de aporte.....	123
5.5.1.	Procedimiento	123
5.6.	Soldadura de ranura cuadrada-junta a tope-posición sobre cabeza con metal de aporte	131
5.6.1.	Procedimiento	131
5.7.	Soldadura de ranura cuadrada – prueba de doblado guiado .	134
5.7.1.	Procedimiento	134
6.	LABORATORIO SOLDADURA EN ACERO INOXIDABLE	139
6.1.	Soldadura de ranura cuadrada – junta a tope – posición plana con metal de aporte sin y con pulsación	139
6.1.1.	Procedimiento	139
6.2.	Soldadura de filete – junta de traslapo – posición horizontal sin y con metal de aporte	143
6.2.1.	Procedimiento	144
6.3.	Soldadura de filete junta de esquina exterior posición plana sin y con metal de aporte	148
6.3.1.	Procedimiento	149
6.4.	Soldadura de filete junta en T posiciones horizontal y vertical, ascendente con metal de aporte	152
6.4.1.	Procedimiento	152
6.5.	Inspección visual de acero inoxidable	155
6.5.1.	Procedimiento	156
7.	LABORATORIO SOLDADURA EN ALUMINIO.....	159
7.1.	Cordón reforzador posición plana con metal de aporte	159
7.1.1.	Procedimiento	159

7.2.	Soldadura de ranura cuadrada junta a tope posición plana con metal de aporte.....	163
7.2.1.	Procedimiento.....	163
7.3.	Soldadura de filete junta de traslapo posición horizontal con metal de aporte.....	166
7.3.1.	Procedimiento.....	166
7.4.	Soldadura de filete junta de esquina exterior posición plana con metal de aporte.....	170
7.4.1.	Procedimiento.....	170
7.5.	Soldadura de filete junta en T posición horizontal con metal de aporte.....	174
7.5.1.	Procedimiento.....	174
7.6.	Soldadura de filete junta de esquina exterior posición vertical.....	177
7.6.1.	Procedimiento.....	177
7.7.	Soldadura de filete junta en T posición vertical.....	180
7.7.1.	Procedimiento.....	180
7.8.	Inspección visual de aluminio.....	182
7.8.1.	Procedimiento.....	183
CONCLUSIONES.....		187
RECOMENDACIONES.....		189
BIBLIOGRAFÍA.....		191

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Operación de soldadura por arco de tungsteno y gas	1
2.	Partes de un soplete	5
3.	Forma del arco y perfil de la zona de fusión en función de la geometría de la punta del electrodo	17
4.	Sistema de alambre caliente para arco de tungsteno y gas	21
5.	Tasas de deposición para soldadura por arco de tungsteno y gas con alambre de aporte de acero frío y caliente	22
6.	Características volt-ampere estáticas para fuentes de potencia de caída y de corriente constante	24
7.	Características de los tipos de corriente para soldadura por arco de tungsteno y gas.....	28
8.	Forma de onda de cc pulsada	30
9.	Relación entre la presión del arco y la frecuencia de pulsos	32
10.	Forma de onda de corriente de soldadura de cc a pulsos conmutada de alta frecuencia.....	33
11.	Formas de onda de voltaje y corriente para soldadura con ca. rectificación parcial y completa.....	34
12.	Formas de onda de voltaje y corriente para soldadura con ca. con estabilización de arco.....	35
13.	Formas de onda de voltaje y corriente para soldadura con ca. con balanceo de corriente.....	36
14.	Características de la ca de onda cuadrada variable	38
15.	Relación voltaje-corriente con escudo de helio y argón.....	43

16.	Canal de gas purgante de respaldo	48
17.	Sistema de gas purgante de respaldo para unión circunferencial en tubería	49
18.	Cámara de atmósfera controlada empleada para soldadura tig en metales reactivos.....	51
19.	Escudo con estela para soplete manual	51
20.	Barreras empleadas para contener el gas protector cerca de la unión que se va a soldar	52
21.	Inicio del arco con alta frecuencia.....	61
22.	Circuito de inicio con arco piloto empleado para soldadura de puntos por arco de tungsteno y gas	62
23.	Soldadura manual de tig de una unión de tubería.....	63
24.	Técnica para soldadura por arco de tungsteno y gas manual	64
25.	Soldadura mecanizada de un ensamble de tubería empleando una soldadura orbital	66
26.	Aplicación de GTAW automática	68
27.	Esquema de la soldadura de puntos manuales por arco de tungsteno y gas.....	69
28.	Cinco uniones de soldadura básicas	80
29.	Posición adecuada de la antorcha	106
30.	Posición correcta de la antorcha con material de aporte.....	107
31.	Geometría correcta del cordón de soldadura	108
32.	Junta de solape, soldaduras provisionarias	109
33.	Posición de la pistola en soldaduras de filete.....	110
34.	Muestra del ancho del cordón de la soldadura en filete	111
35.	Cara del cordón plana o ligeramente convexa	111
36.	Colocación de la pieza en junta de esquina exterior	113
37.	Colocación de la pistola en una soldadura de filete en junta de esquina.....	115

38.	Ancho de cordón de soldadura igual a un diámetro de electrodo	115
39.	Colocación de la pistola y varilla de material de aporte en una soldadura de filete en junta de esquina	116
40.	Cara del cordón ligeramente convexa con penetración profunda	117
41.	Colocación provisoria de dos piezas en junta de esquina	118
42.	Colocación provisoria de dos piezas en junta en T.....	119
43.	Ángulo de avance y ángulo de trabajo en una junta en T	120
44.	Socavación provocada por excesivo calor.....	121
45.	Posición de la pistola y varilla de aporte en una soldadura de junta en T en posición vertical.....	122
46.	Colocación de piezas de una soldadura de junta a tope.....	124
47.	Ángulo de trabajo y ángulo de avance en una soldadura de ranura cuadrada en junta a tope.....	125
48.	Ancho del cordón de una y media de diámetro del electrodo	126
49.	Posición de piezas de una junta a tope abierta	127
50.	Muestra de un agujero en U para asegurar penetraciones apropiadas de raíz.....	128
51.	Muestra del cordón de soldadura de cara cóncava	129
52.	Uso de la técnica en V a lo largo de la junta.....	130
53.	Colocación de las piezas en junta a tope de posición sobre cabeza ..	132
54.	Fijación de la pieza en soldadura sobre cabeza	132
55.	Ángulo de la pistola y material de aporte en posición sobre cabeza...	133
56.	Inspección visual de cara y raíz	135
57.	Preparación de la pieza soldada para la prueba de doblado guiado ..	136
58.	Colocación de la pieza de trabajo para soldadura en posición plana .	140
59.	Soldadura de la junta a tope con pulsación	142
60.	Cordón de soldadura terminada	143
61.	Colocación de piezas de trabajo en posición para soldadura de filete de junta de traslape.....	145

62.	Ángulo de avance y de trabajo en soldadura de filete en junta de traslape.....	146
63.	Cordón terminado de geometría cóncava	147
64.	Cara de cordón plana y cara demasiado convexa	148
65.	Soldadura provisoria de una junta de esquina exterior sin material de aporte	150
66.	Posición de pistola para soldadura de junta esquina exterior sin material de aporte.....	150
67.	Soldadura de buena fusión sin socavadura	151
68.	Ancho del cordón de una y media vez que la del electrodo	152
69.	Posición provisoria de una junta en T	153
70.	Ángulo de pistola y varilla de aporte en soldadura de junta en T	154
71.	Inspección visual	156
72.	Muestra de soldadura de varias juntas	157
73.	Método para esferizar el electrodo de tungsteno	160
74.	Ángulo de avance y de trabajo en posición plana con material de aporte	161
75.	Método para depositar el cordón de soldadura	162
76.	Llenado de cráter en la terminación del cordón de soldadura	163
77.	Dimensiones del cordón provisorio en una junta a tope.....	164
78.	Avance del cordón de soldadura contrario a la soldadura provisoria .	165
79.	Muestra de una soldadura con penetración completa en una junta a tope	166
80.	Soldadura provisoria de una junta de traslape	167
81.	Ángulo de avance y de trabajo con material de aporte en una soldadura de traslape	168
82.	Recomendaciones para soldaduras en juntas de traslape	169
83.	Geometría del cordón en soldadura junta de traslape.....	170
84.	Soldadura provisoria en una junta de esquina	171

85.	Perforación por fusión por mala sujeción de piezas	172
86.	Colocación de la pistola para soldadura en junta de esquina	173
87.	Ancho del cordón de soldadura	174
88.	Soldadura provisoria para soldadura en junta en T	175
89.	Angulo de avance y de trabajo en una soldadura de junta en T	176
90.	Ancho del cordón de soldadura en una junta en T	177
91.	Puntos de soldadura en una junta de esquina exterior	178
92.	Soldadura vertical ascendente en una junta de esquina exterior	179
93.	Soldadura vertical ascendente en una junta en T	181
94.	Inspección visual en soldadura en posición plana y de traslape	183
95.	Inspección visual en junta de esquina exterior y junta en T	184

TABLAS

I.	Especificaciones de corriente típica para sopletes de GTAW enfriadas con gas y con aire.....	4
II.	Electrodo de tungsteno y copas de gas recomendados para diversas corrientes de soldadura.....	8
III.	Código de color y elementos de aleación de diversas aleaciones para electrodo de tungsteno.....	10
IV.	Tipos de corriente, electrodos de tungsteno y gases protectores recomendados para soldar diferente metales.....	46
V.	Especificaciones de la AWS de metales de aporte apropiados para soldadura por arco de tungsteno y gas	78
VI.	Guía de localización de problemas para soldadura por arco de tungsteno y gas.....	87
VII.	Lista abreviada de materiales tóxicos, con sus límites tolerables de concentración (1996)	91

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HSLA	Aceros de baja aleación y alta resistencia mecánica
AMP	Amperio
Ar	Argón
CA	Corriente alterna
CC	Corriente continua
CCEN	Corriente continua electrodo negativo
CCEP	Corriente continua electrodo positivo
EWTH-2	Electrodo de tungsteno al 2 % de torio
EWZR	Electrodo de tungsteno al zirconio
CO₂	Gas carbónico
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
He	Helio
Hz	Hertz
L/min	Litros por minuto
mg/m²	Miligramo por metro cuadrado
mm	Milímetro
PSI	Libras por pulgada cuadrada
pulg	Pulgada
RCP	Programa de resucitación cardio pulmonar
PPM	Pulgadas por minuto
Volt	Tensión eléctrica entre dos puntos

GLOSARIO

Abertura de la raíz	Separación entre los miembros por unirse, en la raíz de la junta.
Ángulo de ranura	Ángulo total incluido en la ranura entre las partes por ser unidas mediante una soldadura de ranura.
AWS	Sociedad americana de soldadura.
Baño de soldadura	Estado líquido de una soldadura antes de la solidificación como metal de soldadura.
Boquilla	Aditamento que dirige el gas protector.
Borde de la soldadura	Unión entre la cara de una soldadura y el metal base
Cable de trabajo	Cable conductor eléctrico entre la fuente de corriente de soldadura por arco y la pieza de trabajo.
Cara de fusión	Superficie del metal base que se fundirá durante la soldadura.
Cara de la soldadura	Superficie expuesta de la soldadura en el costado el cual se hizo la soldadura.

Cilindro	Envase cilíndrico portátil usado para transportar y guardar gas comprimido.
Coalescencia	Formación de un solo cuerpo por fusión de las partes del metal base que están siendo soldadas.
Concavidad	Distancia máxima desde la cara de una soldadura de filete cóncava perpendicular a una línea que une sus bordes.
Conexión de trabajo	Conexión del cable conductor de trabajo a la pieza de trabajo.
Convexidad	Distancia máxima desde la cara de una soldadura de filete convexa perpendicular a la línea que une sus bordes.
Corriente para soldar	Corriente en el circuito de soldadura durante la operación.
Cráter	En soldadura por arco, una depresión en la terminación de un cordón, o en el baño de soldadura debajo del electrodo.
Defecto	Discontinuidad o discontinuidades que por naturaleza o efecto acumulado, dejan una pieza inutilizada para cumplir con las normas de aceptación mínimas aplicables.

Electrodo negativo	Disposición de los cables en soldadura por arco con corriente continua en que el trabajo es el polo positivo y el electrodo es el polo negativo.
Electrodo positivo	Disposición de los cables en soldadura por arco con corriente continua en que el trabajo es el polo negativo y el electrodo es el polo positivo.
Electrodo de Tungsteno	Electrodo no consumible, usado en soldadura por arco, hecho principalmente de tungsteno.
Gas Inerte	Gas que, normalmente, no se combina químicamente con el metal base o de aporte.
Gas protector	Gas protector utilizado para impedir la contaminación del aire.
GMAW	Soldadura al arco con metal de aporte y gas.
GTAW	Soldadura al arco con electrodo de tungsteno y gas.
Junta	Unión de las piezas o bordes que han de unirse o se han unido.
Metal base	Metal que será soldado o cortado.
Metal de aporte	Metal que será agregado al hacer la junta soldada.
NFPA	Asociación Nacional para la Prevención de Incendio.

Porosidad	Cavidades formadas por la retención de gas durante la solidificación.
Ranura	Abertura provista para una soldadura de ranura.
Regulador	Dispositivo para controlar la entrega de gas a una presión sustancialmente constante sin importar la variación de la presión más alta en la fuente.
Salpicaduras	Partículas de metal expelidas durante el proceso de soldadura y que no forman parte de la misma.
SMAW	Soldadura al arco con electrodo revestido, en Guatemala se le conoce también como SEA.
Soldadura	Coalescencia localizada de metal producida ya sea por calentamiento a temperaturas adecuadas, con o sin aplicación de presión, o mediante la sola aplicación de presión, y con o sin el uso de metal de aporte.
Soldadura de filete	Soldadura de un corte transversal aproximadamente triangular que une dos superficies más o menos en ángulo recto una con la otra en una junta de traslape, en T o de esquina.

Soldadura provisoria	Soldadura hecha para sostener partes de una estructura soldada bien alineadas hasta que se hagan las soldaduras finales.
Soldadura por arco	Grupo de procesos de soldadura en los cuales se produce coalescencia, calentado por un arco eléctrico, con o sin la aplicación de presión, y sin o con el uso de metal de aporte.
TIG	Proceso de soldadura al arco empleando un electrodo de tungsteno no consumible y un gas de protección.
Voltaje de arco	Voltaje a través del arco de soldadura.
Zona térmicamente	Porción del metal base que no sea fundido, pero afectadas por el calor cuyas propiedades mecánicas o microestructura ha sido alterada por el calor de la soldadura.

RESUMEN

La soldadura GTAW o TIG es también conocida como soldadura *Heliarc*. Fue desarrollada inicialmente con el propósito de soldar metales anticorrosivos y otros metales difíciles de soldar. Su aplicación se ha expandido e incluye tanto soldadura como revestimientos duros en prácticamente todos los metales usados comercialmente.

El laboratorio del proceso de soldadura TIG, se resume en un área teórica y otra práctica.

Las normas de seguridad en la soldadura son una regla esencial en la elaboración de este trabajo, para prevenir cualquier accidente cuando se opera la soldadura TIG. Entre los riesgos a la salud que pueden ocasionar la falta del equipo apropiado y no emplear el sentido común para prevenirlos son la inhalación de gases y humos metálicos, rayos del arco en la soldadura que puede ocasionar quemaduras o incendios y el manejo de los cilindros de gas, los cuales por estar envasados a alta presión constituyen un peligro latente si no se manejan con cuidado.

En la sección del área de laboratorio se desarrollan los procedimientos recomendados para aprender a soldar aceros al carbón, con el proceso de soldadura TIG en toda posición, así como los procedimientos para soldar aceros inoxidables y metales no ferrosos como el aluminio.

OBJETIVOS

General

Proponer un manual para laboratorio de soldadura al arco con electrodo de tungsteno y gas.

Específicos

1. Desarrollar guías de laboratorio en forma simple y metódica para que los estudiantes de Ingeniería Mecánica conozcan en forma práctica el tipo de proceso GTAW.
2. Poner a disposición de los instructores de laboratorio de procesos de manufactura 2, una guía práctica para la enseñanza y desarrollo de un proceso simple y ventajoso en la industria.
3. Aprender a realizar uniones soldadas utilizando los mismos principios de los procesos tradicionales, pero con las ventajas que el proceso TIG brinda.
4. Diferenciar las ventajas entre los procesos tradicionales desarrollados en las prácticas de laboratorio de procesos de manufactura 2 y este proceso impulsado como una alternativa de prácticas de laboratorio.
5. Motivar para que los procesos de soldaduras especiales sean impulsados como prácticas de laboratorio en la carrera de Ingeniería Mecánica.

6. Equipar un módulo didáctico de TIG en el laboratorio de procesos de manufactura.

INTRODUCCIÓN

La soldadura moderna de los metales, al igual que la soldadura antigua por forjado, logra la unión de los metales por fusión. Sin embargo, con el desarrollo de la tecnología de la soldadura y el mejoramiento de los métodos de prueba y el surgimiento de nuevos procesos de soldadura, se observó que podía lograrse una fusión completa y permanente entre dos o más metales, y que el área soldada tenía mayor resistencia que cualquiera de las piezas que se habían unido.

Con las técnicas y los materiales correctos, casi cualquier par de piezas de metal pueden fundirse para formar una sola unidad. La mayoría de los metales son soldables siempre que se apliquen los procedimientos y la técnica adecuada.

El proceso de soldadura al arco con electrodo de tungsteno y gas TIG, es uno de los procesos que más se destaca por su alta calidad en los depósitos de soldadura, por soldar metales de espesores delgados, y los cordones de raíz en tuberías. Debido a que este proceso al arco utiliza el intenso calor eléctrico generado entre un electrodo de tungsteno no consumible y la pieza a soldar, protegido por una atmósfera gaseosa en el cual no hay salpicaduras, chispas ni emanaciones, el metal de aporte no es transferido por el arco y puede o no utilizarse material de aporte.

El proceso de soldadura fue desarrollado principalmente para soldaduras en metales no ferrosos, principalmente en el área de la construcción de aviones. Posteriormente se aplicó en aceros inoxidable y hierros dulces. Actualmente es

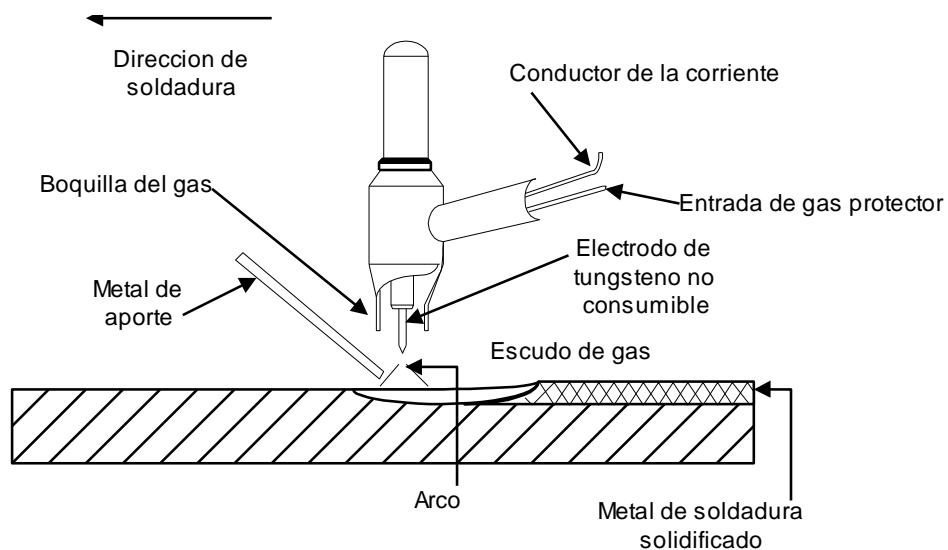
el proceso de soldadura más empleado en la industria alimenticia, farmacéutica, aeroespacial y en otros campos de la industria mundial.

Este trabajo de tesis desarrolla un esquema más actualizado del proceso de soldadura al arco con electrodo de tungsteno y gas. Además, es una guía práctica del proceso de soldadura TIG para todo aquel que desea profundizar ya sea estudiante, técnico, profesional, industria y comercio en general que desee utilizar.

1. SOLDADURA POR ARCO DE TUNGSTENO Y GAS (TIG)

La soldadura GTAW es un proceso de soldadura por arco que utiliza un arco entre un electrodo de tungsteno, y el baño de fusión de soldadura. El proceso se emplea con un gas protector y sin aplicación de presión. La adición de metal de aporte es opcional. La figura 1 muestra el proceso de soldadura por arco de tungsteno y gas.

Figura 1. **Operación de soldadura por arco de tungsteno y gas**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 74.

El proceso GTAW se ha convertido en una herramienta indispensable en muchas industrias por la alta calidad de las soldaduras producidas y el bajo costo del equipo. El propósito del presente capítulo, es brindar los fundamentos del proceso GTAW, el equipo y los consumibles empleados, los procedimientos y variables del proceso, sus aplicaciones y consideraciones de seguridad.

La posibilidad de utilizar helio para proteger un arco de soldadura y el charco de metal fundido se investigó por primera vez en la década de 1920. Sin embargo, nada se hizo con este método hasta el comienzo de la Segunda Guerra Mundial, cuando en la industria de los aviones fue imperativo encontrar una forma de unir materiales reactivos como aluminio y magnesio sin emplear remaches. Con la ayuda de un electrodo de tungsteno y potencia de arco de corriente continua con el electrodo negativo, se logró producir una fuente de calor estable y eficiente con la que se podían realizar soldaduras excelentes.

Se escogió el helio para crear la protección necesaria porque, en esa época, era el único gas inerte disponible en abundancia. El proceso ha recibido también los nombres de soldadura con electrodo no consumible y soldadura con tungsteno y gas inerte TIG; pero la terminología de la AWS para este proceso es soldadura por arco de tungsteno y gas GTAW, porque en algunas aplicaciones es posible usar mezclas de gases protectoras que no son inertes.

Desde que se inventó el proceso, se han hecho numerosas mejoras a los procedimientos y al equipo. Se ha creado fuentes de potencia de soldadura específicamente para el proceso. Algunas suministran potencia de CC a pulsos y CA de polaridad variable. Se inventaron sopletes enfriados por agua y enfriados por gas.

El electrodo de tungsteno se ha aleado con cantidades pequeñas de elementos activos para aumentar su emisividad; con esto ha mejorado el encendido del arco, su estabilidad y la durabilidad de los electrodos. Se ha identificado mezclas de gases protectoras que mejoran el rendimiento de la soldadura. Los investigadores están tratando de lograr otros avances en las áreas de control automático, visión y sensores de penetración, y controles de longitud del arco.

2. EQUIPO

El equipo para GTAW incluye antorchas, electrodos y fuentes de potencia. Los sistemas de GTAW mecanizada pueden incluir controles de voltajes del arco, osciladores del arco y alimentadores de alambre.

2.1. Antorchas para soldar

Las antorchas de GTAW sostienen el electrodo de tungsteno que transporta la corriente de soldadura al arco y conducen el gas protector a la zona del arco.

Las especificaciones de las antorchas se refieren a la corriente de soldadura máxima que pueden transportar sin sobrecalentarse. En la tabla I se dan los intervalos de corriente típicos. La mayor parte de las antorchas está diseñada para manejar electrodos dentro de cierto intervalo de tamaños, diferentes tipos y tamaños de boquillas.

Casi todas las antorchas para aplicaciones manuales tienen un ángulo de cabeza, el ángulo entre el electrodo y el mango, de 120°. También hay antorchas con cabeza de ángulo ajustable, cabeza a 90° o cabeza en línea recta tipo lápiz.

Las antorchas de GTAW manuales a menudo cuentan con interruptores y válvulas auxiliares integradas a su mango para controlar la corriente y el flujo de gas. Las antorchas para GTAW mecanizada o automática por lo regular se montan en un dispositivo que centra la antorcha sobre la unión. Puede desplazar la antorcha a lo largo de la unión y modificar o mantener la distancia entre la antorcha y el trabajo.

Tabla I. **Especificaciones de corriente típica para sopletes de GTAW enfriadas con gas y con aire**

Características del soplete	Capacidad de antorcha del soplete		
	Pequeño	Mediano	Grande
Corriente máxima, trabajo continuo, Amp	200	200-300	500
Método de enfriamiento	Gas	Agua	Agua
Diámetros de electrodo manejados, pulgadas	0,020-3/32	0,040-5/32	0,040-1/4
Diámetro de copa de gas manejados, pulgadas	1/4-5/8	1/4-3/4	3/8-3/4

Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 77.

2.1.1. Antorchas enfriadas por gas

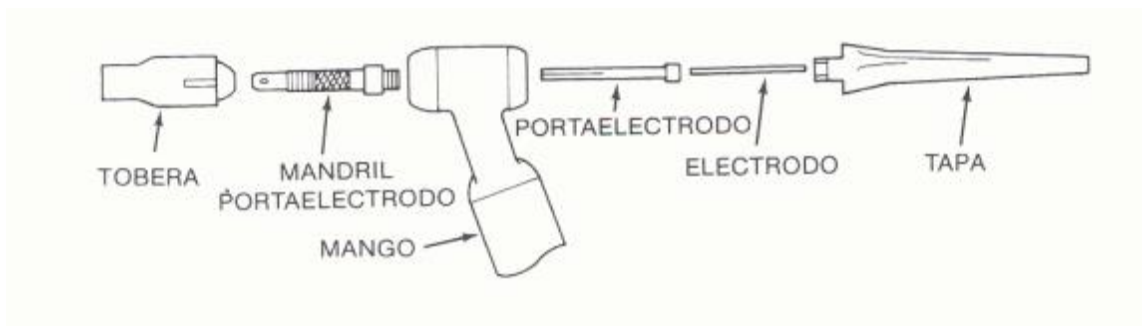
El calor generado en la antorcha durante la soldadura se elimina mediante enfriamiento por gas o por agua. Las antorchas enfriadas por gas, o, enfriadas por aire eliminan el calor por medio del flujo del gas protector, relativamente frío, a través de la antorcha, como se muestra en la figura 1. Las antorchas enfriadas por gas están limitadas a una corriente de soldadura máxima de unos 200 amperios.

2.1.2. Antorchas enfriadas por agua

Las antorchas enfriadas por agua eliminan el calor mediante el flujo continuo de agua a través de conductores interiores. Como se aprecia en la figura 2, el agua de enfriamiento entra en el soplete a través de la manguera de salida. Por lo regular, el cable procedente de la fuente de potencia se coloca en el interior de la manguera de salida de agua.

Las antorchas enfriadas por agua están diseñadas para usarse con corrientes de soldadura en un ciclo de trabajo continuo más altas que las antorchas enfriadas por gas de tamaño similar. Por lo regular es posible usar corrientes de 300 a 500 amperios, aunque se han construido sopletes capaces de manejar corrientes de soldadura de hasta 1 000 amperios. En la mayor parte de las aplicaciones mecanizadas o automáticas se emplean sopletes enfriados por agua.

Figura 2. **Partes de un soplete**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura* Tig. p. 10.

Estos sopletes normalmente se enfrían con agua de la llave que fluye a través del soplete y luego se desecha al desagüe. Si se desea ahorrar agua, es posible usar un sistema cerrado que incluye un tanque, una bomba y un radiador o enfriador de agua para dispersar el calor del sistema. La capacidad de estos sistemas va desde uno a 50 galones. Se puede agregar anticongelante de automóvil al líquido de enfriamiento para evitar el congelamiento y la corrosión, al mismo tiempo, lubricar la bomba de agua.

2.1.3. Mandril del portaelectrodo

Los electrodos de diferentes diámetros se sujetan en el portaelectrodos por medio de mandriles del tamaño apropiado, típicamente fabricados con una aleación de cobre. El mandril sujeta el electrodo cuando se aprieta la tapa del soplete. Es indispensable que el electrodo y la superficie interior del electrodo estén en contacto íntimo para una buena transferencia de la corriente sin sobrecalentamiento.

2.1.4. Boquillas

El gas protector se dirige a la zona de soldadura mediante boquillas o copas que se montan en la cabeza del soplete. El cuerpo del soplete también incluye difusores o esporas de patrón muy preciso que alimentan el gas protector a la boquilla. Su propósito es ayudar a que el escudo de gas que sale tenga un flujo laminar. Las boquillas de gas se fabrican con diversos materiales resistentes al calor y con distintas formas, diámetros y longitudes. Estas se atornillan al soplete o bien se acoplan y sujetan por fricción.

2.1.4.1. Materiales

Las boquillas se fabrican con cerámicas, cerámicas con funda metálica, cuarzo fusionado u otros materiales. Las de cerámica son las más económicas y populares, pero son quebradizas y deben reemplazarse con frecuencia. Las de cuarzo fusionado son transparentes y ofrecen una mejor vista del arco y del electrodo.

Sin embargo, la contaminación con vapores metálicos de la soldadura puede hacer que se vuelvan opacas, y además son quebradizas.

Las boquillas metálicas enfriadas por agua son las más duraderas y se emplean principalmente en aplicaciones de soldadura mecanizada y automática en las que las corrientes de soldadura exceden los 250 amperios.

2.1.4.2. Tamaños y formas de las boquillas

La boquilla o copa de gas debe ser lo bastante grande como para cubrir con gas protector el área del charco de soldadura y el metal base caliente circundante. El diámetro de la boquilla debe ser apropiado para el volumen de gas protector que se requiere para dar la protección necesaria al área cuando hay corrientes de aire. Hay un equilibrio delicado entre el diámetro de la boquilla y la tasa de flujo.

Si la tasa de flujo para un diámetro dado es excesiva, el escudo dejará de ser eficiente a causa de la turbulencia. Para mantener una tasa de flujo elevada sin turbulencia se requiere un diámetro grande; estas son condiciones esenciales cuando el amperaje es alto. La selección del tamaño depende del tamaño del electrodo, el tipo de unión por soldar, el área de soldadura que debe protegerse efectivamente y el acceso a la unión que se va a soldar.

En la tabla II se dan los tamaños de copa de gas sugeridos para electrodos de diversos diámetros. El empleo de la boquilla más pequeña sugerida permite soldar en áreas más restringidas y ofrece una mejor visión de la soldadura.

Sin embargo, si se usa una boquilla demasiado chica, puede haber turbulencia y formación de chorros del gas protector, e incluso puede fundirse el borde de la boquilla. Las boquillas más grandes ofrecen mejor protección, sobre todo al soldar metales reactivos como el titanio.

- Todos los valores se basan en el empleo de argón como gas protector
- Uso electrodos EWTh-2, electrodos de tungsteno 2 % thorio)
- Uso electrodos EWP, electrodos de tungsteno puro

Tabla II. **Electrodo de tungsteno y copas de gas recomendados para diversas corrientes de soldadura**

Diámetro del electrodo		Diam. int. copa de gas	Corriente continua, A		Corriente alterna, A	
			Polaridad directa	Polaridad inversa	Onda no balanceada	Onda balanceada
Pulg	Mm	pulg	CCEN	CCEP		
0,010	0,25	¼	Hasta 15		Hasta 15	Hasta 15
0,020	0,50	¼	5-20		5-15	10-20
0,040	1,00	3/8	15-80		10-60	20-30
1/16	1,6	3/8	70-150	10-20	50-100	30-80
3/32	2,4	1/2	150-250	15-30	100-160	60-130
1/8	3,2	1/2	250-400	25-40	150-210	100-180
5/32	4,0	1/2	400-500	40-55	200-275	160-240
3/16	4,8	5/8	500-750	55-80	250-350	190-300
¼	6,4	3/4	750-1100	80-125	325-450	325-450

Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 79.

Hay boquillas de diversas longitudes diseñadas para soldar uniones con geometrías específicas y mantener la distancia requerida entre la boquilla y el trabajo. En general, las boquillas más largas producen escudos de gas más rígidos y menos turbulentos.

La mayor parte de las boquillas para gas tiene forma cilíndrica con extremos rectos o ahusados.

Hay boquillas con construcción interna aerodinámica que minimizan la turbulencia del gas protector, y con secciones posteriores alargadas o extremos abocinados que ofrecen mejor protección al soldar metales como el titanio, que es muy susceptible a la contaminación a temperaturas elevadas.

2.1.4.3. Lentes de gas

Un dispositivo que se emplea para asegurar un flujo laminar del gas protector es un aditamento conocido como lente de gas. Estos contienen un difusor de barrera porosa y están diseñados para insertarse alrededor del electrodo. Producen un flujo más largo y uniforme del gas protector y permiten a los operadores soldar con la boquilla a 25 mm (1 pulg.) o más del trabajo, lo que mejora su capacidad para ver el charco de soldadura y alcanzar lugares con acceso limitado como las esquinas interiores.

2.2. Electroodos

En GTAW la palabra tungsteno se refiere al elemento tungsteno puro y a las diferentes aleaciones de tungsteno empleadas como electrodos. Los electrodos de tungsteno son no consumibles si el proceso se emplea como es debido, ya que no se derriten ni se transfieren a la soldadura.

En otros procesos, como SMAW, GMAW y SAW, el electrodo es el metal de aporte. La función del electrodo de tungsteno es servir como una de las terminales eléctricas del arco que proporciona el calor necesario para soldar.

El punto de fusión del tungsteno es de 3 410 °C, 6 170 °F, y cuando se acerca a esta temperatura se vuelve termoiónico; es decir, es una fuente abundante de electrones.

El electrodo alcanza esta temperatura gracias al calentamiento por resistencia y, de no ser por el considerable efecto de enfriamiento de los electrones que se desprenden de su punta, dicho calentamiento haría que se fundiera la punta.

De hecho, la punta del electrodo tiene una temperatura mucho menor que la parte que está entre la punta y el mandril con enfriamiento externo.

2.2.1. Clasificación de los electrodos

Los electrodos de tungsteno se clasifican con base en su composición química, como se especifica en la tabla III. Los requisitos para los electrodos de tungsteno se dan en la edición más reciente de ANSI/AWS A5.12, especificaciones para electrodos de tungsteno y de aleación de tungsteno para soldadura y corte por arco.

Tabla III. **Código de color y elementos de aleación de diversas aleaciones para electrodo de tungsteno**

Clasificación AWS	Color	Elemento aleación	Óxido de aleación	Porcentaje en peso nominal del oxido de aleación
EWP	Verde			
EWCe-2	Anaranjado	Cerio	CeO ₂	2
EWLa-1	Negro	Lantano	La ₂ O ₃	1
EWTh-1	Amarillo	Torio	ThO ₂	1
Ewrh-2	Rojo	Torio	ThO ₂	2
EWZr-1	Marrón	Zirconio	ZrO ₂	0,25
EWG	Gris	No se especifica		

Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 79.

- El color puede aplicarse en forma de banda gris, puntos, en cualquier sección de la superficie del electrodo.
- El fabricante debe identificar el tipo y el contenido nominal de la adición de óxido de tierra rara.

Los electrodos se producen con un acabado limpio o amolado. Los que tienen acabado limpio han sido sometidos a limpieza química para eliminar las impurezas superficiales después de la operación de moldeo.

Los que tienen acabado amolado se amolaron con una técnica sin centro para eliminar las imperfecciones superficiales.

2.2.2. Tamaños y capacidades de corriente de los electrodos

En la tabla II se indican los tamaños e intervalos de corriente de los electrodos de tungsteno y de tungsteno con torio, junto con los diámetros de copa de gas protector recomendados para usarse con diferentes tipos de potencia de soldadura. Esta tabla es una guía útil para seleccionar el electrodo correcto para una aplicación específica con cierto nivel de corriente y cierto tipo de fuente de potencia.

El empleo de niveles de corriente por encima de los que se recomiendan para un tamaño de electrodo y configuración de punta determinados hará que el tungsteno se erosione o derrita. Es posible que caigan partículas de tungsteno en el charco de soldadura y se conviertan en defectos de la unión soldada. Si la corriente es demasiado baja para un tamaño de electrodo determinado, el arco puede ser inestable.

Si se usa corriente continua con el electrodo positivo, CCEP se requerirá un diámetro mucho mayor para manejar un nivel de corriente dado porque la punta no se enfría por la evaporación de electrones, sino que se calienta por el impacto de los electrones contra ella.

En general, se espera que un electrodo de cierto diámetro con CCEP maneje una corriente de solo el 10 % de la que podría manejar con el electrodo negativo. Si se usa corriente alterna, la punta se enfriará durante el ciclo de electrodo negativo y se calentará durante el positivo; por tanto, la capacidad de transporte de corriente de un electrodo con ca está entre la de CCEN y la de CCEP. En general, es de cerca del 50 % de la capacidad de CCEN.

2.2.3. Clasificación de electrodos EWP

Los electrodos de tungsteno puro EWP, contienen por lo menos 99,5 % de tungsteno, y ningún elemento de aleación intencional. La capacidad de transporte de corriente de los electrodos de tungsteno puro es menor que la de los electrodos aleados. Los electrodos de tungsteno puro se emplean principalmente con ca para soldar aleaciones de aluminio y magnesio.

La punta del electrodo EWP mantiene un extremo limpio con forma de bola, que produce un arco bastante estable. Estos electrodos también pueden usarse con CC, pero no ofrecen las características de encendido y estabilidad del arco de los electrodos con torio, con cerio o con lantano.

2.2.4. Clasificación de electrodos EWTh

La emisión termoiónica del tungsteno puede mejorarse aleándolo con óxidos metálicos que tienen funciones de trabajo muy bajas. El resultado es que

los electrodos pueden manejar corrientes de soldadura más altas sin fallar. El óxido de torio es uno de estos aditivos.

A fin de evitar problemas de identificación con estos y otros tipos de electrodos de tungsteno, se marcan con un código de color, como se indica en la tabla III. Hay dos tipos de electrodos de tungsteno con torio. Los electrodos EWTh-1 y EWTh-2 contienen 1 % y 2 %, respectivamente, de óxido de torio ThO_2 llamado torio, dispersado uniformemente en toda su longitud.

Los electrodos de tungsteno con torio superan a los de tungsteno puro en varios aspectos. El torio aumenta en cerca del 20 % la capacidad de transporte de corriente y, en general, hace al electrodo más duradero; además, tiende a contaminar menos la soldadura. Con estos electrodos es más fácil encender el arco y este es más estable que el producido por electrodos de tungsteno puro o de tungsteno con zirconio.

Los electrodos EWTh-1 y EWTh-2 se diseñaron para aplicaciones de CCEN. Mantienen una configuración de punta aguda durante la soldadura, lo que es deseable cuando se suelda acero. Casi nunca se usan con ca porque es difícil mantener el extremo de bola, necesario para la soldadura con ca, sin rajarse el electrodo.

El torio es un material radiactivo de muy bajo nivel. No se ha demostrado que el nivel de radiación represente un peligro para la salud, pero si se va soldar en espacios encerrados durante periodos largos, o si existe la posibilidad de ingerir polvo de amolado de los electrodos, conviene considerar precauciones especiales en lo tocante a la ventilación. Se recomienda al usuario consultar con el personal de seguridad apropiado.

Una clasificación de electrodos de tungsteno descontinuada es la clave EWTh-3. Este electrodo tenía un segmento longitudinal o axial con un contenido de torio entre 1 y 2 %. El contenido de torio medio de todo el electrodo variaba entre 0,35 y 0,55 %. Los avances en la metalurgia de polvos y otras mejoras del procesamiento han hecho que se descontinúe esta clasificación, y ya no es posible encontrar estos electrodos en el mercado.

2.2.5. Clasificación de electrodos EWCe

Los electrodos de tungsteno con cerio se introdujeron en el mercado estadounidense a principios de la década de 1980. Estos electrodos se crearon como un posible sustituto de los electrodos con torio porque el cerio, a diferencia del torio, no es un elemento radiactivo.

Los electrodos EWCe-2 son electrodos de tungsteno que contienen 2 % de óxido de cerio, CeO_2 , llamado cerio. En comparación con los electrodos de tungsteno puro, los de tungsteno ceriado tiene menores tasas de vaporización o quemado. Estas ventajas mejoran al aumentar el contenido de cerio. Los electrodos EWCe-2 trabajan bien con CA o CC.

2.2.6. Clasificación de electrodos EWLa

Los electrodos EWLa-1 se inventaron en la misma época que los de tungsteno con cerio y por la misma razón, que el lantano no es radiactivo. Estos electrodos contienen 1 % de óxido de lantano La_2O_3 , conocido como lantana. Las ventajas y características de operación de estos electrodos son muy similares a las de los electrodos de tungsteno ceriado.

2.2.7. Clasificación de electrodos EWZr

Los electrodos de tungsteno con zirconio, EWZr, contienen una pequeña cantidad de óxido de zirconio, como se indica en la tabla III. Estos electrodos tienen características de soldadura que generalmente están entre las del tungsteno puro y las del tungsteno con torio.

Son los electrodos preferidos para soldar con CA porque combinan las características deseables de estabilidad del arco y extremo de bola típicas del tungsteno puro con las características de capacidad de corriente y encendido del arco del tungsteno con torio. Tienen mayor resistencia a la contaminación que el tungsteno puro y se prefieren para aplicaciones de soldadura de calidad radiográfica en las que minimizarse la contaminación de la soldadura con tungsteno.

2.2.8. Clasificación de electrodos EWG

La clasificación de electrodo EWG se asignó a las aleaciones no cubiertas por las clases anteriores. Estos electrodos contienen una adición no especificada de un óxido o combinación de óxidos, de tierras raras u otro. El propósito de esta adición es afectar la naturaleza o características del arco, según la definición del fabricante, quien debe identificar la adición o adiciones especificadas y la cantidad nominal añadida.

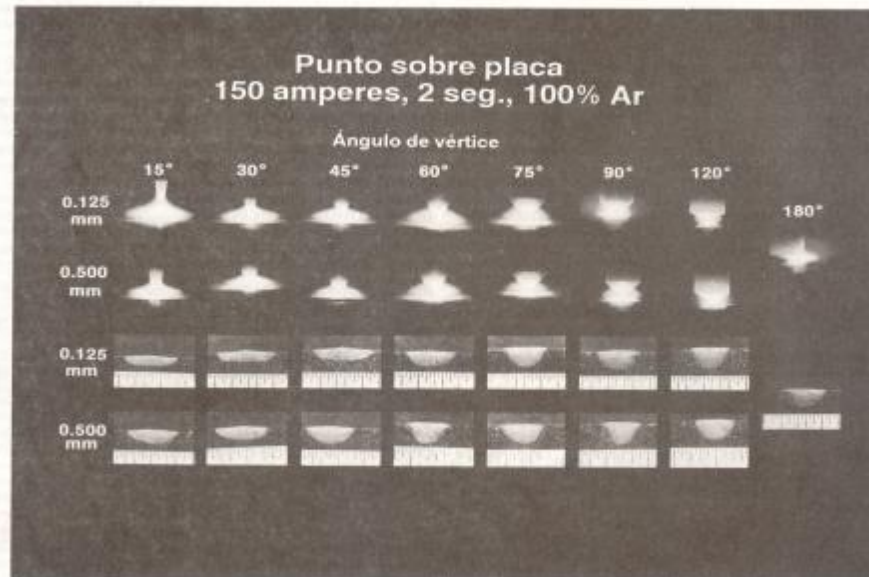
Hay varios electrodos EWG disponibles en el mercado o en desarrollo. Incluyen electrodos con adiciones de óxido de itrio o de óxido de magnesio. Esta clasificación también incluye los electrodos correspondientes en cantidades distintas de las que se mencionaron, o combinados con otros óxidos.

2.3. Configuraciones de punta de los electrodos

La forma de la punta del electrodo de tungsteno es una variable importante del proceso GTAW. Es posible usar electrodos con diversas preparaciones de la punta. Para soldar con ca, los electrodos de tungsteno puro o zirconio forman un extremo hemisférico abultado.

Para soldar con CC suelen usarse electrodos de tungsteno con torio, con cerio o con lantano. En este caso, el extremo por lo regular se amuela hasta un ángulo incluido específico, a menudo con el extremo truncado. Como puede verse en la figura 3, las diferentes geometrías de punta del electrodo afectan la forma y el tamaño de la franja de soldadura. En general, al aumentar el ángulo incluido, aumenta la penetración de la soldadura y disminuye la anchura de la franja. Aunque pueden usarse electrodos de diámetro pequeño con punta cuadrada para soldar con CCEN, las puntas cónicas ofrecen un mejor rendimiento.

Figura 3. **Forma del arco y perfil de la zona de fusión en función de la geometría de la punta del electrodo**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 82.

Sea cual sea la geometría de punta del electrodo que se escoja, es importante seguir usando la misma geometría una vez establecido el procedimiento de soldadura.

Los cambios en la geometría del electrodo pueden influir de manera significativa en el tamaño y la forma de la franja de soldadura; por tanto, la configuración de la punta del electrodo es una variable que debe estudiarse durante el desarrollo del procedimiento de soldadura.

En general, las puntas de tungsteno se preparan por formación de bola, amolado o afilado químico. En casi todos los electrodos, con excepción de los más pequeños, se prepara una punta ahusada, aunque posteriormente se le vaya a dar forma de bola para soldar con CA.

2.3.1. Formación de bola

Cuando se solda con CA, por lo regular con un electrodo de tungsteno puro o zirconio, la forma de punta más deseable es la hemisférica. Antes de usarse para soldar, se le puede dar forma de bola a la punta del electrodo encendiendo un arco sobre un bloque de cobre u otro material apropiado enfriado por agua empleando ca o CCEP.

La corriente del arco se aumenta hasta que el extremo del electrodo se calienta al blanco y comienza a fundirse, con lo cual se forma una pequeña bola en la punta. A continuación, se reduce gradualmente la corriente y se extingue, dejando una bola hemisférica en el extremo del electrodo de tungsteno. El tamaño del hemisferio no debe ser mayor que 1,5 veces el diámetro del electrodo, pues de lo contrario puede desprenderse cuando está fundido.

2.3.2. Amolado

Si se desea un arco con estabilidad óptima, los electrodos de tungsteno deben amolarse con su eje perpendicular al eje de la rueda de amolar. La rueda deberá reservarse para amolar exclusivamente tungsteno, a fin de evitar una posible contaminación de la punta de tungsteno con materiales extraños durante la operación de amolado. Es recomendable usar campanas de ventilación al amolar electrodos con torio con el fin de eliminar el polvo de amolado del área de trabajo.

2.3.3. Afilado químico

El afilado químico consiste en sumergir el extremo al rojo vivo de un electrodo de tungsteno en un recipiente con nitrato de sodio. La reacción química

entre el tungsteno caliente y el nitrato de sodio hará que el tungsteno se erosione con velocidad uniforme alrededor de la circunferencia y el extremo del electrodo. El calentamiento e inmersión repetidos del tungsteno en el nitrato de sodio formarán una punta ahusada.

2.4. Contaminación de los electrodos

La contaminación del electrodo de tungsteno ocurre con mayor frecuencia cuando el soldador toca accidentalmente el charco de soldadura con la punta del electrodo o toca el tungsteno con el metal de aporte. El electrodo de tungsteno también puede oxidarse si el gas protector no es el adecuado o si su flujo es insuficiente durante la soldadura o después de extinguirse el arco.

Otras fuentes de contaminación son: vapores metálicos del arco de soldadura, erupciones o salpicaduras del charco de soldadura, causadas por atrapamiento de gases, y evaporación de impurezas superficiales.

El extremo contaminado del electrodo de tungsteno afectará adversamente las características del arco y puede dar pie a inclusiones de tungsteno en el metal de soldadura. Si esto ocurre, será preciso detener la operación de soldadura y eliminar la porción contaminada del electrodo.

Los electrodos de tungsteno contaminados deben rectificarse debidamente desprendiendo la sección contaminada y amolando hasta darles la forma correcta, según el procedimiento sugerido por el fabricante.

2.5. Alimentadores de alambre

Los alimentadores de alambre sirven para añadir metal de aporte durante la soldadura mecanizada y automática. Se puede alimentar alambre a temperatura ambiente o bien precalentado al charco de soldadura. El alambre frío se alimenta por el borde delantero del charco, y el alambre caliente por el borde de atrás.

2.5.1. Alambre frío

El sistema para alimentar alambre frío tiene tres componentes:

- Mecanismo impulsor del alambre
- Control de velocidad
- Aditamento guía para introducir el alambre en el charco de soldadura

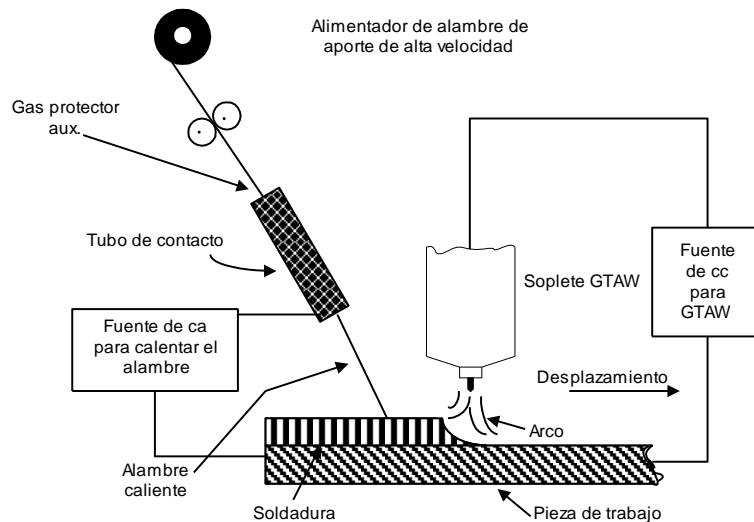
El impulsor consiste en un motor y tren de engranes que impulsan un conjunto de rodillos, los cuales empujan el alambre. El control es, en esencia, un gobernador de velocidad constante que puede ser un dispositivo mecánico o electrónico. El alambre se alimenta a la guía a través de un conducto flexible.

La guía de alambre ajustable se sujeta al portaelectrodos. Esta mantiene la posición de entrada del alambre a la soldadura y el ángulo de aproximación relativo al electrodo, la superficie de trabajo y la unión. En aplicaciones de trabajo pesado, la guía del alambre se enfría con agua. Se emplea alambres con diámetros entre 0,4 y 2,4 mm, 0,015 a 3/32 pulg. Hay alimentadores especiales que introducen el alambre en forma continua pulsada o intermitente.

2.5.2. Alambre caliente

El proceso de adición del alambre caliente es similar al del alambre frío, excepto que el alambre se calienta por resistencia hasta una temperatura cercana a su punto de fusión justo antes de hacer contacto con el charco de soldadura. Si se usa alambre precalentado, caliente, en soldadura por arco de tungsteno y gas mecanizada o automática en la posición plana, el alambre se alimenta mecánicamente al charco de soldadura a través de un retén desde el que fluye gas inerte para proteger el alambre caliente contra la oxidación. Este sistema se ilustra en la figura 4. Normalmente se usa una mezcla de 75 % de helio y 25 % de argón para proteger el electrodo de tungsteno y el charco de soldadura.

Figura 4. Sistema de alambre caliente para arco de tungsteno y gas

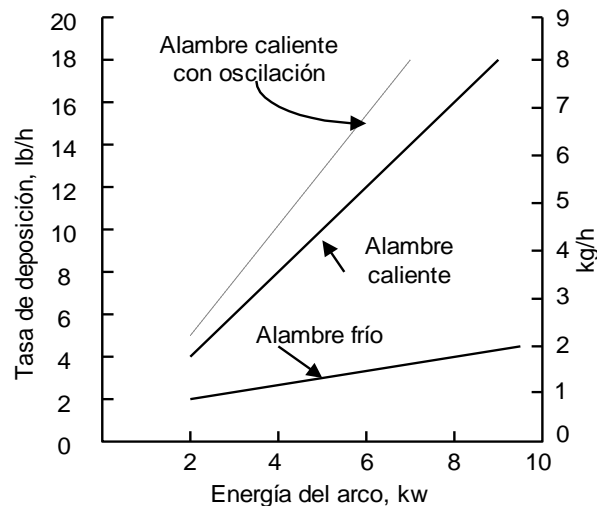


Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 83.

La tasa de deposición es mayor con el alambre caliente que con alambre frío, como se aprecia en la figura 5. Esta tasa es comparable con la de soldadura por arco de metal y gas.

El flujo de corriente se inicia cuando el alambre hace contacto con la superficie de la soldadura. El alambre se alimenta al charco fundido inmediatamente detrás del arco con un ángulo de 40 a 60 grados respecto al electrodo de tungsteno.

Figura 5. **Tasas de deposición para soldadura por arco de tungsteno y gas con alambre de aporte de acero frío y caliente**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 83.

El alambre se calienta por resistencia con corriente alterna de una fuente de potencia de voltaje constante. Se usa ca para calentar el alambre con el fin de evitar el golpe del arco. Si la corriente no excede el 60 % de la corriente del arco, el arco oscilará 30 grados en dirección longitudinal. La oscilación aumenta a 120 grados cuando las corrientes de calentamiento y del arco son iguales. La

amplitud de oscilación del arco puede controlarse limitando el diámetro del alambre a 1,2 mm 0,045 pulg. y reduciendo la corriente de calentamiento a menos del 60 % de la corriente del arco.

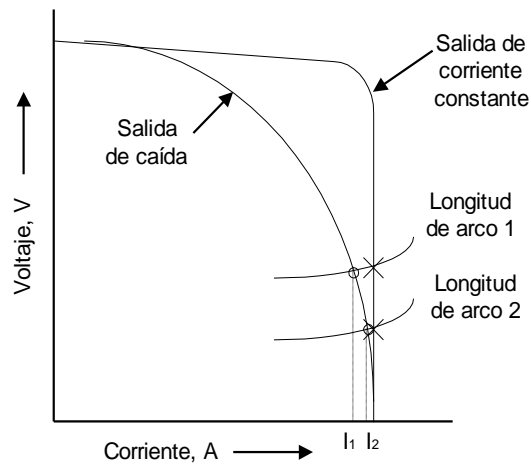
Se ha usado con éxito alambre de aporte precalentado para unir aceros al carbono y de baja aleación, aceros inoxidables y aleaciones de cobre y níquel. No se recomienda el precalentamiento para alambres de aporte de aluminio y cobre porque la baja resistencia eléctrica de estos metales exige una corriente de calentamiento elevada, que a su vez produce una desviación excesiva del arco y una fusión dispareja.

2.6. Fuentes de potencia

Las fuentes de poder recomendadas para GTAW son las de corriente constante. La potencia requerida para soldar tanto con CA como con CC puede obtenerse de fuentes de transformador-rectificador o de generadores rotatorios de CA o CC. Los avances en la electrónica de semiconductores han popularizado el empleo de fuentes de potencia de transformador-rectificador para GTAW tanto en talleres como en el campo, pero las fuentes del tipo rotatorio se siguen utilizando mucho en el campo.

Las fuentes de poder para GTAW suelen tener características estáticas de salida de caída o de corriente prácticamente constante, como las que se muestran en la figura 6. La característica de salida estática es función del tipo de control de corriente de soldadura empleado en el diseño de la fuente de poder.

Figura 6. **Características volt-ampere estáticas para fuentes de potencia de caída y de corriente constante**



Fuente: Autor American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 83.

La característica voltaje-corriente en caídas típicas de las fuentes de poder controladas magnéticamente, incluidos los diseños de bobina móvil, derivación móvil, reactor de núcleo móvil, reactor saturable o amplificador magnético, y también los de fuente de poder rotatoria, se puede obtener una salida de corriente verdaderamente constante con fuentes de potencia de control electrónico.

La característica del tipo de caída es ventajosa para la soldadura manual cuando no se dispone de un control remoto de corriente operado por pedal. Con este tipo de característica, el soldador puede variar ligeramente el nivel de corriente modificando la longitud del arco. El grado de control que es posible cambiando la longitud del arco puede inferirse de la figura 6.

En la mayor parte de las fuentes de poder controladas magnéticamente, el control del nivel de la corriente se efectúa en la porción de caída de la fuente. Es por

ello que este tipo de fuentes de poder casi nunca se usa para suministrar corriente a pulsos, pues su respuesta dinámica es lenta. La adición de un puente rectificador permite a estas fuentes suministrar corriente de soldadura tanto de ca como de CC.

Las fuentes de poder que emplean un componente móvil para controlar la corriente no se prestan al control remoto mediante un pedal, como sucede con las de los demás tipos.

En general, se considera que las fuentes de poder controladas magnéticamente tienen control de lazo abierto, en cuanto a que la corriente de soldadura real para un nivel de corriente dado depende de las condiciones de soldadura y puede variar si estas cambian. Las fuentes de poder monofásicas pueden suministrar corriente tanto de CA como de CC, en tanto que las trifásicas por lo regular solo suministran CC. La corriente de CC de una fuente trifásica casi siempre es más constante que la de una fuente monofásica por su menor amplitud de corriente de rizo.

Las ventajas de las fuentes de poder controladas magnéticamente son su sencillez de operación, el poco mantenimiento que requieren en entornos industriales adversos, y su costo relativamente bajo. Las desventajas son grandes en volumen y en peso y tienen menor eficiencia en comparación con las fuentes controladas electrónicamente.

Además, como ya se dijo, la mayor parte de las técnicas de control magnético son de lazo abierto, lo que limita la repetibilidad, la exactitud y la respuesta. Las fuentes de poder controladas electrónicamente, como los diseños de regulador lineal en serie, rectificador controlado por silicio, secundario

conmutado e inversor, pueden proporcionar una característica volt-amperio de corriente esencialmente constante.

Este tipo de característica suele ser ventajosa en la soldadura mecanizada y automática, pues ofrece exactitud y repetibilidad en el nivel de corriente de una soldadura a otra. La mayor parte de las fuentes de poder de corriente constante tienen control de lazo cerrado, en el que la corriente real se mide y compara con el nivel de corriente deseado. Los ajustes se efectúan electrónicamente dentro de la fuente de potencia a fin de mantener la corriente deseada, aunque cambian las condiciones de soldadura.

En general, las fuentes de poder controladas electrónicamente ofrecen una respuesta dinámica rápida; por ello, pueden servir para suministrar corriente de soldadura a pulsos. Los diseños de regulador lineal en serie y secundario conmutado solo proporcionan corriente de soldadura de CC a partir de potencia de entrada monofásica o trifásica.

Los diseños de rectificador controlado por silicio pueden suministrar corriente de CA y CC a partir de potencia monofásica y corriente de CC a partir de potencia trifásica.

Dependiendo del diseño, los inversores pueden proporcionar salida de CA y CC a partir de potencia de entrada monofásica y trifásica. Las fuentes de potencia de inversor son las más versátiles, y muchas ofrecen capacidad de multiproceso y salida de corriente de soldadura con forma de onda variable. Además, los inversores son más ligeros y compactos que otros diseños de fuente de potencia con especificación de corriente equivalente.

Las ventajas de las fuentes de potencia controladas electrónicamente son las que ofrecen una respuesta dinámica rápida, proporcionan corriente de salida con forma de onda variable, tienen excelente repetibilidad y se prestan al control remoto. Las desventajas son que su operación y mantenimiento son más complejos y su costo es relativamente elevado.

Es importante seleccionar la fuente de potencia para GTAW con base en el tipo de corriente requerida para una aplicación en particular. Los tipos de corriente de soldadura incluyen CA senoidal, CA de onda cuadrada, CC y CC pulsada. En la siguiente sección del presente capítulo se dará más información acerca de los tipos de corriente de soldadura y sus efectos. Existen muchas fuentes de potencia con diversos controles y funciones adicionales, como control del agua y del gas protector, secuenciando del alimentador de alambre y del mecanismo de desplazamiento pendiente de corriente positiva y negativa, y secuencia de corriente múltiple.

2.6.1. Corriente directa

Si se usa corriente directa, el electrodo de tungsteno puede conectarse ya sea a la terminal negativa o a la positiva de la fuente de potencia. En casi todos los casos, se escoge que el electrodo sea negativo, cátodo. Con esta polaridad, los electrones fluyen del electrodo al trabajo y los iones positivos se transfieren del trabajo al electrodo, como se muestra para CCEN, polaridad directa en la figura 7. Cuando el electrodo es positivo, ánodo, las direcciones de flujo de los electrones y los iones positivos se invierten, como se muestra para CCEP, polaridad inversa en la figura 7.

Figura 7. **Características de los tipos de corriente para soldadura por arco de tungsteno y gas**

Tipo de corriente	CCEN	CCEP	ca (equilibrada)
Polaridad del electrodo	Negativa	Positiva	
Flujo de electrones e iones			
Características de penetración			
Acción limpiadora de óxidos	No	Si	Sí, una vez cada medio ciclo
Balace calorífico en el arco (aprox.)	70% en el extremo del trabajo 30% en el extremo del electrodo	30% en el extremo del trabajo 70% en el extremo del electrodo	50% en el extremo del trabajo 50% en el extremo del electrodo
Penetración	Profunda; angosta	Somera; ancha	Mediana
Capacidad del electrodo	Excelente p. ej. 3.2 mm (1/8 pulg) 400 A	p. ej. 6.4 mm (1/4 pulg) 120 A	p. ej. 3.2 mm (1/8 pulg) 225 A

Figura. American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 85.

Con CCEN y un electrodo termoiónico como el de tungsteno aproximadamente el 70 % del calor se genera en el ánodo y el 30 % en el cátodo. Puesto que CCEN produce la mayor parte del calor en la pieza de trabajo para una corriente de soldadura dada esta polaridad produce mayor penetración de la soldadura que CCEP, véase la figura 7. CCEN es la configuración más común empleada en GTAW, y se usa con argón, helio o una mezcla de los dos para soldar la mayor parte de los metales.

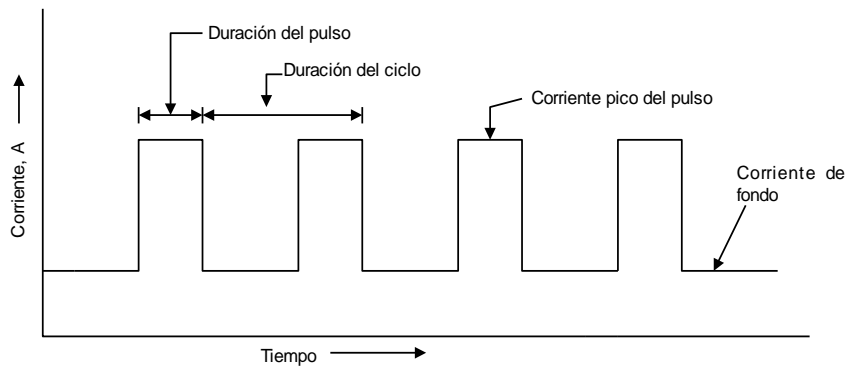
Cuando el electrodo de tungsteno se conecta a la terminal positiva, CCEP, se crea una acción de limpieza catódica en la superficie de la pieza de trabajo. Esta acción ocurre con todos los metales, pero es más importante cuando se suelda aluminio o magnesio porque elimina la película de óxido refractario que inhibe la humectación del soldamiento por parte del metal de soldadura.

A diferencia de CCEN, donde la punta del electrodo se enfría por la evaporación de los electrodos, cuando el electrodo se usa como polo positivo su punta se calienta por el bombardeo de electrones además de por la resistencia que opone a su paso por el electrodo. Por tanto, cuando se usa polaridad inversa se requiere un electrodo de diámetro más grande para una corriente de soldadura dada, a fin de reducir el calentamiento por resistencia e incrementar la conducción térmica hacia el mandril del electrodo. La capacidad de transporte de corriente de un electrodo conectado a la terminal positiva es aproximadamente la décima parte de la de un electrodo conectado a la terminal negativa. En general, el uso de CCEP está limitado a la soldadura de piezas de lámina.

2.6.1.1. Soldadura con CC pulsada

En la CC a pulsada la corriente del arco varía en forma repetitiva desde un valor de fondo, bajo hasta un valor pico, alto. Las fuentes de potencia de CC pulsada por lo regular permiten ajustar la duración del pulso de corriente, el tiempo de la corriente de fondo, el nivel de la corriente pico y el nivel de la corriente de fondo, a fin de producir una salida con forma de onda adaptada a una aplicación en particular. En la figura 8 se muestra una forma de onda de corriente a típica pulsada. En general, los tiempos de duración del pulso y del fondo se ajustan de modo que la corriente cambie de nivel a intervalos que van desde una vez cada dos segundos hasta 20 pulsos por segundo. La corriente pulsada por lo regular se aplica con el electrodo negativo, CCEN.

Figura 8. **Forma de onda de cc pulsada**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 85.

En la soldadura con CC a pulsada, el nivel de corriente del pulso suele ajustarse entre 2 y 20 veces el nivel de corriente de fondo.

Esto combina las características de arco vigoroso de la corriente elevada con el aporte de calor bajo de la corriente reducida. La corriente de los pulsos logra buena fusión y penetración, en tanto que la corriente de fondo mantiene el arco y permite que se enfríe el área de soldadura.

La corriente pulsada tiene varias ventajas. Para un nivel de corriente medio dado, es posible obtenerse mayor penetración que con una corriente estable, cosa que resulta útil con metales sensibles al aporte de calor, además de que minimiza la distorsión. Como no hay suficiente tiempo para que fluya una cantidad significativa de calor durante el tiempo de pulso tan corto. Los metales con espesores disímiles, por lo regular, tienen la misma respuesta y es posible lograr una penetración uniforme.

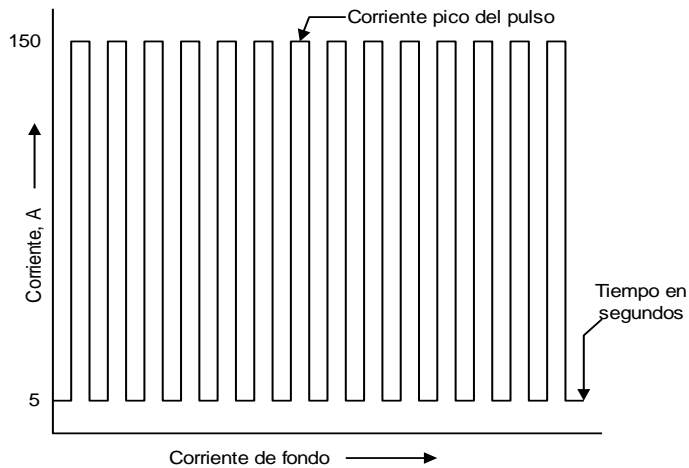
Por lo mismo, se puede soldar metales muy delgados con CC a pulsada. Además, es posible usar el mismo conjunto de variables de soldadura para uniones en todas las posiciones, como en la soldadura circunferencial de tubos horizontales. La CC pulsada también resulta útil para salvar brechas en uniones de raíz abierta.

Aunque se usa principalmente para GTAW mecanizada y automática, el pulsado ofrece ventajas para la soldadura manual. Los soldadores con poca experiencia pronto se dan cuenta de que pueden mejorar su habilidad si cuentan los pulsos, de $\frac{1}{2}$ a 2 pulsos por segundo, y los usan para regular el movimiento del soplete y del alambre frío. Los soldadores experimentados pueden soldar materiales más delgados, aleaciones disímiles y espesores disímiles con menos dificultad.

2.6.1.2. Soldadura pulsada de alta frecuencia

La CC conmutada de alta frecuencia implica la aplicación de corriente continua que se conmuta desde un nivel bajo hasta otro alto con una frecuencia fija rápida de aproximadamente 20 kHz, como se muestra en la figura 9.

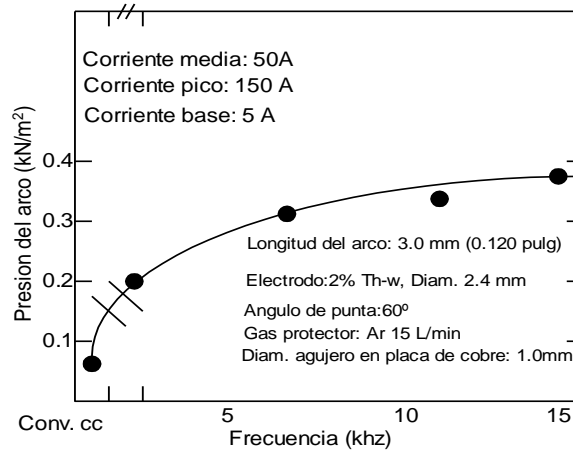
Figura 9. **Relación entre la presión del arco y la frecuencia de pulsos**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 86.

El tiempo de encendido de la corriente pico se varía a fin de cambiar el nivel de corriente medio. El efecto de la conmutación de alta frecuencia es producir un arco rígido. La presión del arco es una medida de su rigidez. Como se observa en la figura 10, conforme la frecuencia de conmutación se acerca a 10 kHz, la presión del arco se incrementa hasta casi cuatro veces la presión de un arco de CC estable. Al aumentar la presión del arco, se reduce su desplazamiento lateral, como el producido por campos magnéticos, golpe del arco, o por movimiento del gas protector, desviación del arco.

Figura 10. **Forma de onda de corriente de soldadura de CC a pulsos conmutada de alta frecuencia**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 86.

La CC conmutada de alta frecuencia es útil en aplicaciones de precisión mecanizadas y automáticas en las que se requiere un arco con propiedades direccionales y estabilidad excepcionales. También se emplea cuando se necesita un arco estable con niveles de corriente media muy bajos. La desventaja de la CC conmutada de alta frecuencia es que las fuentes de potencia para soldadura son costosas. Además, si la frecuencia de conmutación está en el intervalo audible, el sonido del arco puede ser muy molesto.

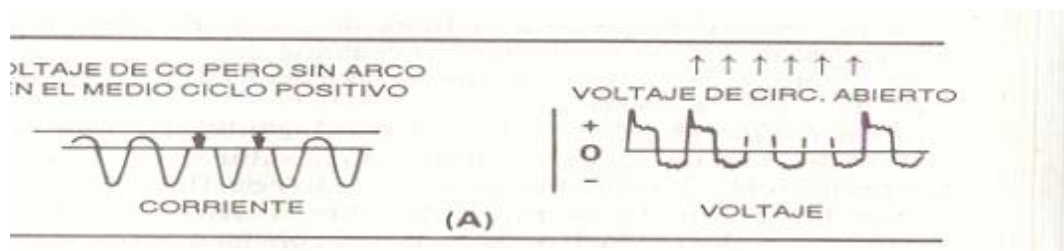
2.6.2. Corriente alterna

La corriente alterna experimenta una inversión periódica de su polaridad, de electrodo positivo a electrodo negativo. Por tanto, la corriente alterna puede combinar la acción limpiadora del trabajo de la polaridad inversa, electrodo positivo, con la penetración profunda característica de la polaridad directa, electrodo negativo.

Las fuentes de potencia de CA para soldaduras convencionales producen una salida de voltaje de circuito abierto senoidal que esta desfasada cerca de 90° con la corriente. La frecuencia de inversión del voltaje suele estar fija a la frecuencia estándar de 60 Hz. de la potencia primaria. El voltaje de arco real está en fase con la corriente de soldadura. El voltaje que se mide es la suma de las caídas de voltaje en el electrodo, el plasma, en el ánodo, el cátodo, y todas estas son resultado del flujo de la corriente.

Cuando la corriente cae a cero, se presentan diferentes efectos, dependiendo de la polaridad. Si el electrodo de tungsteno termoiónico se vuelve negativo, proporciona de inmediato electrones para volver a encender el arco. En cambio, cuando el charco de soldadura se vuelve negativo, no podrá suministrar electrones a menos que el voltaje se eleve lo suficiente para iniciar una emisión de cátodo frío. Sin este voltaje, el arco se vuelve inestable, como se muestra en la figura 11.

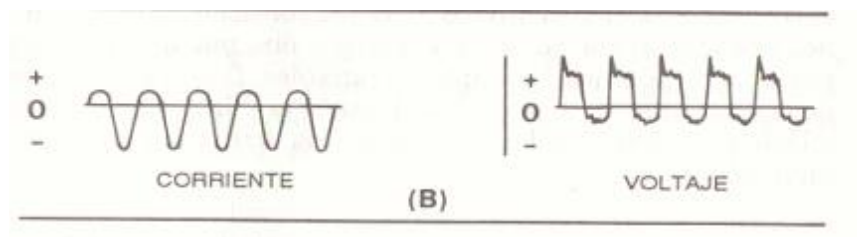
Figura 11. **Formas de onda de voltaje y corriente para soldadura con CA. rectificación parcial y completa**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 87.

Si se usan fuentes de potencia sinusoidal convencionales, se requiere algún mecanismo para estabilizar el arco durante la inversión del voltaje. Esto se ha hecho mediante el uso de fuentes con voltaje de circuito abierto elevado, con descargas de condensadores en el momento apropiado durante el ciclo, con chispas de alto voltaje y alta frecuencia en paralelo con el arco y utilizando de potencia con salida de onda cuadrada. Los resultados de semejante estabilización se muestran en la figura 12.

Figura 12. **Formas de onda de voltaje y corriente para soldadura con CA. con estabilización de arco**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 87.

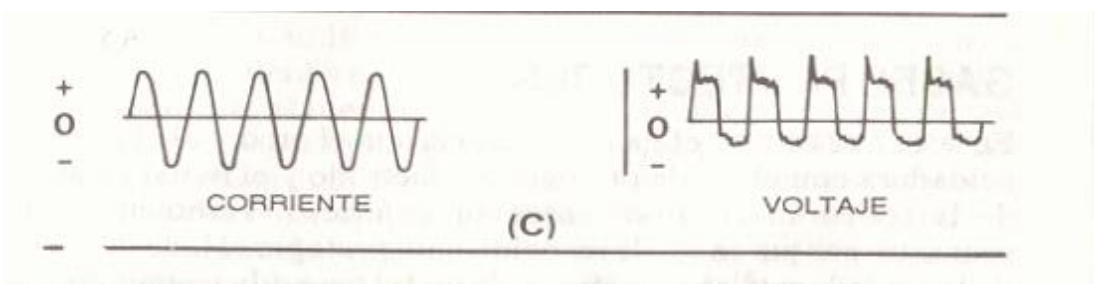
El voltaje de circuito abierto del transformador puede incrementarse para mejorar la estabilidad del arco. Si se usa helio como gas protector, se requiere un voltaje de circuito abierto de cerca de 100 volt. También puede obtenerse el voltaje necesario añadiendo una fuente de voltaje de alta frecuencia en serie con el transformador. El voltaje de alta frecuencia suele ser del orden de varios miles de volts, y su frecuencia puede ascender a varios mega Hertz, la corriente es muy baja. El voltaje de alta frecuencia puede aplicarse continuamente o en forma periódica durante la soldadura. En el segundo caso, hace que cuando la corriente pasa por cero se produzca una ráfaga de alto voltaje.

Las fuentes de potencia para soldadura de onda cuadrada pueden cambiar la dirección de la corriente en un lapso muy corto.

La presencia de alto voltaje, aunada a una temperatura elevada del electrodo y del metal base en el momento de invertirse la corriente, permite que el arco se vuelva a encender sin necesidad de un estabilizador. Además, la corriente pico más baja de la forma de onda cuadrada tiende a ampliar el intervalo de corriente útil del electrodo.

Puesto que es más fácil proporcionar los electrones necesarios para sostener un arco cuando el electrodo es negativo, el voltaje requerido también es menor. El resultado es una corriente de soldadura más alta durante el intervalo de CCEN que durante CCEP. De hecho, la fuente de potencia produce corriente tanto continua como alterna. Esta rectificación puede dañar la fuente de potencia por el sobrecalentamiento o, en algunas máquinas, causar un decaimiento de la salida. La rectificación se elimina con un balance de corriente, como se muestra en la figura 13.

Figura 13. **Formas de onda de voltaje y corriente para soldadura con CA. con balanceo de corriente**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 87.

Las primeras fuentes de potencia de corriente balanceada empleaban condensadores conectados en serie o bien una fuente de voltaje de cc (como una batería) en el circuito de soldadura. Los circuitos de fuente de potencia modernos utilizan balanceo electrónico de la onda. El flujo de corriente balanceado no es indispensable para la mayor parte de las operaciones de soldadura manual, pero sí es deseable para la soldadura mecanizada o automática a alta velocidad.

Las ventajas del flujo de corriente balanceado son las siguientes:

- Más completa eliminación de óxidos.
- Soldadura más uniforme y de mayor calidad.
- No se requiere reducir la especificación de salida de un tamaño dado de transformador para soldadura convencional, se minimiza la magnetización de núcleo no balanceada producida por el componente de CC de un flujo de corriente no balanceado.

Las que siguen son desventajas del flujo de corriente balanceado:

- Se requieren electrodos de tungsteno más grandes.
- Los voltajes de circuito abierto más elevados que generalmente se asocian a los mecanismos de balanceo de la onda pueden representar un problema de seguridad.
- Las fuentes de potencia para soldadura de onda balanceada son más costosas.

Algunas fuentes de potencia de CA de onda cuadrada ajustan el nivel de la corriente durante los ciclos de electrodo positivo y electrodo negativo a la frecuencia estándar de 60 Hz. Las fuentes de mayor costo ajustan el tiempo de cada medio ciclo de polaridad, además del nivel de la corriente durante ese medio ciclo. Estas formas de onda variables ajustan la corriente de soldadura adaptándola a una aplicación en particular. Las características de la corriente alterna de onda cuadrada variable, se muestran en figura 14.

Figura 14. **Características de la CA de onda cuadrada variable**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 88.

2.7. Control del voltaje de arco

En GTAW mecanizada y automática se emplea controladores del voltaje de arco para mantener la longitud del arco. En este caso, el arco mismo es un sensor, ya que convierte una medida de longitud, espacio del arco, en una señal eléctrica, voltaje del arco.

El controlador compara los voltajes de arco medido y deseado para determinar en qué dirección y con qué velocidad debe desplazarse el electrodo

de soldadura. Esta determinación, expresada como una señal de error de voltaje, se amplifica para impulsar motores de un soporte deslizante sobre el que está montado el soplete. Se detecta el voltaje cambiante que resulta del movimiento del electrodo de soldadura, y el ciclo se repite para mantener el voltaje de arco deseado.

2.8. Oscilación del arco

La anchura de las soldaduras por arco de tungsteno y gas pueden aumentar mediante oscilación mecánica.

Esto puede efectuarse montando el soplete de GTAW en un soporte deslizante cruzado que permita el movimiento del soplete en dirección transversal respecto a la línea de recorrido. Este equipo ofrece velocidad de alimentación cruzada, amplitud de oscilación y tiempo de cambio de dirección, ajustables a cada lado del ciclo de oscilación.

Con oscilación magnética es posible obtener una mejor fusión de las paredes de la unión y una reducción de los efectos perjudiciales del golpe de arco. Estos osciladores desvían el arco longitudinal o lateralmente sobre el charco de soldadura sin mover el electrodo. Los osciladores consisten en electroimanes situados cerca del arco y energizados por una fuente de potencia de polaridad y amplitud variables. Entre las funciones de control están el ajuste de la frecuencia y la amplitud de oscilación y el ajuste independiente de los tiempos de cambio de dirección.

2.9. Gases protectores

El soplete dirige el gas protector hacia el arco y el charco de soldadura con el fin de proteger el electrodo y el metal fundido de la contaminación por gases atmosféricos. También puede usarse un gas purgante de respaldo para proteger el lado de debajo de la soldadura y las superficies de metal base adyacentes contra la oxidación durante la soldadura.

Hay mayores posibilidades de lograr un perfil uniforme de la franja de raíz, ausencia de socavamiento y el esfuerzo de raíz deseado si se usa respaldo con gas en condiciones controladas. En algunos materiales, el respaldo con gas reduce le agrietamiento de la raíz y la porosidad de la soldadura.

2.9.1. Tipos de gases protectores

El argón y el helio, o las mezclas de estos dos, son los tipos más comunes de gases inertes empleados como escudos. En aplicaciones especiales se usan mezclas de argón e hidrógeno.

2.9.1.1. Argón

Argón, Ar, es un gas monoatómico inerte con peso molecular de 40. Se obtiene de la atmósfera por separación del aire licuado.

El argón de grado soldadura se refina hasta una pureza mínima del 99,95 %. Esto es aceptable para soldar con GTAW la mayor parte de los metales excepto los reactivos y refractarios, para los cuales se requiere una pureza mínima del 99,99 %. En muchos casos, estos metales se procesan en cámaras de las que se ha purgado todo el aire iniciarse la operación de soldadura.

El argón se utiliza más ampliamente que el helio porque tiene las siguientes ventajas:

- Acción de arco más uniforme y silenciosa
- Menor penetración
- Acción de limpieza al soldar materiales como el aluminio y el magnesio
- Menor costo y mayor disponibilidad
- Buena protección con tasas de flujo más bajas
- Mayor resistencia a ráfagas transversales
- Mejor iniciación del arco.

La menor penetración de un arco escudado con argón resulta especialmente útil al soldar a mano materiales delgados, ya que se reduce la tendencia a una perforación excesiva. Esta misma característica representa una ventaja en la soldadura vertical o cenital porque se reduce la tendencia del metal base a pandearse o escurrir.

2.9.1.2. Helio

El helio, He, es un gas monoatómico inerte muy ligero, con peso atómico de cuatro. Se obtiene por separación a partir del gas natural. El helio de grado soldadura se refina hasta una pureza de por lo menos el 99,99 %.

Con valores fijos de corriente de soldadura y longitud del arco, el helio transfiere más calor al trabajo que el argón. El mayor poder de calefacción del arco de helio puede ser ventajoso al soldar metales con elevada conductividad térmica y en aplicaciones mecanizadas de alta velocidad. Además, el helio se usa con mayor frecuencia que el argón para soldar placas gruesas. Las mezclas

de helio y argón son útiles cuando se desea un término medio entre las características de ambos gases.

2.9.1.3. Características del argón y el helio

El factor principal que influye en la efectividad de la protección es la densidad del gas.

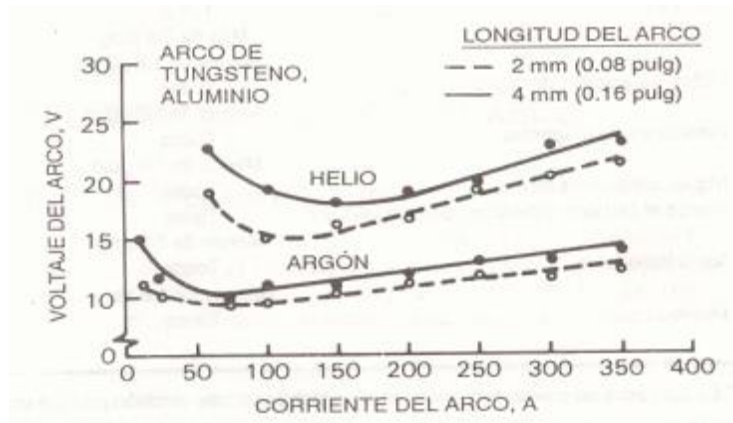
El argón es aproximadamente una y un tercio veces más denso que el aire y diez veces más denso que el helio. El argón, después de salir por la boquilla del soplete, forma un manto sobre el área de soldadura.

El helio, como es más ligero, tiende a elevarse alrededor de la boquilla. Trabajos experimentales han demostrado consistentemente que, para lograr una efectividad de protección equivalente, el flujo de helio debe ser de dos a tres veces el flujo de argón. La misma relación general se cumple para las mezclas de argón y helio, sobre todo las de alto contenido de helio.

Las características importantes de estos gases son las relaciones de voltaje-corriente del arco de tungsteno en argón y en helio que se ilustran en la figura 15. En todos los niveles de corriente, con arcos de longitud equivalente, el voltaje de arco que se obtiene con helio es bastante mayor que con argón.

Puesto que el calor del arco se mide aproximadamente según el producto de la corriente y el voltaje, potencia de arco, el helio ofrece más calor disponible que el argón. Esto hace que se le prefiera para soldar materiales gruesos y metales con elevada conductividad térmica o punto de fusión relativamente alto.

Figura 15. **Relación voltaje-corriente con escudo de helio y argón**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 89.

Sin embargo, cabe señalar que con corrientes bajas las curvas volt-ampere pasan por un mínimo de voltaje en niveles de corriente separados aproximadamente 90 amperios, después del cual el voltaje aumenta al disminuir la corriente. En el caso del helio, este aumento en el voltaje se presenta en el intervalo entre 50 y 150 amperios, donde se efectúa la mayor parte de los trabajos de soldadura de materiales delgados.

Puesto que el incremento de voltaje del argón ocurre por debajo de 50 amperios, el empleo de este gas en el intervalo de 50 a 150 amperios ofrece al operador una mayor tolerancia en la longitud del arco para controlar la operación de soldadura.

Es evidente que para obtener la misma potencia de arco se requiere una corriente bastante mayor con argón que con helio. Puesto que el socavamiento con cualquiera de estos gases ocurre más o menos con la misma corriente, el helio producirá soldaduras satisfactorias a velocidades mucho más altas.

La otra característica influyente es la estabilidad del arco. Ambos gases ofrecen una estabilidad excelente con potencia de corriente continua. Con potencia de corriente alterna, que se usa mucho para soldar aluminio y magnesio, el argón produce un arco mucho más estable y la acción de limpieza que tanto se desea, lo que lo hace muy superior al helio en este aspecto.

2.9.1.4. Mezclas de argón e hidrógeno

Las mezclas argón e hidrógeno se emplean en casos especiales, como la soldadura mecanizada de tubos de acero inoxidable de calibre delgado, en los que el hidrógeno no tiene efectos metalúrgicos adversos como la porosidad y el agrietamiento inducido por hidrógeno.

Es posible aumentar la velocidad de soldadura máxima en proporción casi directa a la cantidad de hidrógeno añadida al argón, en virtud del aumento en el voltaje del arco. Sin embargo, la cantidad de hidrógeno que puede agregarse varía con el espesor del metal y el tipo de unión para cada aplicación específica. Un exceso de hidrógeno causará porosidad.

Se han usado concentraciones de hidrógeno de hasta 35 % con acero inoxidable de todos los espesores cuando se usa una abertura de raíz de aproximadamente 0,25 a 0,5 mm, y de 0,010 a 0,020 pulg. Las mezclas de argón-hidrógeno solo pueden usarse con acero inoxidable, níquel-cobre y aleaciones con base de níquel.

La mezcla de argón-hidrogeno de uso más común contiene 15% de hidrógeno y se usa para soldar mecánicamente uniones a tope estrechas en acero inoxidable de hasta 1,6 mm, 0,062 pulg, de espesor a velocidades comparables con las que son posibles con helio, 50 % más rápido que con argón.

También se usa para soldar barriles de cerveza de acero inoxidable, uniones entre tubos y láminas de tubos en diversos aceros inoxidables y aleaciones de níquel. Para la soldadura manual en ocasiones prefiere un contenido de hidrógeno del 5 % para obtener soldaduras más limpias.

2.9.1.5. Selección del gas protector

No hay una regla fija para escoger el gas protector que será utilizado en una aplicación en particular. En la mayor parte de las aplicaciones puede usarse con éxito argón, helio o una mezcla de argón y helio, con la posible excepción de la soldadura manual de materiales muy delgados, donde el argón es indispensable.

En general, el argón produce un arco que opera de manera más uniforme y silenciosa, se maneja con mayor facilidad y es menos penetrante que un arco escudado con helio.

Por añadidura, el menor costo unitario y los requisitos de tasa de flujo más bajos del argón hacen a este gas preferible desde las aplicaciones, excepto aquellas en las que se requiere la mayor penetración calorífica del helio para soldar secciones gruesas de metales con elevada conductividad térmica, como el aluminio y el cobre. En la tabla IV se da una guía para seleccionar los gases.

Tabla IV. Tipos de corriente, electrodos de tungsteno y gases protectores recomendados para soldar diferentes metales

Tipo de metal	Espesor	Tipo de corriente	Electrodo	Gas protector
Aluminio	Todos	Corriente CA	Puro o con zirconio	Argón o argón-helio
	Más de 1/8 pulg.	CCEN	Toriado	Argón-helio o argón
	Menos de 1/8 pulg.	CCEP	Toriado o con zirconio	Argón
Cobre, aleaciones de cobre	Todos	CCEN	Toriado	Helio
	Menos de 1/8 pulg.	Corriente ca	Puro o con zirconio	Argón
Aleaciones de magnesio	Todos	Corriente ca	Puro o con zirconio	Argón
	Menos de 1/8 pulg.	CCEP	Con zirconio o con torio	Argón
Níquel, aleaciones de níquel	Todos	CCEN	Con torio	Argón
Aceros al carbono ordinarios, de baja aleación	Todos	CCEN	Con torio	Argón o argón-helio
	Menos de 1/8 pulg.	Corriente CA	Puro o con zirconio	Argón
Aceros Inoxidables	Todos	CCEN	Con torio	Argón o argón-helio
	Menos de 1/8 pulg.	Corriente ca	Puro o con zirconio	Argón
Titanio	Todos	CCEN	Toriado	Argón

Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 90.

En los casos en que se recomienda electrodos con torio también pueden usarse electrodos con cerio o con lantana.

2.9.2. Tasas de flujo de gas recomendadas

Los requisitos de flujo de gas protector se basan en el tamaño de la copa o la boquilla, el tamaño del charco de soldadura y el movimiento del aire. En general, la tasa de flujo aumenta en proporción con el área de sección transversal de la boquilla, considerando la obstrucción que representa el mandril. Se escoge un diámetro de boquilla apropiado para el tamaño del charco de soldadura y la reactividad del metal que se va a soldar.

La tasa de flujo mínima está determinada por la necesidad de un chorro rígido que venza los efectos de calentamiento del arco y las corrientes de aire transversales. Con las antorchas de uso más común, las tasas de flujo de gas protector típicas son de 7 a 16 L/min, 15 a 35 pies³/h, para argón y de 14 a 24 L/min, 30 a 50 pies³/h, para helio. Una tasa de flujo de gas excesiva causará turbulencia en el chorro de gas que puede introducir contaminación atmosférica en el charco de soldadura.

Un viento o corriente de aire transversal con velocidad de ocho o más kilómetros por hora puede romper el escudo de gas protector. Los chorros de gas más rígidos sin turbulencia, con velocidades de flujo elevadas, se obtienen incorporando lentes de gas a la boquilla y empleando helio como gas protector. Sin embargo, para reducir los costos, es preferible usar pantallas protectoras para bloquear el flujo del aire en lugar de aumentar el flujo del gas protector.

2.9.3. Purgante de respaldo

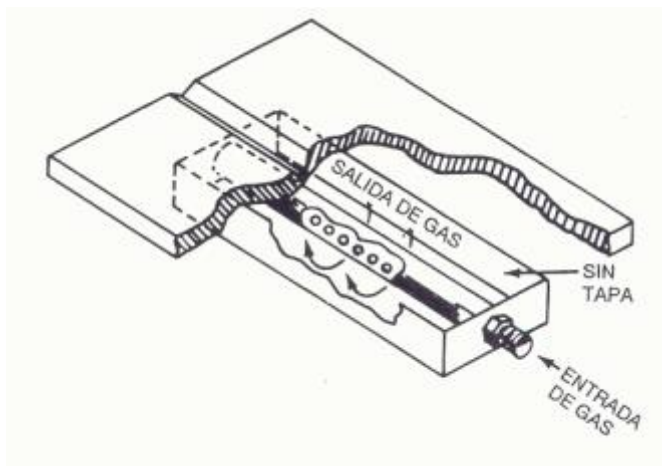
Al efectuar el pase de raíz de una soldadura, el aire contenido en el lado de atrás de la pieza de trabajo puede contaminar la soldadura. Para evitar este problema, es preciso purgar el aire de esta región.

El argón y el helio son satisfactorios como purgantes de respaldo sea cual sea el material soldado. Se puede usar con éxito nitrógeno para respaldar soldaduras en acero inoxidable austenítico, cobre y aleaciones de cobre.

La tasa de flujo de gas requerida para el purgante de respaldo va de 0,5 a 42 L/min, 1 a 90 pies³/h, dependiendo del volumen que se va a purgar. Como regla empírica, se puede obtener una atmósfera relativamente inerte dejando pasar cuatro veces el volumen que se va a purgar. Una vez purgado el volumen, el flujo de gas de respaldo durante la soldadura deberá reducirse de modo que se mantenga apenas una presión ligeramente positiva en el área purgada. Una vez completada la pasada de raíz y las primeras pasadas de relleno, puede discontinuarse el purgante de respaldo.

Hay varios dispositivos que sirven para contener el gas protector en el lado de atrás de soldaduras de placa y tubería: uno de ellos se muestra en la figura 16.

Figura 16. **Canal de gas purgante de respaldo**

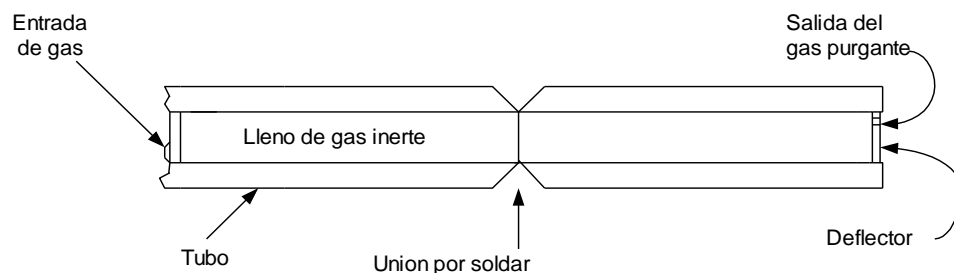


Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 91.

Al purgar sistemas de tubería es importante contar con un respiradero o escape adecuado, como el de la figura 15, para evitar que suba demasiado la presión durante la soldadura. El área de los respiraderos por los que el gas de respaldo sale a la atmósfera debe ser por lo menos igual al área de la abertura por la que el gas entra al sistema. Se debe tener cuidado especial de asegurar que la presión del purgante de respaldo no sea excesiva al soldar los últimos centímetros de la pasada de raíz, para evitar que el charco de soldadura burbujee o se forme una concavidad en la raíz.

Si se usa argón o nitrógeno, es preferible que el gas de respaldo entre en el sistema por un punto bajo, para que desplace la atmósfera hacia arriba, y que salga por un punto situado más allá de la unión que se va a soldar. Como se ve en la figura 17 En sistemas de tuberías con varias uniones, todas excepto la que se está soldando deberán cubrirse con cinta para evitar pérdida de gas.

Figura 17. **Sistema de gas purgante de respaldo para unión circunferencial en tubería**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 91.

2.9.4. Cámara para soldar con atmósfera controlada

Se puede obtener el máximo de beneficios al soldar metales reactivos si el objeto entero que se va a soldar puede colocarse en una cámara de atmósfera controlada.

Estas cámaras, como la de la figura 16, contienen las piezas por soldar, el gas protector y el equipo de soldadura. Una vez colocadas las piezas en la cámara, se inicia la purga y se toman lecturas con instrumentos analizadores de oxígeno, nitrógeno y vapor de agua para asegurar que no se comenzara a soldar hasta que los contaminantes tengan niveles suficientemente bajos, por lo regular menores que 50 ppm.

2.9.5. Escudos de estela

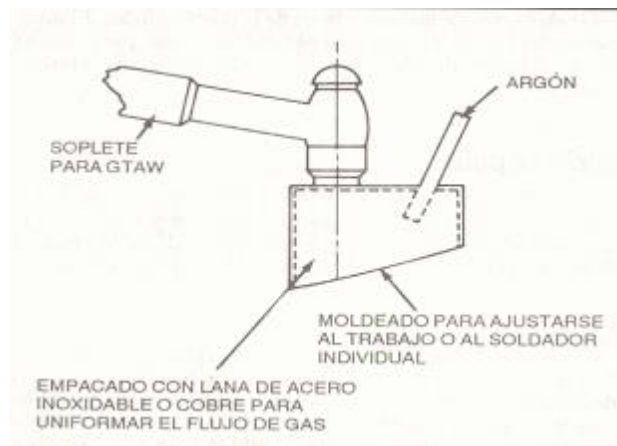
En el caso de algunos metales, como el titanio, se requieren escudos con estela si no están disponibles cámaras u otras técnicas de protección o si no resultan prácticas. El empleo de un escudo con estela asegura que el área de soldadura estará cubierta hasta que el metal fundido se haya enfriado hasta el punto que ya no reacciona con la atmósfera. En la figura 19 se muestra un tipo de escudo con estela. Las barreras fijas, como la de la figura 20, también ayudan a confinar el gas protector dentro del área inmediata al electrodo.

Figura 18. **Cámara de atmósfera controlada empleada para soldadura
tig en metales reactivos**



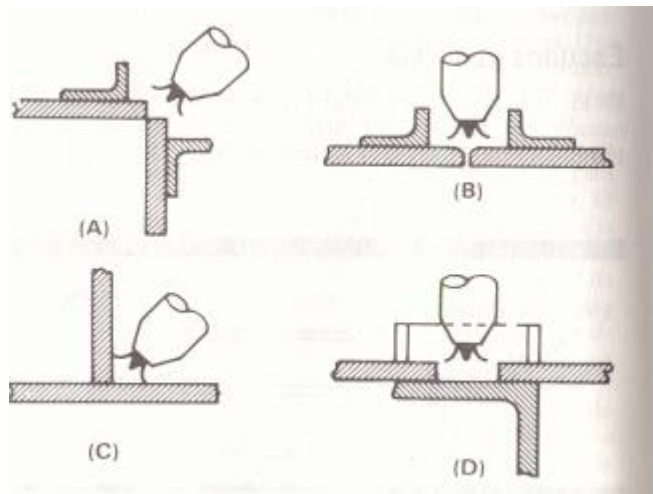
Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 92.

Figura 19. **Escudo con estela para soplete manual**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 92.

Figura 20. **Barreras empleadas para contener el gas protector cerca de la unión que se va a soldar**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 94.

3. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

3.1. Descripción del proceso

El proceso utiliza un electrodo de tungsteno, o de una aleación de tungsteno, no consumible sostenido en un soplete. Se alimenta gas protector por el soplete para proteger el electrodo, el charco de soldadura y el metal de soldadura en proceso de solidificación de contaminación por parte de la atmósfera.

El arco eléctrico se produce por el paso de corriente a través del gas protector ionizado, que conduce la electricidad. El arco se establece entre la punta del electrodo y el trabajo. El calor generado por el arco funde el metal base.

Una vez establecido el arco y el charco de soldadura, el soplete se mueve a lo largo de la unión y el arco funde progresivamente las superficies de empalme. Si se usa alambre de aporte, se alimenta por el borde delantero del charco de soldadura para llenar la unión.

Todas las configuraciones de GTAW tienen en común cuatro componentes básicos, como puede verse en las figuras 1 y 3.

- Soplete
- Electrodo
- Fuente de potencia para soldadura
- Gas protector

3.2. Ventajas del proceso

Estas son algunas de las ventajas del proceso de arco de tungsteno y gas:

- Produce soldaduras de muy buena calidad, generalmente libres de defectos.
- Está libre de las salpicaduras que ocurren con otros procesos de soldadura por arco.
- Puede usarse con metal de aporte o sin él, según lo requiera la aplicación específica.
- Ofrece un control excelente de la penetración de la pasada de raíz.
- Puede producir soldaduras autógenas económicas a altas velocidades.
- Puede usar fuentes de potencia de costo relativamente bajo.
- Permite controlar de manera precisa las variables de soldadura.
- Puede servir para soldar casi todos los metales, incluso las uniones de metales disímiles.
- Permite controlar en forma independiente la fuente de calor y las adiciones de metal de aporte.

3.3. Limitaciones del proceso

Algunas de las limitaciones del proceso de arco de tungsteno y gas son:

- Las tasas de deposición son más bajas que las que pueden alcanzarse con procesos de soldadura por arco con electrodo consumible.
- El soldador requiere un poco más de destreza y coordinación que con la soldadura por arco de metal y gas o la de arco de metal protegido cuando suelda manualmente.
- Para secciones de más de 10 mm, 3/8 pulg., de espesor, resulta menos económica que los procesos de soldadura por arco con electrodo consumible.
- Es difícil proteger debidamente la zona de soldadura en lugares donde hay corrientes de aire.

Entre los problemas potenciales del proceso están:

- Puede haber inclusiones de tungsteno si se permite que el electrodo haga contacto con el charco de soldadura.
- El metal de soldadura puede contaminarse si no se mantiene como es debido el escudo de gas protector alrededor del metal de aporte.
- No se tolera mucha contaminación de los metales base o de aporte.

- Puede haber contaminación o porosidad causadas por fugas del refrigerante en sopletes enfriados por agua.
- Puede haber golpe o desviación del arco, como en otros procesos.

3.4. Variables del proceso

Las principales variables en el proceso GTAW son el voltaje del arco, longitud del arco, la corriente de soldadura, la velocidad de recorrido y el gas protector. La cantidad de energía producida por el arco es proporcional a la corriente y al voltaje. La cantidad transferida por unidad de longitud de soldadura es inversamente proporcional a la velocidad de recorrido. El arco en helio es más penetrante que en argón. Sin embargo, como todas estas variables tienen fuertes interacciones, es imposible tratarlas como variables independientes al establecer los procedimientos de soldadura para uniones específicas.

3.4.1. Corriente del arco

En términos generales, la corriente del arco controla la penetración de la soldadura; su efecto es directamente proporcional, si no es que un poco exponencial. Además, la corriente del arco afecta el voltaje: si se mantiene constante la longitud del arco, su voltaje aumentara en proporción con la corriente. Por esta razón, si se desea mantener una longitud de arco fija, es preciso ajustar también el voltaje cuando se ajusta la corriente.

El proceso puede usarse con corriente tanto continua como alterna, y la elección depende en buena parte del metal que se va a soldar. La corriente continua con el electrodo negativo ofrece las ventajas de penetración profunda y

velocidades de soldaduras altas, sobre todo cuando se usa escudo de helio.

El helio es el gas preferido para la soldadura mecanizada. La corriente alterna tiene una acción de limpieza catódica, chisporroteo, que elimina óxidos refractarios de las superficies de unión de aluminio y magnesio, lo que permite obtener soldaduras de muy buena calidad. En este caso es preciso usar argón como gas protector porque no puede lograrse chisporroteo con helio. El argón es el gas preferido para la soldadura manual, ya sea que se utilice con corriente alterna o continua.

Existe una tercera opción en cuanto a la potencia: usar corriente continua con el electrodo positivo. Esta polaridad casi nunca se usa porque hace que se sobrecaliente el electrodo.

3.4.2. Voltaje del arco

El voltaje medido entre el electrodo de tungsteno y el trabajo se conoce comúnmente como voltaje del arco. Este voltaje es una variable muy dependiente, que acusa efectos por lo siguiente:

- Corriente del arco
- Forma de la punta del electrodo de tungsteno
- Distancia entre el electrodo de tungsteno y el trabajo
- Tipo de gas protector.

El voltaje del arco cambia cuando cambian las otras variables, y solo se utiliza para describir los procedimientos de soldadura porque es fácil de medir.

Las demás variables, como el gas protector, el electrodo y la corriente se determinan previamente, el voltaje del arco puede servir para controlar la longitud del arco, una variable crítica que es difícil de vigilar.

La longitud del arco es importante en este proceso porque afecta la anchura del charco de soldadura; la anchura del charco es proporcional a la longitud del arco. Por tanto, en casi todas las aplicaciones con excepción de aquellas en las que se suelda lámina, la longitud de arco recomendada es la más corta posible.

Desde luego, hay que tener en cuenta la posibilidad de que el electrodo haga cortocircuito con el charco o con el metal de aporte si el arco es demasiado corto. Sin embargo, en la soldadura mecanizada con escudo de helio, potencia CCEN y corriente relativamente alta, es posible sumergir la punta del electrodo por debajo de la superficie de la placa y producir soldaduras muy penetrantes pero angostas a altas velocidades. Esta técnica ha recibido el nombre de arco enterrado.

Si se usa el voltaje del arco para controlar la longitud del arco en aplicaciones críticas, hay que vigilar las otras variables que afectan el voltaje del arco. Entre ellas están los contaminantes del electrodo y del gas protector, una alimentación incorrecta del alambre de aporte, cambios de temperatura en el electrodo y corrosión del electrodo; si las variables cambian lo suficiente, como para afectar el voltaje del arco durante la soldadura mecanizada, habrá que ajustar la longitud del arco para restablecer el voltaje deseado.

3.4.3. Velocidad de recorrido

La velocidad de recorrido afecta tanto la anchura como la penetración de una soldadura por arco de tungsteno y gas, aunque el efecto sobre la anchura es más pronunciado que aquel sobre la penetración. La velocidad de recorrido es importante por su efecto sobre el costo. En algunas aplicaciones, la velocidad de recorrido se define como un objetivo, y las demás variables se seleccionan de modo que se logre la configuración de soldadura deseada a esa velocidad.

En otros casos, la velocidad podría ser una variable dependiente, elegida de modo que se obtenga una soldadura con la calidad y uniformidad deseada en demás variables. Independientemente de los objetivos, en la soldadura mecanizada casi siempre se fija la velocidad de recorrido y se modifican otras variables como la corriente o el voltaje para mantener el control de la soldadura.

3.4.4. Alimentación del alambre

En la soldadura manual, la forma como el metal de aporte se añade al charco influye sobre el número de pasadas necesarias y el aspecto de la soldadura terminada.

En la soldadura mecanizada y automática, la velocidad de alimentación del alambre determina la cantidad de metal de aporte depositado por unidad de longitud de la soldadura. Si se reduce la velocidad de alimentación del alambre, se incrementará la penetración y se aplanará el perfil de la franja.

Si el alambre se alimenta con demasiada lentitud, puede haber socavamiento, agrietamiento de la línea central y sobrellenado de la unión.

Al aumentarse la velocidad de alimentación del alambre se reduce la penetración de la soldadura y se produce una franja más convexa.

3.5. Métodos de iniciación del arco

3.5.1. Inicio de fricción o toque

Con la fuente de potencia energizada, y el gas protector fluyendo por la copa, el soplete se acerca a la pieza de trabajo hasta que el electrodo de tungsteno hace contacto con ella. De inmediato se retira el soplete una distancia corta para establecer el arco.

La ventaja de este método de iniciación del arco es su sencillez tanto para soldadura manual como mecanizada. La desventaja del inicio de toque es la tendencia del electrodo a pegarse a la pieza de trabajo, con la consiguiente contaminación del electrodo y transferencia de tungsteno al trabajo.

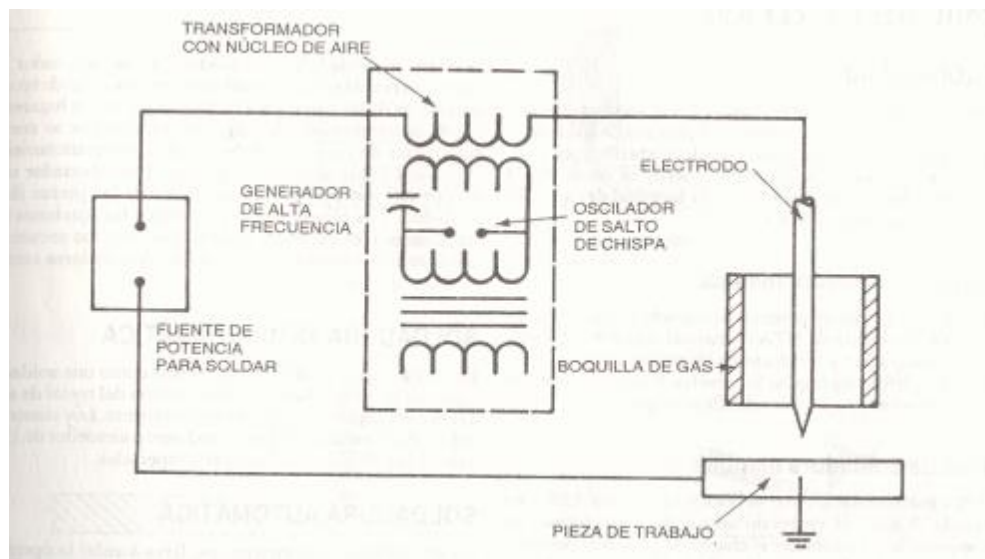
3.5.2. Inicio de alta frecuencia

El inicio de alta frecuencia puede usarse con fuentes de potencia de CC o de CA, en aplicaciones tanto manuales como automatizadas. Los generadores de alta frecuencia, por lo regular, tienen un oscilador de salto de chispa que superpone una salida de CA de alto voltaje o radiofrecuencia en serie con el circuito de soldadura. El circuito se muestra en la figura 21. El alto voltaje ioniza el gas entre el electrodo y el trabajo, y el gas ionizado conduce la corriente de soldadura que inicia el arco.

Como las radiaciones del generador de alta frecuencia pueden afectar los equipos de radio electrónicos de computación, el empleo de este tipo de sistemas

de inicio del arco está regido por los reglamentos de las autoridades de comunicaciones. El usuario deberá seguir las instrucciones del fabricante para instalar y usar el equipo de inicio de arco por alta frecuencia correctamente.

Figura 21. **Inicio del arco con alta frecuencia**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 93.

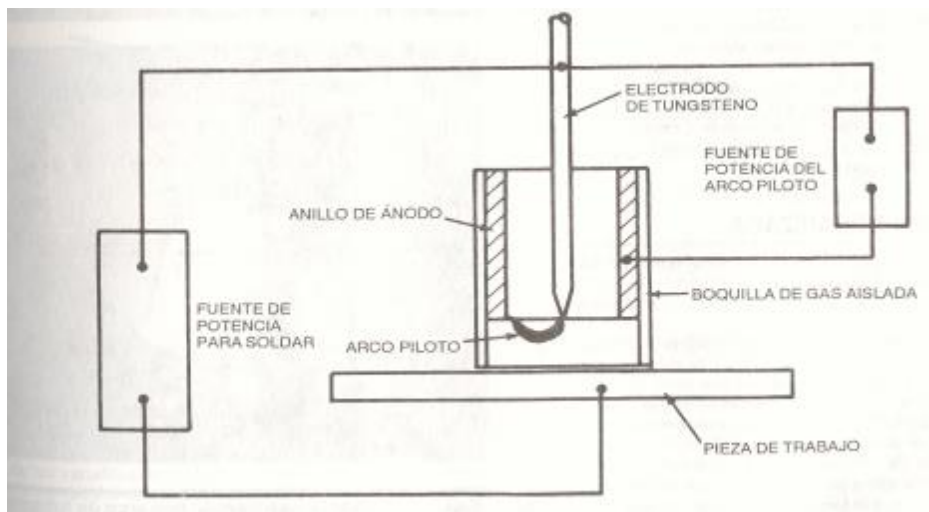
3.5.3. **Inicio de pulso**

La aplicación de un pulso de alto voltaje entre el electrodo de tungsteno y el trabajo ionizará el gas protector y establecerá el arco de soldadura. Este método generalmente se usa con fuentes de potencia de CC en aplicaciones de soldadura mecanizada.

3.5.4. Inicio con arco piloto

El inicio con arco piloto puede usarse con fuentes de potencia de CC para soldadura. El arco piloto se mantiene entre el electrodo y la boquilla del soplete, y proporciona el gas ionizado que se necesita para establecer el arco de soldadura, como se muestra en la figura 22. El arco piloto se alimenta de una pequeña fuente de potencia auxiliar y se inicia con alta frecuencia.

Figura 22. **Circuito de inicio con arco piloto empleado para soldadura de puntos por arco de tungsteno y gas**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 93.

3.6. Técnicas de GTAW

A continuación, se describen.

3.6.1. Soldadura manual

La palabra manual en el proceso GTAW implica que una persona controla todas las funciones del proceso de soldadura.

Las funciones incluyen la manipulación del portaelectrodos y el control de las adiciones de metal de aporte, la corriente de soldadura, la velocidad de recorrido y la longitud del arco. El proceso se muestra en la figura 23.

Figura 23. **Soldadura manual de tig de una unión de tubería**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 94.

3.6.2. Equipo para soldadura manual

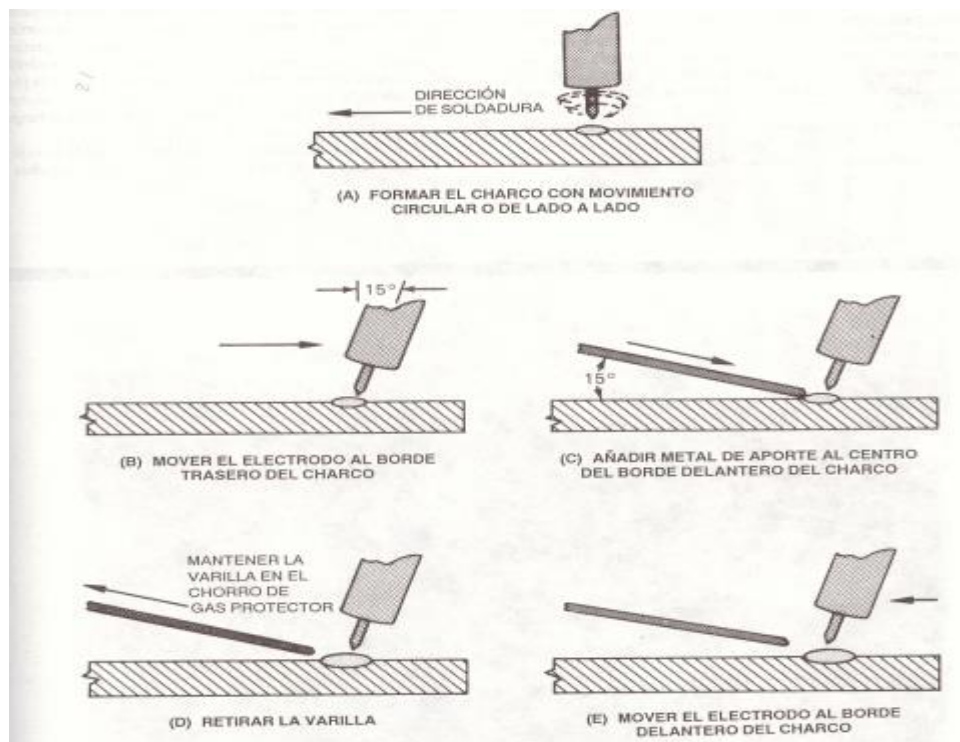
Además de una fuente de potencia apropiada y una fuente de gas protector, el equipo de GTAW manual incluye el soplete para soldar, mangueras y

conductores eléctricos, pedal, o interruptor en el soplete, para regular los niveles de corriente durante el ciclo de soldadura, y controles del flujo de gas.

3.6.3. Técnicas de soldadura manual

La técnica para soldar a mano se ilustra en la figura 24. Una vez iniciado el arco, el electrodo se mueve describiendo un círculo pequeño hasta establecer el charco de soldadura deseado. Luego se sostiene el soplete con un ángulo de 15° respecto a la vertical como se muestra en la ilustración y se mueve a lo largo de la unión para fundir progresivamente las superficies de empalme. El metal de aporte, si se usa, se añade al borde delantero del charco.

Figura 24. Técnica para soldadura por arco de tungsteno y gas manual



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 95.

El portaelectrodo y la varilla de soldadura se deben desplazar progresivamente y con suavidad para que el charco de soldadura, el extremo caliente de la varilla y la soldadura solidificada caliente no queden expuestos al aire, que contaminaría el metal de soldadura o la zona térmicamente afectada. En general, una envoltura grande de gas protector evita la exposición al aire.

La varilla de soldadura, por lo regular, se sostiene con una un ángulo de unos 15° respecto a la superficie del trabajo y se alimenta lentamente al charco de soldadura. Durante el proceso, el extremo caliente de la varilla no debe salir de la protección que brinda el escudo de gas inerte.

3.6.4. Soldadura mecanizada

La soldadura mecanizada se efectúa con equipo que realiza la operación de soldadura bajo la supervisión y control constantes de un operador. El equipo puede o no cargar y descargar las piezas de trabajo. La soldadura GTAW mecanizada ofrece mayor control sobre la velocidad de recorrido y el aporte de calor a la pieza de trabajo. El mayor costo del equipo que proporciona estos beneficios debe justificarse con los requisitos de producción y calidad.

El equipo de GTAW mecanizada, como el soldador orbital de tubos que se muestra en la figura 25, va desde sencillos secuenciadores de programas de soldadura y manipuladores mecánicos hasta sistemas de soldadura orbital de tubos y conductos. Los secuenciadores de soldadura operan en modo de control de lazo abierto: las variables se mantienen en niveles preestablecidos y no se intenta ajustarlos para responder a cambios en la calidad de la soldadura.

Figura 25. **Soldadura mecanizada de un ensamble de tubería empleando una soldadura orbital**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 96.

El secuenciador inicia y completa la soldadura automáticamente pasando de un conjunto de valores de las variables a otro en momentos o lugares previamente determinados a lo largo de la unión que se suelda. Las tolerancias de las piezas deben controlarse estrictamente y las fijaciones deben ser fuertes, ya que el secuenciador no puede compensar movimientos no deseados de las piezas durante la soldadura. Las piezas de alta precisión y las fijaciones robustas incrementan los costos de producción, pero los secuenciadores por lo regular cuestan menos que los controladores automáticos más avanzados.

3.6.5. Soldadura semiautomática

La GTAW semiautomática se define como una soldadura con equipo que controla solo la alimentación del metal de aporte: el avance del soplete se controla manualmente. Los sistemas semiautomáticos para GTAW se introdujeron alrededor de 1952, pero solo se han usado en aplicaciones especiales.

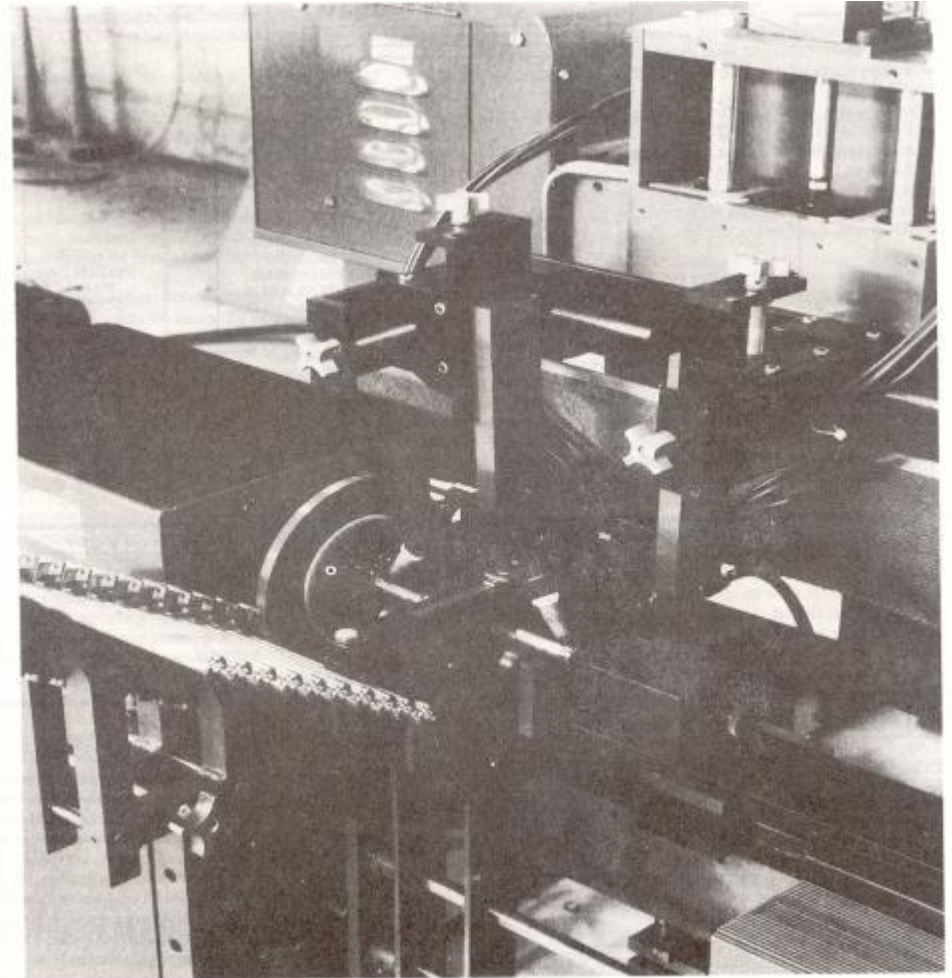
3.6.6. Soldadura automática

La soldadura con equipo que lleva a cabo la operación sin que un operador ajuste los controles se denomina soldadura automática. El equipo puede o no cargar y descargar las piezas de trabajo. La figura 26 muestra una aplicación de GTAW automática típica en la que las piezas se cargan y descargan también en forma automática.

Algunos sistemas de soldadura automática modernos, con frecuencia caracterizados como de control adaptativo o por retroalimentación, corrigen las variables de soldadura basándose en información obtenida durante el proceso. El objetivo es mantener la calidad de la soldadura en un nivel constante a pesar de cambios en las condiciones del proceso.

El ajuste automático de las variables de soldadura individuales, como la corriente o la longitud del arco, se hace vigilando una característica de la soldadura, como la anchura del charco. Existen otros sistemas de control por retroalimentación que guían el electrodo y rellenan constantemente la unión.

Figura 26. **Aplicación de GTAW automática**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 97.

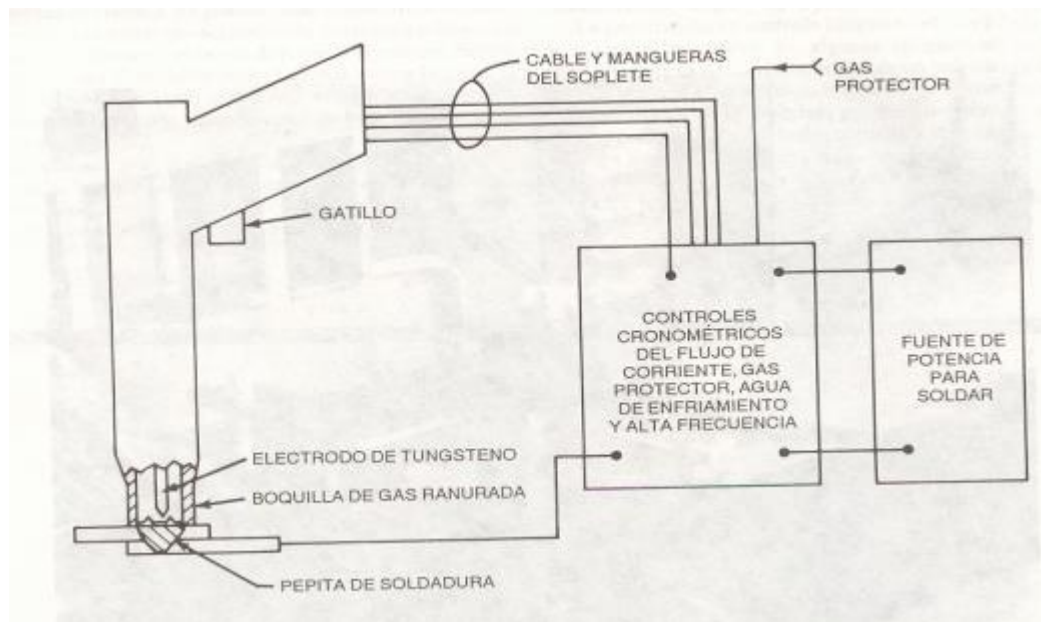
3.6.7. Soldadura de puntos por arco

La soldadura de puntos por arco de tungsteno y gas, a menudo se realiza manualmente con un portaelectrodo parecido a una pistola que tiene una boquilla de gas enfriada por agua y con respiraderos, un electrodo de tungsteno situado

en posición concéntrica respecto a la boquilla y un interruptor de gatillo para controlar la operación. La figura 27 ilustra un sistema de este tipo.

También hay porta electrodos para aplicaciones automáticas de la soldadura de puntos por arco de tungsteno y gas.

Figura 27. **Esquema de la soldadura de puntos manuales por arco de tungsteno y gas**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 98.

La configuración de la boquilla varía para adaptarse al perfil de las piezas de trabajo. Es posible usar dispositivos detectores de bordes para evitar variaciones en la distancia que hay entre los puntos de soldadura y el borde de la pieza de trabajo. En muchos casos se usa la boquilla para presionar contra la pieza de trabajo y asegurar un buen embonado de las superficies de empalmes. Esta técnica también controla la distancia entre el electrodo y el trabajo.

La soldadura de puntos puede efectuarse con CA o CCEN. Generalmente, se usan controles de secuencia automáticos porque los ciclos en cuestión son relativamente complejos.

Los controles establecen automáticamente el flujo de gas y agua previo a la soldadura, encienden el arco, miden la duración del arco y suministran el flujo de gas y agua posterior a la soldadura requerido.

La penetración se controla ajustando el nivel de la corriente y el tiempo que fluye. En algunas aplicaciones se prefieren múltiples pasos de corriente en vez de un pulso largo sostenido. Las variaciones en la resistencia al corte, el diámetro de la pepita y la penetración de la soldadura pueden minimizarse con cronómetros precisos, monitores de corriente y electrodos de tungsteno cuya punta haya sido amolada con precisión. Un punto fundido en la cara inferior de la pieza de trabajo inferior es una indicación positiva de una buena soldadura de punto.

3.7. Materiales

En esta sección se describen los materiales que pueden soldarse con el proceso GTAW. Las soldaduras autógenas se hacen fundiendo solo el metal base. Si se usa metal de aporte, puede ser en forma de alambre o de inserciones consumibles precolocadas.

3.7.1. Metales base

Casi todos los metales pueden soldarse con el proceso GTAW, incluidos varios grados de aceros al carbono de aleación e inoxidables y otras aleaciones ferrosas; aleaciones resistentes al calor de diversos tipos, aleaciones de

aluminio, de magnesio, cobre y sus aleaciones, como cobre-níquel, bronce y latones, y aleaciones de níquel.

Ciertos metales deben soldarse con el proceso GTAW porque es el que ofrece mayor protección en cuanto a contaminación por la atmósfera.

Este proceso resulta especialmente útil para soldar metales reactivos y refractarios y algunas aleaciones no ferrosas. No se usan para soldar metales como cadmio, estaño o cinc, cuyos líquidos tienen muy baja presión de vapor.

En esta sección se presenta información sobre los posibles problemas metalúrgicos exclusivos del proceso de soldadura por arco de tungsteno y gas, y las precauciones especiales que deben tomarse al soldar ciertos metales y aleaciones con GATW. Se incluyen sugerencias respecto al tipo de corriente de soldadura, composición de los electrodos y composición del gas protector que pueden producir soldaduras de calidad óptima.

La tabla IV puede servir de guía para la selección de electrodos y gases. En general, los mejores resultados se obtienen con CCEN para casi todos los metales, a menos que se especifique lo contrario. La composición típica del electrodo de tungsteno es al 2 % de torio, si no se indica lo contrario.

3.7.1.1. Aceros al carbono y de aleación

La calidad de las soldaduras por soldadura de tungsteno y gas en aceros al carbono y de aleación, causa mayor influencia del contenido de impureza del metal base, azufre, fósforo, oxígeno que las soldaduras hechas con SMAW o SAW. Esto se debe a que en GTAW hay fundentes que elimina o captura estas impurezas.

Los aceros de baja aleación y alta resistencia mecánica se sueldan fácilmente con el proceso GTAW, aunque niveles combinados de fósforo y azufre en el metal base en exceso de 0,03 % pueden causar agrietamiento de la zona de fusión y de la zona térmicamente afectada.

La pérdida de ductilidad por hidrógeno en estas aleaciones es un problema si hay contaminación por hidrocarburos o vapor de agua. El agrietamiento inducido por hidrógeno puede minimizarse con la aplicación de precalentamiento o un tratamiento térmico posterior o, en algunos casos, en áreas muy húmedas, usando escudos de gas con estela.

En general se usa argón como gas protector para soldar aceros al carbono y de aleación de hasta 12 mm, 1/2 pulg., de espesor, porque el charco de soldadura es más fácil de controlar que si se usa helio. Al soldar secciones más gruesas pueden emplearse argón o una mezcla argón-helio, dependiendo del espesor de las uniones.

3.7.1.2. Aceros inoxidables y aleaciones resistentes al calor

Los aceros inoxidables y las superaleaciones resistentes al calor con base de hierro, níquel y cobalto se sueldan mucho con el proceso GTAW porque el gas inerte los protege de la atmósfera. La composición del metal de soldadura es, en esencia, idéntica a la del metal base porque se utilizan las mismas aleaciones como metal de aporte y porque el metal de aporte entra en el charco de soldadura sin pasar por el arco, donde podrían esperarse pérdidas de aleaciones volátiles.

Se recomienda argón para soldar a mano espesores de hasta 12 mm, 1/2 pulg., porque permite controlar mejor el charco de soldadura. En el caso de

secciones gruesas, y en muchas aplicaciones mecanizadas y automáticas, se puede usar mezclas argón-helio o helio puro para aumentar la penetración de la soldadura. En algunas aplicaciones de acero inoxidable se emplean mezclas de argón e hidrógeno para mejorar la forma de la franja de soldadura y reducir su tensión superficial.

Se puede usar corriente alterna para soldadura automática de las aleaciones resistentes al calor, donde es posible controlar con precisión la longitud del arco.

3.7.1.3. Aleaciones de aluminio

El proceso GTAW resulta ideal para soldar aleaciones de aluminio de cualquier espesor. La soldadura puede efectuarse con o sin metal de aporte. Las aleaciones de aluminio forman óxidos superficiales refractarios que dificultan la unión. Por esta razón, el aluminio casi siempre se suelda con corriente alterna, empleando estabilización del arco con alta frecuencia, porque se obtiene la acción de limpieza superficial de CCEP junto con las características de mayor penetración de CCEN. En ocasiones se usa CCEP para soldar secciones de aluminio delgadas. Para la soldadura automática de secciones mayores que 6 mm, 1/4 pulg., se usa CCEN con escudo de helio y corriente elevada. Como la CCEN no tiene acción limpiadora, las piezas de aluminio deben limpiarse minuciosamente antes de soldar.

Se recomiendan los electrodos de tungsteno puro, tungsteno con cerio y tungsteno con zirconio para soldar con CA. Los electrodos de tungsteno con torio se usan para soldar aluminio solo con CC.

Generalmente, se usa argón como gas protector para soldar aluminio con corriente alterna porque facilita el encendido del arco, produce mejor acción limpiadora y permite obtener soldaduras de mejor calidad que el helio. Si se usa CCEN, el helio ofrece mayores velocidades de recorrido y penetración más profunda; sin embargo, la deficiente acción limpiadora de esta combinación puede dar pie a que haya porosidad.

3.7.1.4. Aleaciones de magnesio

Las aleaciones de magnesio, a semejanza de las de aluminio, forman óxidos superficiales refractarios. Por lo regular se usa GTAW con corriente alterna para soldar estas aleaciones por la acción de limpieza de óxidos que ofrece. Se puede usar CCEP para soldar secciones de menos de 5 mm, 3/16 pulg., de espesor, pero la corriente alterna ofrece la mayor penetración que se necesita para soldar secciones más gruesas. Las soldaduras de mejor calidad se obtienen con argón, pero también se usa helio y mezclas de los gases. Se puede usar electrodos de tungsteno puro, con cerio y con zirconio.

3.7.1.5. Berilio

El berilio es un metal ligero difícil de soldar por su tendencia al agrietamiento y pérdida de ductilidad en caliente. La GTAW de berilio se efectúa en una cámara de atmósfera inerte, casi siempre empleando una mezcla de gas protector de cinco partes de helio y una de argón. Los vapores de berilio son tóxicos.

3.7.1.6. Aleaciones de cobre

El proceso GTAW se presta para soldar cobre y sus aleaciones porque el intenso calor que genera el arco puede producir fusión con un mínimo de

calentamiento del metal base circundante, de elevada conductividad. La mayor parte de las aleaciones de cobre se sueldan con CCEN y helio a causa de la conductividad térmica tan alta. En ocasiones se usa CA para soldar cobres de berilio y bronce de aluminio porque ayuda a disgregar los óxidos superficiales que están presentes.

3.7.1.7. Aleaciones de níquel

Las aleaciones de níquel a menudo se sueldan con arco de tungsteno y gas, casi siempre con adiciones de metal de aporte. Se recomienda CCEN para todas las aplicaciones, pero se puede usar ca con estabilización por alta frecuencia para soldadura mecanizada. Los gases protectores más comunes son argón, argón-helio y helio.

Se prefiere el helio cuando no se va a añadir metal de aporte. En ocasiones se emplea argón con pequeñas cantidades de hidrógeno, hasta 5 %, para soldadura de una sola pasada. Las aleaciones de níquel de alta pureza pueden tener variaciones en la penetración de la soldadura causadas por diferencias en el contenido de elementos surfactantes.

3.7.1.8. Metales refractarios y reactivos

El arco de tungsteno con gas es el proceso de soldadura más utilizado para unir metales refractarios y reactivos. Los metales refractarios, sobre todo tungsteno, molibdeno, tantalio, niobio y cromo, tienen puntos de fusión muy elevados y, al igual que los metales reactivos, como las aleaciones de titanio, las aleaciones de zirconio y el hafnio, se oxidan con rapidez a altas temperaturas si no se protegen con una capa de gas inerte. La absorción de impurezas como el

oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y carbono reduce la tenacidad y ductilidad del metal de soldadura.

Para estos metales y aleaciones, GTAW ofrece una alta concentración de calor y máximo control sobre el aporte de calor, al tiempo que proporciona la mejor protección con gas inerte de cualquier proceso de soldadura.

Típicamente, estos metales se sueldan en cámaras purgadas que contienen gases inertes de alta pureza.

En ocasiones, la soldadura GTAW se efectúa sin cámara de purgado especial, proveyendo la atmósfera inerte necesaria con escudos de soplete, de estela y de respaldo. El argón es el gas que más a menudo se usa para proteger, pero puede usarse helio y mezclas de ambos gases. Son suficientes tasas de flujo de 15 pies³/h para argón y de 40 pies³/h para helio, incluso cuando se recomienda boquillas de diámetro grande.

3.7.1.9. Hierros colados

El hierro colado se puede soldar con el proceso GTAW porque se puede minimizar la dilución del metal base mediante un control independiente del aporte de calor y de la colocación del metal de aporte. Se requiere mucha habilidad por parte del operador para minimizar la dilución, al tiempo que se mantiene una penetración y fusión aceptables.

La GTAW de hierros colados normalmente se limita a la reparación de piezas pequeñas. Se recomiendan metales de aporte con base de níquel y de acero inoxidable austenítico; minimizan el agrietamiento en virtud de su ductilidad y su tolerancia respecto al hidrógeno. También puede minimizarse el

agrietamiento precalentado y aplicando tratamiento térmico posterior. Se recomienda CCEN, aunque puede usarse ca.

3.7.2. Metales de aporte

Se dispone de metales de aporte para unir una amplia variedad de metales y aleaciones mediante soldadura por arco de tungsteno y gas. Si se usa metal de aporte, debe ser similar, aunque no necesariamente idéntico, al metal que se va a unir. Al unir metales disímiles, el metal de aporte será diferente de uno de los metales base, o de ambos.

En general, la composición de metal de aporte se ajusta tratando de igualar las propiedades del metal base en su condición soldada. Estos metales de aporte se producen con un mayor control sobre su química, pureza y calidad que los metales base. Es frecuente que se les añada desoxidantes para garantizar la integridad de la soldadura. Algunas composiciones de metales de aporte se ajustan para mejorar la respuesta al tratamiento térmico posterior.

La elección del metal de aporte para cualquier aplicación es un término medio en cuanto a los aspectos de compatibilidad metalúrgica, idoneidad para el servicio propuesto y costo. También es preciso considerar las propiedades de resistencia a la tensión, el impacto y la corrosión, y de conductividad térmica o eléctrica que se requieren en un ensamble soldado en particular. El metal de aporte debe adecuarse tanto a la aleación que se va a soldar como al servicio al que se le piensa destinar.

En la tabla V se dan las especificaciones de la AWS para metales de aporte aplicables a la soldadura por arco de tungsteno y gas. Las especificaciones establecen clasificaciones de los metales de aporte con base en las propiedades

mecánicas o en las composiciones químicas, o en ambas cosas, de cada metal de aporte. También indican las condiciones en las que deben probarse los metales de aporte.

Tabla V. **Especificaciones de la AWS de metales de aporte apropiados para soldadura por arco de tungsteno y gas**

Número de especificación	Especificaciones de la AWS de metales de aporte apropiados para soldadura por arco de tungsteno y gas
A 5.2	Varillas de hierro y acero para soldadura con gas
A 5.7	Varillas y electrodos para soldadura desnudos de cobre y aleaciones de cobre
A 5.9	Varillas y electrodos para soldadura por arco de acero al cromo y al cromo níquel, resistentes a la corrosión, desnudos
A 5.10	Varillas y electrodos desnudos para soldadura de aluminio y aleaciones de aluminio
A 5.13	Varillas y electrodos de soldadura para recubrimiento
A 5.14	Varillas y electrodos para soldadura desnudos de níquel y aleaciones de níquel
A 5.16	Varillas y electrodos para soldadura desnudos de titanio y aleaciones de titanio
A 5.18	Electrodos de acero dulce para soldadura por arco de metal y gas
A 5.19	Varillas y electrodos desnudos para soldadura de aleaciones de magnesio
A 5.24	Varillas y electrodos para soldadura desnudos de zirconio y aleaciones de zirconio

Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 100.

Los apéndices de las especificaciones ofrecen antecedentes útiles sobre las propiedades y usos de los metales de aporte dentro de las diferentes clasificaciones. Los catálogos de los fabricantes proporcionan información

práctica sobre el uso debido de sus productos. En la última edición de *Filler Metal Comparison Charts* de la AWS se presentan listas de marcas y direcciones de proveedores de metales de aporte.

Los metales de aporte para GTAW están disponibles, para la mayor parte de las aleaciones, en forma de varillas, por lo regular de 1 m, 36 pulg., de largo, para soldadura manual, y en forma de alambre continuo en carretes o rollos para soldadura mecanizada o automática. Los diámetros van desde 0,5 mm, 0,020 pulg., para trabajo fino y delicado hasta unos 5 mm, 3/16 pulg., para soldadura o recubrimiento manual con corriente elevada.

Se debe tener cuidado especial para mantener los metales de aporte limpios y libres de toda contaminación mientras están almacenados, y también al usarlos. El extremo caliente del alambre o varilla no debe salir del área protegida por el escudo de gas inerte durante la operación de soldadura.

El metal de aporte puede añadirse en forma de inserciones consumibles para las soldaduras de pasada de raíz en ciertas aplicaciones de tubería y placas. Entre las ventajas de este procedimiento están las tolerancias de embonado más amplias, menores niveles de habilidad y experiencia de los operadores, fusión de la franja de soldadura más consistente y franjas inferiores más lisas y uniformes.

3.8. Diseño de las uniones

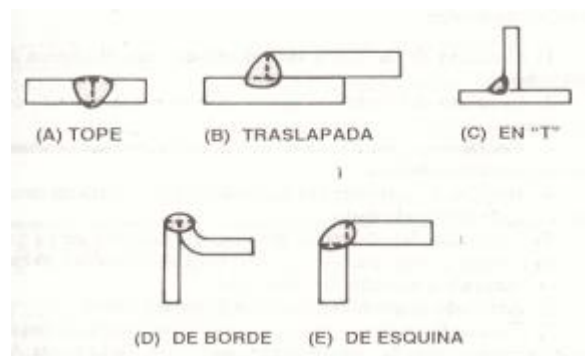
En virtud de la diversidad de metales base y de sus características individuales, como tensión superficial, fluidez y punto de fusión, conviene usar geometrías o diseños de unión que ofrezcan condiciones óptimas para la soldadura. Entre los factores que influyen en el diseño de las uniones están la composición y espesor de los metales, los requisitos de penetración de la

soldadura, la restricción de las uniones y los requisitos de eficiencia de las mismas.

3.8.1. Configuración básica de las uniones

Las cinco uniones básicas, a tope, traslapada, en "T", de borde y de esquina, que se muestran en la figura 28 se pueden usar para prácticamente todos los metales. Hay muchas variaciones derivadas de estas uniones básicas. En todos los casos, el objetivo primordial es minimizar el costo al tiempo que se mantienen la calidad de soldadura y el nivel de rendimiento deseados para el diseño.

Figura 28. **Cinco uniones de soldadura básicas**



Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 101.

Los factores que afectan el costo son el tiempo de preparación de la unión, el área de unión que debe rellenarse y el tiempo de preparación del equipo. Aunque no hay reglas fijas que rijan el uso de un diseño de unión en particular para un metal dado, ciertos diseños se desarrollan para fines específicos.

Las variables primarias del diseño de las uniones son la abertura de la raíz, el espesor de la cara de la raíz y el ángulo de bisel. Todas estas variables deben considerarse antes de preparar la unión.

La magnitud de la abertura de raíz y el espesor de la cara de raíz dependen de si el proceso GTAW es manual o automático, de si se añadirá o no metal de aporte durante la pasada de raíz, y de si se usara o no una inserción consumible. En general, no se usan tiras de respaldo debido al costo adicional del material y del embonado, así como a la dificultad para interpretar las radiografías.

La magnitud del ángulo de bisel depende del espesor del metal y del espacio que se requiere para el movimiento del arco, a fin de asegurar una fusión adecuada en ambos lados de la unión. Estas variables generalmente se determinan soldando uniones de muestra que abarcan diversas configuraciones.

Una consideración importante en el diseño de uniones para GTAW es la accesibilidad. El ángulo del surco debe permitir la manipulación del portaelectrodos a fin de lograr una fusión adecuada de la cara del surco. También hay que tener en cuenta las características del metal de soldadura.

Por ejemplo, las aleaciones altas en níquel son muy espesas cuando se funden, y el metal de soldadura no moja bien las caras del surco. Por tanto, los ángulos de surco para aleaciones altas en níquel deben ser más abiertos que en acero al carbono y de aleación, con el fin de tener espacio para la manipulación.

Por otro lado, al abrirse el ángulo del surco se incrementa la distorsión, el tiempo de soldadura y el costo, de modo que debe limitarse hasta donde sea posible. Se puede encontrar información específica sobre los diseños de uniones en la literatura de los proveedores de metales.

3.8.2. Preparación de la unión

Una vez seleccionado un diseño de unión en particular, la consideración más importante es el método de preparación de la unión. Hay muchas formas de eliminar metal para preparar una configuración de unión dada; sin embargo, muchos problemas de GTAW, o supuestos problemas, son consecuencia directa del empleo de métodos inadecuados para preparar la unión.

El más notable de estos es el uso incorrecto de ruedas de amolar para preparar las uniones. Los materiales blandos, como el aluminio, se impregnan de partículas microscópicas de abrasivo que, si no se eliminan posteriormente, producirán una porosidad excesiva.

Las ruedas de amolar deberán limpiarse y dedicarse exclusivamente al material que se va a soldar. La forma ideal de preparar las uniones es con herramientas de corte como los tornos para uniones redondas o cilíndricas, las cortadoras de fresado para preparaciones longitudinales.

Se debe tener cuidado al elegir el fluido de corte, en caso de usarse. La limpieza después del corte o torneado debe hacerse con disolventes seguros que no dejen residuos. El corte con gas oxicomcombustible y con arco de plasma también son aceptables a condición de que se elimine toda la escoria mediante un amolado minucioso.

3.8.2.1. Tolerancia de las uniones

La tolerancia permitida para las dimensiones de la unión depende de sí la soldadura va a ser manual o mecanizada.

Las aplicaciones de soldadura manual pueden tolerar mayores irregularidades en el embonado de la unión que las de soldadura mecanizada. La tolerancia específica para una aplicación dada solo puede determinarse mediante pruebas, y esta tolerancia debe especificarse para trabajos futuros.

3.8.2.2. Limpieza

La limpieza, tanto de las áreas de unión como del metal de aporte, es una consideración importante cuando se suelda con el proceso de arco de tungsteno y gas. Es preciso eliminar por completo de los bordes de la unión y de las superficies metálicas los aceites, grasas, suciedad, pintura, crayón de marcar y depósitos de hollín o corrosión, hasta una distancia que rebase la zona térmicamente afectada.

Su presencia durante la soldadura puede producir inestabilidad del arco y contaminación de la unión soldada. Dependiendo de la respuesta metalúrgica a estos contaminantes, las soldaduras pueden contener poros, grietas e inclusiones.

La limpieza puede efectuarse con medios mecánicos, empleando limpiadores en forma de vapor o líquido, o con una combinación de estos procedimientos.

3.8.3. Fijación

Puede requerirse fijación si las piezas por soldar no pueden sostenerse solas durante la soldadura o si no puede tolerarse ninguna distorsión resultante ni corregirse mediante enderezado. La fijación deberá tener la masa suficiente para soportar el peso de las piezas y del ensamble soldado y resistir los esfuerzos

causados por la expansión y contracción térmicas. Las fijaciones también deben resistir el desgaste y maltrato normal que ocurren durante la producción.

La decisión de usar o no-fijación para la fabricación de un ensamble soldado depende de los aspectos económicos y de los requisitos de calidad. El empleo correcto de fijaciones, incluidos los disipadores de calor, puede reducir el tiempo de soldadura. Si un ensamble solo se va a fabricar una vez, quizás no se justifique el costo de la fijación; sin embargo, la fabricación de un gran número de ensambles podría justificar incluso fijaciones complejas.

Además, la fijación puede ser imprescindible en trabajos de alta calidad para mantener las estrechas tolerancias requeridas por el diseño o por los requisitos de inspección no destructiva.

Las funciones primarias de la fijación son las siguientes:

- Situar las piezas con precisión dentro del ensamble
- Mantener la alineación durante la soldadura
- Minimizar la distorsión del ensamble soldado
- Controlar la acumulación de calor.

3.9. Calidad de la soldadura

A continuación, se describe la calidad de la soldadura.

3.9.1. Discontinuidades y defectos

Las discontinuidades son interrupciones en la estructura típica de un ensamble soldado. Pueden ocurrir en el metal base, en el metal de soldadura o en las zonas térmicamente afectadas.

Las discontinuidades que no satisfacen los requisitos del código o especificaciones de fabricación de una aplicación se clasifican como defectos, y su eliminación es necesaria porque podrían perjudicar el rendimiento del ensamble soldado en servicio.

3.9.2. Problemas y correcciones

Se describe los problemas y correcciones de la calidad de la soldadura.

3.9.2.1. Inclusiones de tungsteno

Una discontinuidad que se presenta solo en las soldaduras hechas con arco de tungsteno y gas son las inclusiones de tungsteno. Es posible que se incrusten en una soldadura partículas de tungsteno del electrodo cuando se emplean procedimientos incorrectos con el proceso GTAW. Las causas más comunes son las siguientes:

- Contacto de la punta del electrodo con el charco de soldadura.
- Contacto del metal de aporte con la punta caliente de electrodo.
- Contaminación de la punta del electrodo por salpicaduras del charco de soldadura.

- Empleo de corriente por encima del límite para un tamaño o tipo de electrodo dado.
- Extensión del electrodo del mandril más allá de su distancia normal, como cuando se usan boquillas largas, lo que causa sobrecalentamiento del electrodo.
- Apretado incorrecto del mandril portelectrodo.
- Tasa de flujo de gas protector insuficiente o corriente de aire excesivas, con la siguiente oxidación de la punta del electrodo.
- Defectos como hendiduras o grietas en el electrodo.
- Empleo de gases protectores indebidos, como mezclas argón-oxígeno o argón-CO₂ que se usan para soldaduras por arco de metal y gas. Los pasos para corregir este problema son obvios una vez que se reconoce la causa y se capacita debidamente al soldador.

3.9.2.2. Falta de protección

La discontinuidad relacionada con la pérdida del escudo de gas inerte son las inclusiones de tungsteno previamente descritas, porosidad, películas e inclusiones de óxido, fusión incompleta y agrietamiento. El grado en que estas ocurren está muy relacionado con las características del metal que se suelda. Además, las propiedades mecánicas del titanio, aluminio, níquel y aleaciones de acero de alta resistencia pueden sufrir un menoscabo importante si se pierde la protección por gas inerte.

En muchos casos, la efectividad de la protección por gas puede evaluarse antes de la soldadura de producción realizando una soldadura de punto y continuando el flujo de gas hasta que la soldadura se haya enfriado. Si el escudo fue efectivo, el punto tendrá aspecto plateado brillante.

3.9.3. Problemas de soldadura y sus soluciones

Son muchos los problemas que pueden surgir durante la preparación o realización de una operación de GTAW. Su solución requerirá una cuidadosa evaluación del material, la fijación, el equipo de soldadura y los procedimientos. En la tabla VI se presentan algunos problemas que pueden presentarse y sus posibles soluciones.

Tabla VI. **Guía de localización de problemas para soldadura por arco de tungsteno y gas**

Problema	Causa	Solución
Consumo excesivo del electrodo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flujo de gas insuficiente 2. Operación con polaridad inversa 3. Electrodo del tamaño incorrecto para la corriente requerida 4. Calentamiento excesivo del portaelectrodo 5. Electrodo contaminado 6. Oxidación del electrodo durante el enfriamiento 7. Empleo de gas que contiene oxígeno o CO₂ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumentar el flujo de gas 2. Usar electrodo más grande o cambiar a polaridad directa 3. Usar electrodo más grande 4. Verificar que el mandril haga buen contacto 5. Eliminar la porción contaminada. Los resultados seguirán siendo irregulares mientras haya contaminación 6. Mantener el flujo de gas durante por lo menos 10 o 15 segundos después de apagar el arco 7. Cambiar el gas correcto
Arco irregular	<ol style="list-style-type: none"> 1. El metal base está sucio o grasoso 2. La unión es demasiado angosta 3. El electrodo está contaminado 4. El arco es demasiado largo 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Usar limpiadores químicos apropiados, cepillo de alambre o abrasivos. 2. Abrir el surco de la unión, acercar más el electrodo al trabajo; reducir el voltaje 3. Eliminar la porción contaminada del electrodo 4. Acercar más el electrodo al trabajo para acortar el arco

Continuación de la tabla VI.

Problema	Causa	Solución
Porosidad	<ol style="list-style-type: none"> 1. Impurezas gaseosas atrapadas, hidrógeno, nitrógeno, aire, vapor de agua. 2. Manguera de gas defectuosa o conexiones flojas 3. Película de aceite en el metal base. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Purgar el aire de todas las líneas antes de encender el arco; Eliminar la humedad condensada en las líneas; usar gas inerte de grado para soldadura (99.99%). 2. Verificar que las mangueras y conexiones no tengan fugas 3. Limpiar con agente químico sin propensión a descomponerse en el arco; No soldar si el metal base está húmedo.
Contaminación de la pieza de trabajo con tungsteno	<ol style="list-style-type: none"> 1. Contacto al encender con el electrodo. 2. Fusión del electrodo y aleación con el metal base 3. Contacto entre el tungsteno y el charco fundido 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Usar iniciador de alta frecuencia y placa de encendido de cobre 2. Usar corriente más bajo o electrodo más grande; usar electrodo de tungsteno con torio o con zirconio 3. Mantener el tungsteno fuera del charco fundido.

Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 103.

4. NORMAS DE SEGURIDAD EN LA SOLDADURA

4.1. Protección contra el choque eléctrico

Aunque los voltajes que se requieren para la mayoría de los trabajos de soldadura eléctrica son bajos, resultan suficientes para representar una fuente potencial de choque serio en condiciones desfavorables. Para minimizar la exposición al choque eléctrico, y las consecuencias del mismo, deben observarse las precauciones siguientes.

- Nunca trabaje fuera de la vista de otras personas.
- Manipule siempre cualquier circuito eléctrico como si estuviera energizado.
- Mantenga siempre el cuerpo del soldador aislado tanto de la pieza de trabajo como del electrodo metálico y del portaelectrodo.
- Siempre que sea posible, párese sobre tabloncillos de madera o de un material aislante semejante, en vez de hacerlo sobre una estructura metálica.

4.2. Humos y gases

Los riesgos del sistema respiratorio del soldador, asociados con los trabajos de soldadura, se deben en gran parte a la inhalación de gases, polvos, y humos metálicos. Unas cuantas precauciones, relativamente simples, sirven para eliminar las probabilidades de daños al sistema.

La cantidad de humos o gases que el soldador tiene probabilidades de inhalar está regida por factores tales como las dimensiones de la zona de aplicación de la soldadura, el número de soldadores, el tiempo de duración del arco, la ventilación con que cuente, el tipo de materiales de soldadura que intervenga, y el tamaño de la pieza de trabajo. Probablemente, el factor que por sí solo tiene más importancia, es el que determina el soldador mismo, o sea, la posición de su cabeza respecto a la trayectoria de los humos. Dos soldadores que ejecuten el mismo trabajo pueden tener una relación de 1: 10 o mayor, dependiendo de la posición de su cabeza. La naturaleza de cualesquiera materiales tóxicos a los que pueda estar expuesto el soldador dependerá del tipo de soldadura, de los metales de aporte y de base, de la presencia de contaminación en el metal de base, y de la presencia de disolventes volátiles en el aire. Los grados de toxicidad de estos materiales pueden diferir enormemente.

Esto lo ilustra mejor la tabla VII, en la cual se anotan varios de los materiales más comunes que pueden encontrarse en la soldadura, con sus valores límite de concentración, publicados en 1996. Debe hacerse notar que esos valores representan solo el grado de toxicidad. El riesgo real de daño corporal no puede ocurrir, excepto en el caso de que el individuo inhale estos materiales en cantidades considerablemente mayores durante periodos prolongados.

La inhalación de humos de zinc y de magnesio, en cantidades que sobrepasen al límite de concentración tolerable, produce un estado de escalofríos, fiebre y náusea, el cual se presenta de 4 a 8 horas después de haber sufrido la exposición. Desaparece casi invariablemente dentro de las siguientes 24 horas.

El cobre produce un estado similar, aunque aparentemente más grave y de mayor duración, el que se presenta aun con menor exposición.

Al níquel, al cobalto y al mercurio se les atribuye con cierta insistencia el producir una neumonitis química que puede tener resultados graves, y hasta fatales. El cadmio produce una neumonitis grave por humos, y el berilio es sumamente peligroso a este respecto.

Tabla VII. **Lista abreviada de materiales tóxicos, con sus límites tolerables de concentración (1996)**

Sustancia	PPM	mg/m²
Acetato de butilio	150	710
Acetona	1000	2400
Ácido nítrico	2	5
Acido sulfúrico	---	1
Acido butílico	100	300
Acido etílico	1000	1900
Alcohol metílico (metanol)	200	260
Antimonio y sus compuestos (como Sb)	---	0,5
Arsénico y sus compuestos (como As)	---	0,5
Carbonilo de níquel	0,001	0,007
Compuestos de circonio (como Zr)	---	5
Estaño (compuesto inorgánico, excepto SnH ₄ y SnO ₂)	---	2
Estaño (compuestos orgánicos)	---	0,1
Gas líquido de petróleo (LPG)	1000	1800
Hafnio	---	0,5
Humo de cobre	---	0,1
Humo de óxido de magnesio	---	15
Humos de óxido de zinc	---	5
Humo y polvo de cobalto metálico	---	0,1
Itrio	---	1
Keteno	0,5	0,9
Manganeso y sus compuestos, como Mn	---	5
Metal cromo y sales insolubles	---	1
Metil acetileno propadieno, mapp	1000	1800
Metil acetileno, propino	1000	1650
Molibdeno :		
Compuestos insolubles	----	15
Compuestos solubles	----	5
Negro de carbón	---	5
Níquel metálico compuesto solubles, como Ni	---	1
Óxido de boro	1	15
Polvos y neblina de cobre	---	1
Sales cromosas, como Cr	---	0,5
Talio compuestos solubles	---	0,1

Continuación de la tabla VII.

Sustancia	PPM	mg/m ²
Tántalo	---	5
Telurio	---	0,1
Tetrabromuro de acetileno	1	14
Trementina	100	560
Tribromuro de boro	1	10
Trifluoruro de boro	1	3
Tungsteno y sus compuestos, como W	---	
Insolubles	---	5
Solubles	---	1
Uranio natural compuestos solubles e insolubles, como U	---	0,2
Vanadio		
Humo de V 2 O 5	---	0,1
Polvo de V 2 O 5	---	0,5

Fuente: American Welding Society. *Manual de soldadura*. p. 107.

El hierro y el aluminio no producen, aparentemente, fiebre por humo metálico. La inhalación de cantidades muy grandes de humos de hierro durante varios años puede producir el estado, aparentemente inofensivo, que se conoce como siderosis, el que consiste en la formación de un depósito de hierro en los pulmones. Se sabe muy poco en relación con los efectos, si los hay, de los metales menos comunes sobre el sistema respiratorio del ser humano.

4.2.1. Dispositivos individuales de ventilación

Deben usarse dispositivos individuales de ventilación, en la forma de escafandras o de eyectores de aire comprimido, siempre que se requiera la extracción de humos, en oposición a la dilución de los mismos.

La escalafandra o capuchón debe consistir por lo menos en una parte superior y dos laterales que circundan al soldador o a la operación de corte. El capuchón o tubo de ventilación debe proveer una corriente de aire de no menos

de cien pies por minuto en una dirección alejándose del soldador, y debe tener (para la soldadura de metales ferrosos sin recubrimiento) las capacidades que aparecen en la tabla.

4.2.2. Dispositivos de ventilación positiva para soldadura en interiores

Pueden utilizarse un eyector de aire comprimido, ya sea para extraer los humos del espacio de aplicación de la soldadura, o para diluirlos. Cuando se usa como extractor, los humos se descargan generalmente en el aire del cuarto. Los eyectores de aire comprimido se usan con frecuencia en zonas semiconfinadas, en las que solo se requiera la dilución de los humos. Son muy estorbosos para ser de mucha utilidad en la extracción de humos.

4.2.3. Equipo respiratorio de protección

El equipo respiratorio de protección, mascarillas de nariz, puede usarse cuando no resulte practicable la ventilación local de extracción, o en el caso de materiales muy tóxicos, para complementar la ventilación local de extracción. Los respiradores conectados a una línea de aire, o las mascarillas de nariz, dan protección respiratoria adecuada para todos los tipos de contaminantes, y generalmente son el equipo preferido.

Se ofrecen en el comercio caretas para soldar con suministro de aire, pero han tenido poca aceptación por parte de los soldadores. Los respiradores del tipo de filtro, aprobados para humos metálicos por el U. S. Bureau of Mines, Departamento de Minas de los Estados Unidos, dan protección adecuada contra los humos metálicos de toxicidad no mayor que la del plomo, siempre que se seleccionen, utilicen y mantengan correctamente.

No se recomienda su uso general, por la dificultad de determinar si fueron seleccionados y mantenidos correctamente. Ningún respirador o filtro o de cartucho da protección contra el monóxido de carbono, el bióxido de nitrógeno o el vapor de mercurio. Cuando se aplica soldadura bajo tales condiciones, se requiere usar un respirador de manguera conectado a una línea de aire, o una mascarilla contra gases.

4.3. Rayos del arco en la soldadura

La protección de la vista es un asunto tan importante que merece consideración aparte.

El arco eléctrico que se utiliza como fuente calorífica y cuya temperatura alcanza más de 4 000 °C., desprende radiaciones visibles y no visibles. Dentro de estas últimas, tenemos aquellas cuyo efecto más nocivo son los rayos ultravioletas e infrarrojos.

El tipo de quemadura que el arco produce en los ojos no es permanente, aunque sí extremadamente dolorosa. Su efecto es como “tener arena caliente en los ojos”. Para evitarla, debe utilizarse un lente protector (vidrio inactínico) que ajuste bien y, delante de este, para su protección, siempre hay que mantener una cubierta de vidrio transparente, la que debe ser sustituida inmediatamente en caso de deteriorarse. A fin de asegurar una completa protección, el lente protector debe poseer la densidad adecuada al proceso e intensidad de corriente utilizada. La siguiente tabla 10 le ayudará a seleccionar el lente adecuado.

Use siempre guantes y gabachas de cuero, así como zapatos adecuados para prevenir quemaduras provocadas por los intensos rayos de la soldadura o chispas que pudiera quemar.

4.4. Chispa de la soldadura

Hay ciertas reglas definidas para la prevención de incendios durante las operaciones de soldadura, formuladas por la NFPA en su boletín No. 51B, reglas para la prevención de incendios durante la operación de corte y soldadura. Sin embargo, a falta de este boletín, deben seguirse las prácticas generales de seguridad que se describen a continuación.

No debe hacerse soldadura ni corte en donde resulte peligrosa una llama abierta o un arco, como ocurre en presencia de atmósferas explosivas, mezclas de gases inflamables, vapores, líquidos o polvos con aire, ni cerca de los almacenajes de grandes cantidades de materiales de fácil ignición.

Al soldar o cortar cerca de materiales combustibles deben tomarse precauciones especiales, para asegurarse de que las chispas o la escoria caliente que salte de las operaciones de corte, en particular, no se pongan en contacto con material combustible, para iniciar un incendio. El material combustible debe moverse, alejándolo a una distancia segura, por lo menos unos 11 metros, si no puede moverse la pieza de trabajo que ha de soldarse o cortarse.

Cuando resulte impráctica la relocalización, deben protegerse los materiales combustibles con cubiertas a prueba de llamas o, de lo contrario, protegerse con guardas de metal o de asbesto, o con cortinas. Deben retirarse sobre el piso las orillas de las cubiertas, para impedir que las chispas pasen por debajo de aquellas.

Deben limpiarse los pisos en un radio de 11 metros. Los pisos combustibles deben también mojarse perfectamente, en cuyo caso, el personal que utilice equipo eléctrico debe protegerse contra choques. Es preferible cubrir los pisos

de madera en donde haya probabilidad de que caigan chispas o trozos de metal caliente, ya sea con metal o algún otro material incombustible adecuado.

Siempre que haya abertura o grietas en el piso, deben cubrirse con metal, o con algún material incombustible adecuado. Asegúrese de que no haya materiales muy combustibles en el piso de abajo, ya que podrían pasar a través del piso el metal caliente o la escoria.

Deben tomarse precauciones para impedir que la escoria caliente o las chispas caigan en los espacios huecos de las máquinas y herramientas.

Observe las mismas precauciones, indicadas en el párrafo anterior, en relación con las grietas o agujeros en las paredes, en los pasillos abiertos y en las ventanas abiertas o rotas. Use guardas de metal laminado, o cortinas de asbesto, en donde sea necesario, para protección contra las chispas de arco y para ayudar, a manera de pantallas, contra chispas y escoria, reconociendo que puede no contarse con protección al nivel del piso.

Cuando sea necesario hacer soldadura o corte en las cercanías de construcciones de madera, o en lugares en lo que no pueden eliminarse los materiales combustibles, debe contarse en el sitio con un equipo de protección contra incendios que llene los requisitos establecidos por la OSHA, adecuado para el tipo de incendio que pueda producirse.

Siempre que haya quedado expuesto un material combustible al metal fundido o a la escoria caliente procedente de operaciones de corte o soldadura, deje una persona en el lugar de trabajo, o lo menos durante media hora después de haber terminado éste, para asegurarse de que no se han iniciado fuegos lentos o semiapagados.

Un soldador o cortador debe verificar sus instrucciones con su supervisor antes de comenzar a soldar en una zona que no sea de producción. La emisión de permisos escritos firmados por el supervisor de la zona o del departamento de protección de la planta ha resultado efectiva para la reducción de incendios en muchas plantas.

Cerca de toda operación de soldadura y corte debe mantenerse el equipo adecuado para la extinción de incendios que corresponda a las normas de la OSHA. Lo adecuado del equipo se determina mediante un análisis de las condiciones que se observen en la escena de las operaciones. Si, por ejemplo, el único material combustible que hay dentro del alcance de las operaciones de soldadura o corte, o de las chispas producidas por estas, es un impermeabilizante del tipo asfáltico, puede ser adecuado un extinguidor de CO₂

Sin embargo, en un espacio pequeño, con una abertura de acceso muy reducida, el operador puede no ser capaz de salir rápidamente en caso de incendio, y el uso del CO₂ podría ser perjudicial. Bajo tales condiciones sería preferible el uso del agua de una tubería de 1½ pulgadas o de un depósito con bomba.

Si no se puede eliminarse o protegerse adecuadamente el aislamiento de un equipo eléctrico, y este es el único material combustible presente, un rociador de agua puede ser más peligroso que el fuego mismo. Para combatir incendios eléctricos debe contarse con extinguidores de gas carbónico, CO₂.

Nunca deben usarse extinguidores de tetracloruro de carbono. Este producto se descompone sobre el metal caliente para formar fosgeno, gas mortífero.

4.5. Manejo de cilindros de gas

Los cilindros de gases tienden a ser explosivos, por lo que se debe prestar particular atención en el almacenamiento y uso de estos.

Los cilindros deben ser inspeccionados como se hace con todo el equipo; se debe chequear la etiqueta para asegurarse que es el correcto gas protector que se está utilizando y que los reguladores, mangueras y acoples están en la posición correcta para el gas y presión, así como también que estén en buenas condiciones de trabajo.

Los cilindros deberán estar asegurados en posición vertical, con las tapaderas de protección cuando están almacenados o fuera de uso. También deberán estar alejados de material combustible e hidrocarburos, calor y flamas.

4.5.1. Normas generales de seguridad para operación con cilindros de alta presión

- El contenido del cilindro debe estar plena y claramente identificado. El color del mismo no es un medio de identificación universal de su contenido.
- No quitar ni desvanecer marcas o etiquetas que contribuyen a la identificación del contenido.
- No utilizar cilindros con etiquetas o identificación ilegible. Estos deben ser separados y retornados al proveedor de gases lo antes posible.
- Los tapones de protección de la válvula deben mantenerse en el cilindro, excepto cuando este se encuentre en uso.

- Si un cilindro que contiene gas tóxico tiene fuga, abandonar inmediatamente la habitación, evacuar el área, cerrar las puertas y reportar la emergencia desde un lugar seguro, se debe advertir al personal que asistirá la emergencia de la presencia de un gas tóxico.
- Lo mismo aplica para un contenido inflamable u oxidante, pero antes de evacuar, el área, apague todas las fuentes de ignición.
- Si se trata de fuga de un gas inerte, colocar el cilindro en un lugar bien ventilado, preferiblemente en un área externa de almacenamiento de cilindros y contacte al proveedor para sustituirlo.
- La corrosión de un cilindro o válvula debe ser notificada al proveedor para seguir sus instrucciones.
- Las líneas o tuberías de gas que provienen de un cilindro deberán etiquetarse claramente para identificar el gas que transportan.
- La práctica de transferir un gas comprimido de un cilindro comercial a otro está prohibida para el usuario. Solamente lo podrá realizar el proveedor.

4.5.2. Normas relativas a la movilización y transporte de cilindros de alta presión

- Siempre que utilice una carretilla de mano o similar para movilizar un cilindro, verifique que está asegurado mediante un cinturón durante la operación. No lo ruede o arrastre, ni permita que choquen entre sí o con alguna superficie en forma violenta.

- Durante el transporte el tapón debe ir bien asegurado. No mueva o levante el cilindro tomándolo por su tapón.
- No use cuerdas para suspender el cilindro a menos que el fabricante haya previsto los respectivos puntos de apoyo.

4.5.3. Normas generales de almacenamiento de cilindros

- Todas las áreas de almacenamiento deben indicar el tipo de riesgo o el nombre del gas almacenado, mediante rótulos evidentes.
- Asegure los cilindros almacenados en forma vertical con la válvula hacia arriba, contra la pared, rack o paral de apoyo, a menos que el fabricante haya indicado otra forma; en tal caso, colocar un rótulo que impida su modificación.
- Donde se almacenen gases de diferente tipo los cilindros deben agruparse por su característica de inflamable, oxidante o corrosivo. Los gases inertes pueden compartir el almacenamiento con cualquier otro tipo de gas.
- Los cilindros llenos deberán almacenarse separados de los vacíos. El área de almacenamiento debe ser bien ventilada y libre de chispas, llamas o fuentes de calor o ignición. No debe haber temperaturas extremas ni exponerse directamente a los rayos solares.
- No deberán almacenarse cilindros cerca de sales o compuestos y vapores corrosivos.

- Si el gas contenido es corrosivo, debe examinarse periódicamente la integridad de la válvula para verificar que no ha sido corroída.
- Nunca almacene cilindros cerca de elevadores, lobbies, escaleras o cualquier otro lugar que obstruya una salida de emergencia.

4.5.4. Precauciones generales de uso

- Usar guantes y protectores faciales para operar cilindros de alta presión.
- No use los cilindros para cualquier otro propósito que no sea transportar o almacenar un gas.
- No intente reparar cilindros defectuosos, válvulas o discos de ruptura. Regrese el cilindro al proveedor para que realice la reparación.
- No trate de quitar un tapón trabado introduciendo un destornillador en los agujeros de este, pues accidentalmente se puede abrir la válvula.
- No coloque los cilindros en donde pueden ser parte de un circuito eléctrico o permitir el contacto con sistemas eléctricamente energizados.
- Use agua jabonosa o equipos de detección para ubicar ausencia o presencia de fugas en el sistema de transporte de gas.
- Utilice reguladores de presión que contengan sistemas de alivio de presión.

- No utilice cilindros con gases médicos sin reducir la presión por medio de un regulador.
- Antes de retirar un regulador, cierre la válvula del cilindro y libere todo el gas atrapado en este.

4.5.5. Precauciones durante el uso

- Antes de iniciar el uso de un gas, lea toda la información de la etiqueta.
- Asegúrese de usar los conectores adecuados.
- Siempre use el regulador apropiado para el gas requerido. Si las conexiones no se acoplan fácil y rápidamente, es porque se está usando un regulador no adecuado.
- Evite que aceite y grasa tengan contacto con los cilindros de gases oxidantes.
- Al abrir una válvula, asegúrese de que esta no está en dirección de otra persona.
- No use martillo para abrir o cerrar un maneral. Si la válvula está congelada y no se puede operar manualmente regrese el cilindro al proveedor.
- No pretenda consumir completamente el contenido de gas de un cilindro. Descontinúe su uso cuando la presión sea igual o menor de 25 psi. Cierre la válvula y protéjala con su tapón.

4.5.6. Precauciones adicionales durante el uso de gases inflamables

- Los cilindros, llenos o vacíos, de gases inflamables deben separarse de los de gases oxidantes por una distancia mínima de 20 pies o 6 metros, o por una barrera de 5 pies o 1,7 metros de altura.
- No almacenar cilindros de gases inflamables u oxidantes cerca de solventes altamente inflamables. Combustibles, conexiones eléctricas no protegidas, llamas o fuentes de ignición.
- Los cilindros de gases inflamables deben almacenarse en lugares bien ventilados.

4.5.7. Precauciones adicionales durante el uso de gases inertes

- La acumulación de gases inertes puede producir atmósferas asfixiantes en las que la inconsciencia puede ser inmediata, por lo que es necesario procurar buena ventilación.

4.5.8. Precauciones durante incidentes o accidentes fuera de control

- 1. Asegurar la vigencia, funcionamiento y ubicación rápida de los sistemas de extinción de incendios.
- Asegurar el conocimiento de primeros auxilios en casos de quemaduras y asfixia, RCP.

- Disponer de equipos de respiración asistida para atender la evacuación oportuna de personas en situación de asfixia por atmósferas inertes. No usar simplemente mascarillas filtrantes porque estas no resuelven el problema de ausencia de oxígeno.
- 4. Asegurar la asistencia médica y la disponibilidad de antídotos específicos en casos de intoxicación por gases venenosos.
- En los casos de fuga inflamable de gases desde un cilindro, permitir el agotamiento del gas, enfriando con agua la superficie externa del cilindro para evitar su explosión.

5. LABORATORIO SOLDADURA EN ACEROS AL CARBÓN

5.1. Soldadura posición plana sin y con metal de aporte

El objetivo de este trabajo práctico es familiarizarse con la manipulación de la pistola y varilla de aporte en plancha de acero dulce.

5.1.1. Procedimiento

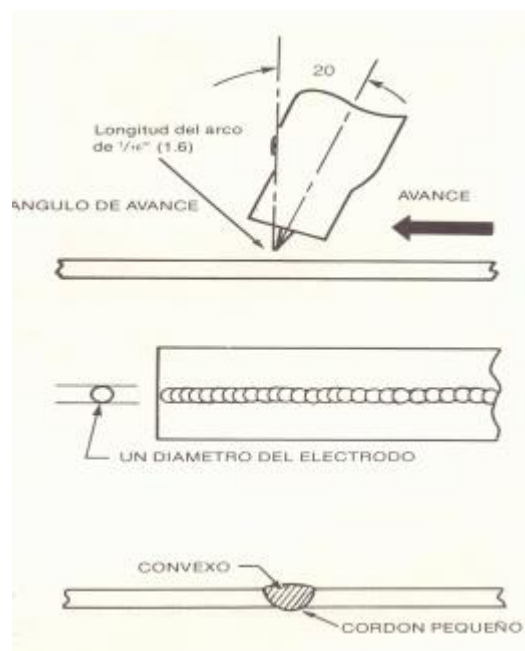
- Preparar la máquina.
 - Polaridad: CC electrodo negativo, polaridad directa.
 - Amperaje: 50-60 amperios.
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.
 - Alta frecuencia: automática.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 50.
 - Medida del caudal de gas: 20 pies³/hr.
 - Prolongación del electrodo de tungsteno: 1 a 2 diámetros del electrodo.

- Colocar en posición el material.
 - Colocar un trozo de acero dulce 1/16", 1.6 mm, limpio sobre la mesa en posición plana.

- Soldadura sin metal de aporte.
 - Iniciar el arco.
 - Bajarse la máscara.

- Presionar el pedal para iniciar el arco.
- Depositar el cordón de soldadura.
- Colocar la pistola con un ángulo de trabajo de 90° y un ángulo de avance de empuje de 20° , ver figura 29.
- Sostener la longitud del arco lo más corta posible.
- Formar un baño del ancho de un diámetro del electrodo.
- Después de formar el baño, mover suavemente a lo largo de la plancha, manteniendo un cordón de ancho de un diámetro del electrodo constante.
- La cara del cordón debe ser entre plana y ligeramente convexa.
- En el lado opuesto puede haber un cordón pequeño.

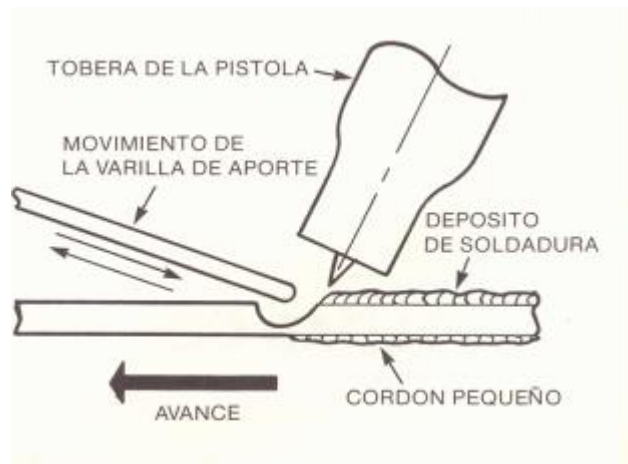
Figura 29. **Posición adecuada de la antorcha**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 13.

- d) Soldadura con metal de aporte.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar la varilla de metal de aporte a 20° de la pieza de trabajo sin ángulo en el costado. Ver figura 30.

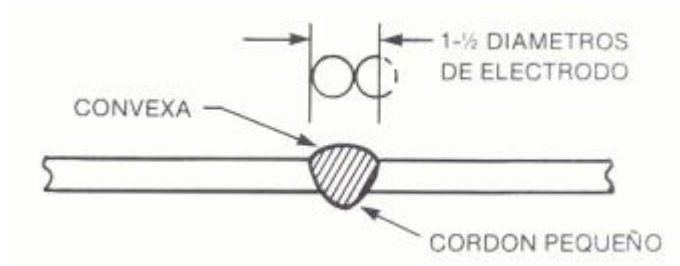
Figura 30. **Posición correcta de la antorcha con material de aporte**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura* fig. p. 14.

- Sostener la longitud del arco lo más corta posible.
- Mover la pistola uniformemente a lo largo de la junta.
- La varilla de aporte debe sumergirse en el borde anterior del baño.
- No mover hacia arriba y abajo la varilla de aporte pues se puede contaminar el tungsteno y la varilla de aporte puede recibir un precalentamiento excesivo.
- La cara terminada de la soldadura debe tener un ancho de $1 \frac{1}{2}$ diámetro del electrodo y ser convexa.
- Se formará un cordón pequeño en el lado contrario.

Figura 31. **Geometría correcta del cordón de soldadura**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 15.

- Inspeccionar la soldadura y continuar practicando.

5.2. Soldadura de filete-junta de solapa-posición horizontal sin y con metal de aporte

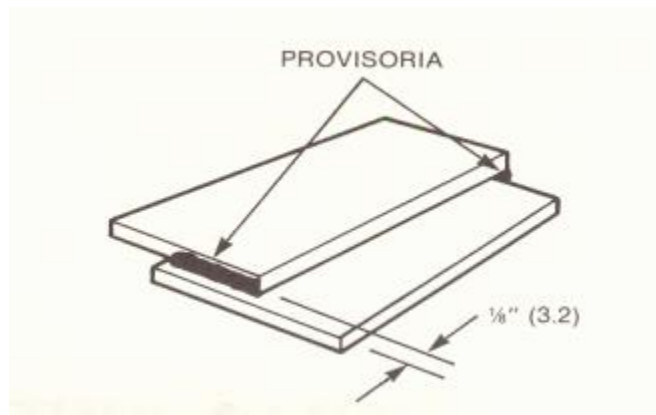
El objetivo es desarrollar la habilidad para producir soldaduras de filete en unión de traslape de buena calidad en acero dulce de 1/16", 1,6 mm, y 1/8", 3,2 mm, de espesor en posición horizontal.

5.2.1. Procedimiento

- Preparar la máquina.
 - Polaridad: electrodo CC negativo, polaridad directa.
 - Amperaje: 50-60; 1/16", 1,6 mm.
 - 85-95; 1/8", 3,2 mm.
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.
 - Alta frecuencia: automática.

- Ajuste de control de alta frecuencia: 50.
 - Medida del caudal de gas: 20 pies³/hr.
 - Prolongación del electrodo de tungsteno: 1 a 2 diámetros del electrodo.
- Colocar en posición el material y soldar provisoriamente.
 - Colocar en posición dos trozos de acero dulce 1/16", 1,6 mm, para formar una junta de traslape.
 - Desplazar las planchas de 1/8", 3,2 mm, para formar un borde para la soldadura provisoria.
 - Colocar la soldadura provisoria de la longitud de cada extremo sin metal de aporte.
 - Colocar la pieza de trabajo plana sobre la mesa para la soldadura en posición horizontal.

Figura 32. **Junta de solape, soldaduras provisionarias**

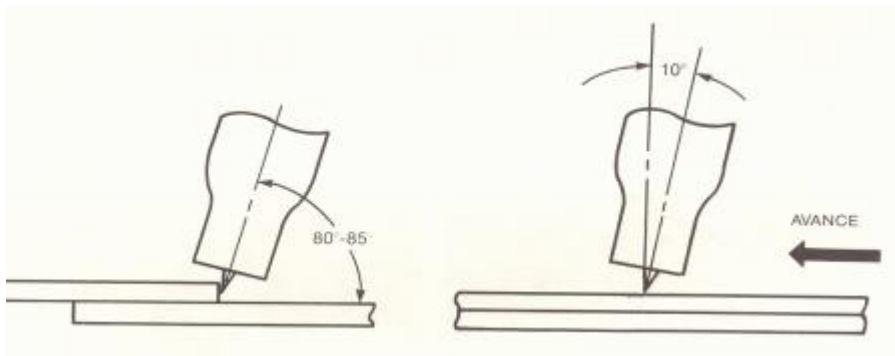


Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 17.

5.2.2. Soldar sin metal de aporte

- Depositar el cordón de soldadura.
- Colocar en posición la pistola con un ángulo de trabajo entre 80° y 85° y un ángulo de avance de empuje de 10° .

Figura 33. **Posición de la pistola en soldaduras de filete**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 17.

- Centrar el electrodo en el borde superior de la plancha con la longitud del arco lo más corta posible.
- Moverse a lo largo de la junta, fundiendo el borde de la plancha superior.
- La soldadura terminada debe tener el ancho de la cara del cordón de un diámetro del electrodo.
- Dar vuelta la pieza de trabajo.

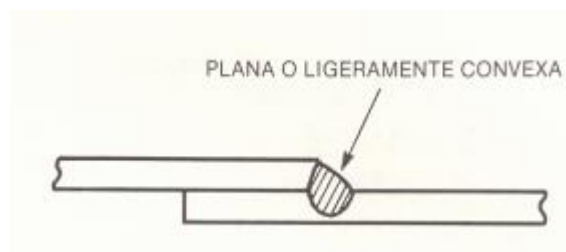
Figura 34. **Muestra del ancho del cordón de la soldadura en filete**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura* fig. p. 18.

- Soldar la junta de traslape con metal de aporte.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar la pistola con un ángulo de trabajo de 70° , y un ángulo de avance de empuje entre 10 y 20° .
 - Colocar en posición la varilla de aporte a 20° de la mesa con un ángulo lateral de $5-10^{\circ}$.
 - Fundir el borde superior de la plancha.

Figura 35. **Cara del cordón plana o ligeramente convexa**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura* fig. p. 19.

- Sostener fija la varilla de aporte.
 - Mover uniformemente la pistola a lo largo de la junta.
 - La cara terminada del cordón debe ser plana o ligeramente convexa y del ancho de un diámetro del electrodo.
- Reajustar la máquina.
 - Amperaje: 85-95 – espesor $\frac{1}{8}$ ", 3,2 mm.
- Colocar en posición el material y soldar por puntos.
 - Colocar en posición dos trozos de acero dulce $\frac{1}{8}$ ", 3,2 mm ,y soldar provisoriamente en forma parecida a las secciones anteriores en el $\frac{1}{16}$ ", 1,6. mm.
- Soldar la junta de traslapo sin y con metal de aporte.
 - Las técnicas de soldadura son similares a aquellas usadas para espesor $\frac{1}{16}$ ", 1,6 mm.
 - Usar una varilla de metal de aporte de $\frac{3}{32}$ ", 2,4, de diámetro.
 - La cara del cordón tendrá el ancho de $1 \frac{1}{2}$ diámetros del electrodo, más ancha que la cara del cordón en espesor $\frac{1}{16}$ ", 1,6 mm.
 - Inspeccionar la soldadura y continuar practicando.

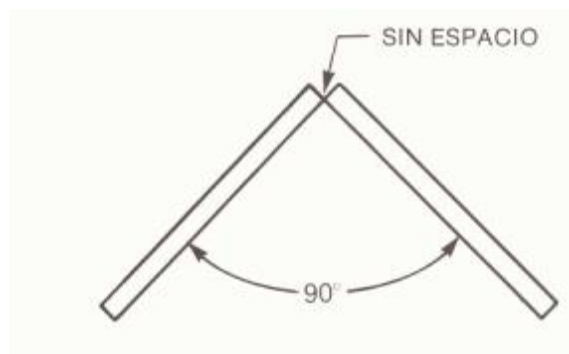
5.3. Soldadura de filete-junta de esquina exterior posición plana sin y con metal de aporte

El objetivo es adquirir habilidad para producir soldaduras de filete de unión de esquina exterior de buena calidad en acero dulce de $\frac{1}{16}$ ", 1,6 y $\frac{1}{8}$ ", 3,2 mm, de espesor en posición plana.

5.3.1. Procedimiento

- Preparar la máquina.
 - Polaridad: CC electrodo negativo, polaridad directa.
 - Amperaje: 45-55 - 1/16", 1,6.mm
 - 75-85 - 1/8", 3,2.mm
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.
 - Alta frecuencia: automática.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 50.
 - Medida del caudal de gas: 20 pies³/hr.
 - Prolongación del electrodo de tungsteno: 1 diámetro del electrodo.
- Colocar en posición el material y soldar provisoriamente.
 - Colocar en posición dos trozos de acero dulce de 1/16", 1,6 mm, para formar una junta de esquina.

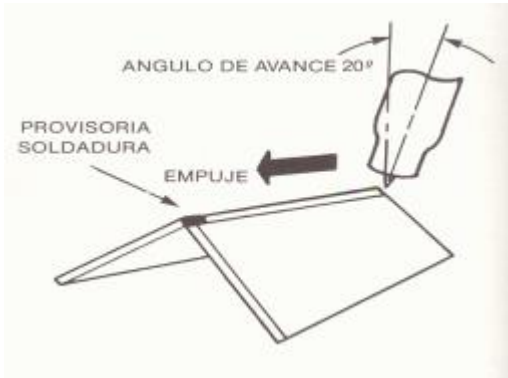
Figura 36. Colocación de la pieza en junta de esquina exterior



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura* fig. p. 23.

- La junta debe estar apretada para reducir la posibilidad de perforación.
- Hacer una soldadura provisoria en la esquina derecha sin metal de aporte.
- Si los bordes no están alineados, colocar una soldadura provisoria en el extremo contrario.
- Colocar en posición la pieza de trabajo para la soldadura en posición plana.
- La soldadura provisoria debe estar en el lado izquierdo para un soldador que usa la mano derecha.
- Soldar la junta de esquina sin metal de aporte.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar la pistola con un ángulo de trabajo de 90° y un ángulo de avance de empuje de 20° .
 - Mover uniformemente a lo largo de la junta.

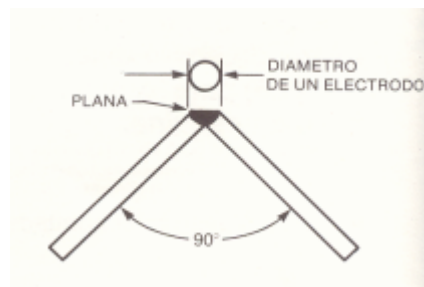
Figura 37. **Colocación de la pistola en una soldadura de filete en junta de esquina**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 15.

- Mantener una longitud del arco corta.
- Si hay penetración completa en la raíz se formará un cordón pequeño.

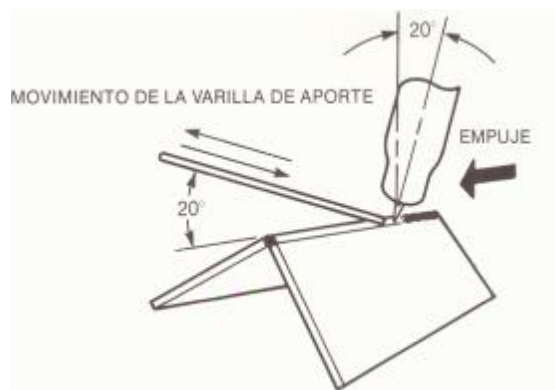
Figura 38. **Ancho de cordón de soldadura igual a un diámetro de electrodo**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 24.

- La soldadura terminada será uniforme, del ancho de un diámetro de electrodo.
- Soldar una junta de esquina con metal de aporte.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar en posición la pistola en forma parecida a la sección anterior.
 - Inclinar la varilla de aporte 20° de la pieza de trabajo sin ángulo lateral.

Figura 39. **Colocación de la pistola y varilla de material de aporte en una soldadura de filete en junta de esquina**

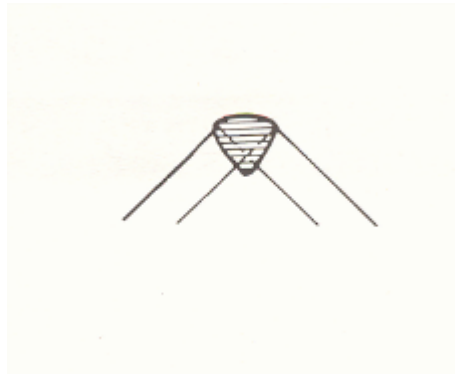


Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 25.

- Mover uniformemente la pistola a lo largo de la junta, agregando metal de aporte al borde anterior del baño.
- Asegurarse de mover la varilla de aporte hacia atrás y adelante al depositar el metal de aporte.

- El movimiento hacia arriba y abajo puede causar la contaminación del tungsteno o demasiado precalentamiento del metal de aporte.
- La cara del cordón debe ser ligeramente convexa con penetración completa en el lado trasero de la junta.

Figura 40. **Cara del cordón ligeramente convexa con penetración profunda**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 25.

- Colocar en posición el material y soldar provisoriamente.
 - Colocar en posición dos piezas de acero dulce de $\frac{1}{8}$ " , 3,2 mm de espesor para formar una junta de esquina.
 - Soldar provisoriamente la pieza de trabajo en cada extremo sin metal de aporte.
 - Colocar en posición plana la pieza de trabajo.

Figura 41. **Colocación provisoria de dos piezas en junta de esquina**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 26.

- Soldar la junta de esquina con y sin metal de aporte.
 - Amperaje: 75-85.
 - Depositar el cordón de soldadura sin y con metal de aporte.
 - Usar las mismas técnicas de soldadura empleadas previamente en 1/16", 1,6 mm.
 - Usar una varilla de metal de aporte de diámetro de 3/32", 2,4 mm.
 - La cara terminada del cordón debe tener el ancho de 1 ½ diámetros del electrodo.

5.4. Soldadura de filete junta en T posiciones horizontal y vertical, ascendente con metal de aporte

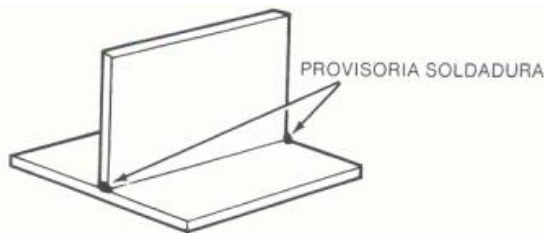
El objetivo es lograr la habilidad requerida para producir soldaduras de filete de unión en T en acero dulce de 1/16", 1,6 mm y 1/8", 3,2 mm, de espesor en posiciones horizontal y vertical ascendentes.

5.4.1. Procedimiento

- Preparar la máquina.
 - Polaridad: CC electrodo negativo, polaridad directa.
 - Amperaje 50-60 1/16", 1,6 mm.
 - 85-95 1/8", 3,2mm
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.
 - Alta frecuencia: automática.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 50 .
 - Medida del caudal de gas: 20 pies³/hr.
 - Prolongación del electrodo de tungsteno: 2 a 3 diámetros del electrodo.

- Colocar en posición el material y soldar provisoriamente.
 - Colocar en posición dos trozos de acero dulce de 1/16", 1,6 mm, para formar una junta en T.
 - Soldar provisoriamente cada extremo sin metal de aporte.
 - Colocar en posición el material para soldar en posición horizontal.

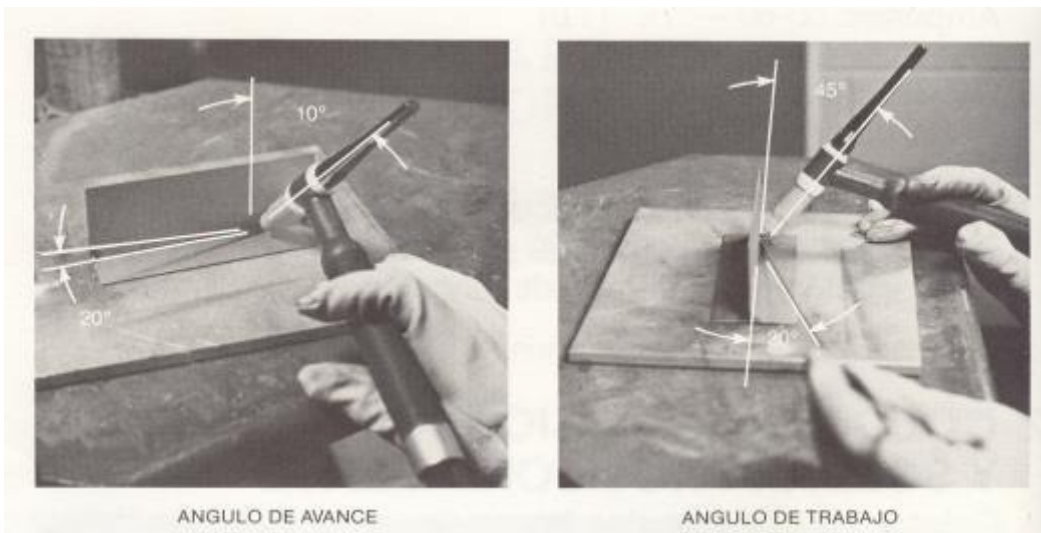
Figura 42. **Colocación provisoria de dos piezas en junta en T**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 27.

- Soldar la junta en T en posición horizontal.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar la pistola con un ángulo de trabajo de 45° y un ángulo de avance de empuje de 10° .

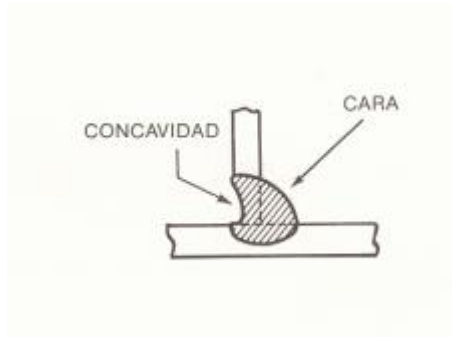
Figura 43. **Ángulo de avance y ángulo de trabajo en una junta en T**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 28.

- Colocar en posición la varilla de aporte de 20° de la mesa y con un ángulo lateral de 20° .
- Centrar la pistola en el medio de la junta.
- Iniciar el arco.
- Avanzar a lo largo de la junta a una velocidad pareja.
- Avanzar a una velocidad para producir un ancho de cara de un diámetro del electrodo.
- Sostener fijo el metal de aporte.

Figura 44. **Socavación provocada por excesivo calor**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 29.

El ajuste excesivo de calor o el avance demasiado lento causará una concavidad en el lado de atrás de la soldadura.

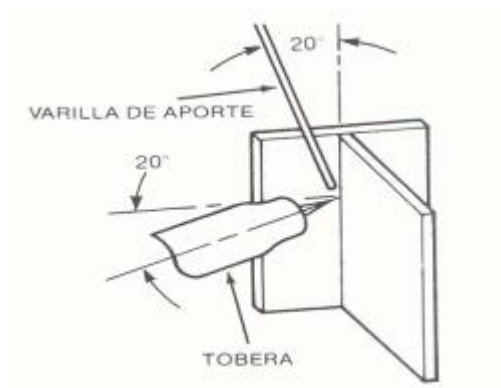
La soldadura terminada tiene que tener la cara del cordón ligeramente cóncava o plana.

Dar vuelta la pieza de trabajo para soldar la junta contraria.

- Soldar la junta en T en posición vertical.
 - Depositar el cordón de soldadura desde abajo hacia arriba en la junta.
 - Colocar la pistola con un ángulo de trabajo de 45° y uno de avance de empuje de 20° .
 - Colocar la varilla de aporte a 20° de la pieza de trabajo con un ángulo lateral de 20° .

- Mover la pistola en forma parecida a la sección anterior en posición horizontal.
- Usar la técnica de colocación de alambre.
- Mantener una longitud del arco corta.
- La soldadura de filete debe tener los catetos de la misma medida.
- Avanzar lo suficientemente rápido para evitar la concavidad en el lado de atrás.
- La cara terminada en la soldadura debe ser entre plana y ligeramente convexa y con el ancho de un diámetro del electrodo.

Figura 45. **Posición de la pistola y varilla de aporte en una soldadura de junta en T en posición vertical**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 30.

- Volver a preparar la máquina.
 - Amperaje: 85-95.

- Colocar en posición el material y soldar provisoriamente.
 - Colocar en posición dos trozos de acero dulce $\frac{1}{8}$ ", 3,2 mm, de espesor para formar una junta en T.
 - Soldar provisoriamente en forma similar a la sección anterior en espesor $\frac{1}{16}$ ", 1,6 mm.

- Soldar la junta en T en posiciones horizontal y vertical ascendente.
 - Usar las mismas técnicas de soldadura descritas para espesor $\frac{1}{16}$ ", 1,6 mm.
 - Usar una varilla de metal de aporte de diámetro de $\frac{3}{32}$ ", 2,4 mm.
 - La cara de la soldadura deberá tener el ancho de $1\frac{1}{2}$ diámetros del electrodo para las soldaduras en espesor $\frac{3}{8}$ ", 3,2 mm.
 - Inspeccionar la soldadura y continuar practicando.

5.5. Soldadura de ranura cuadrada-junta a tope-posición plana con metal de aporte

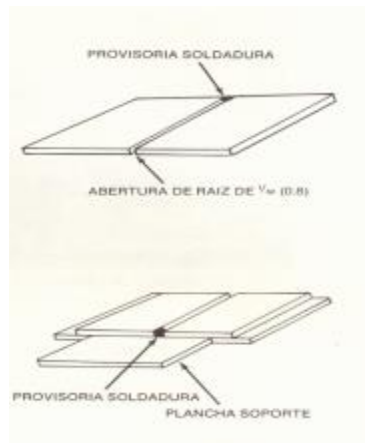
El objetivo es adquirir la habilidad para producir soldaduras de ranura cuadrada de buena calidad en acero dulce espesores $\frac{1}{16}$ ", 1,6 mm y $\frac{1}{8}$ ", 3,2 mm, en posición plana.

5.5.1. Procedimiento

- Preparar la máquina.
 - Polaridad: CC electrodo negativo, polaridad directa.
 - Amperaje: 45-55 – $\frac{1}{16}$ ", 1,6 mm.
 - 75-85 - $\frac{1}{8}$ ", 3,2 mm.
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.

- Alta frecuencia: automática.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 50.
 - Medida del caudal de gas: 20 pies³/hr.
 - Prolongación del electrodo de tungsteno: 1 a 2 diámetros del electrodo.
- Colocar en posición el material y soldar provisoriamente.
 - Colocar en posición dos trozos de acero dulce de 1/16", 1,6 mm, en la mesa para formar una junta tope.
 - Separar las planchas con una abertura de raíz de 1/32".
 - La varilla de metal de aporte de 1/16" no debe caber a través de la junta.
 - Hacer una soldadura provisoria de ¼ pulgada, 6,4 mm, en extremo de la junta, usando metal de aporte.
 - Colocar alambre en el borde de la junta antes de iniciar el arco.
 - Colocar la pieza de trabajo en soportes.

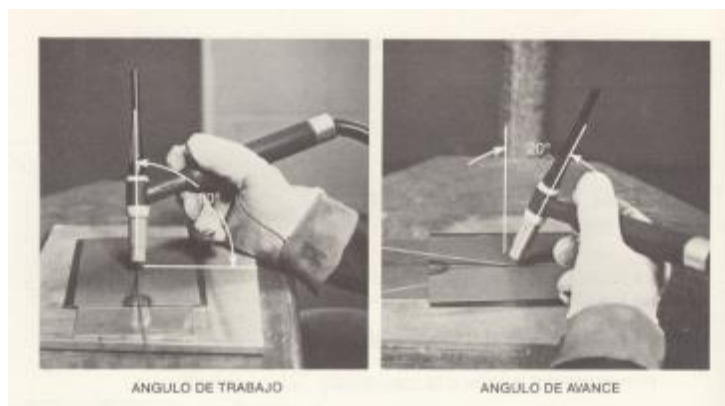
Figura 46. **Colocación de piezas de una soldadura de junta a tope**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 33.

- La junta debe ubicarse en el centro de los soportes.
 - Si se está trabajando con la mano derecha, el extremo de la soldadura provisoria debe estar a la izquierda.
 - Colocar una tercera plancha en el extremo de la junta. Durante la soldadura, el gas queda retenido debajo de la junta y protege la raíz.
 - Colocar en posición la pistola en el extremo derecho de la junta si se está trabajando con la mano derecha.
- c) Soldar la junta a tope con metal de aporte.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar el soplete en un ángulo de trabajo de 90° y uno de avance de empuje de 20° .
 - Inclinar la varilla de aporte 20° hacia arriba de la junta.
 - Mantener una longitud del arco de $1/16''$ 1,6 mm.

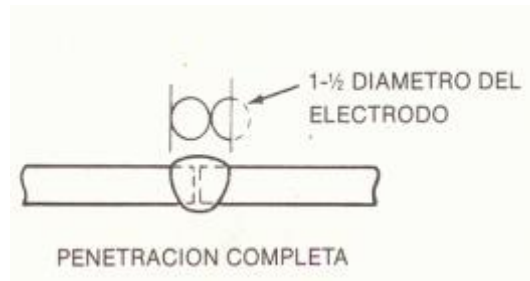
Figura 47. **Ángulo de trabajo y ángulo de avance en una soldadura de ranura cuadrada en junta a tope**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura* fig. p. 34.

- Asegurarse de que no se introduzca demasiado la varilla de aporte en el baño, si no, se contaminara el tungsteno.
- La penetración debe ser completa.
- La cara del cordón debe tener un ancho de $1\frac{1}{2}$ " diámetros del electrodo y un ligero refuerzo formado en la raíz.

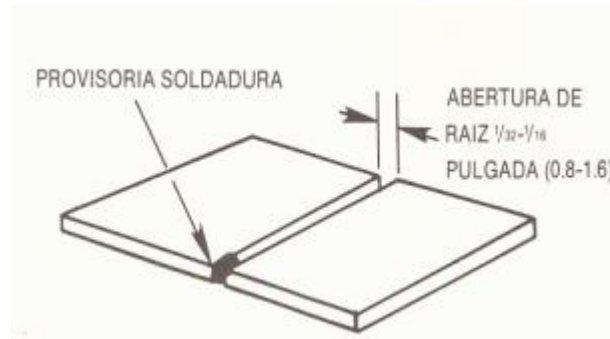
Figura 48. **Ancho del cordón de una y media de diámetro del electrodo**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 34.

- Volver a preparar la máquina.
 - Amperaje: 85-95.
- Colocar el material en posición y soldar provisoriamente.
 - Colocar en posición dos trozos de acero $\frac{1}{8}$ ", 3,2 mm, para formar una junta a tope abierta.
 - Proveer una abertura de raíz de $\frac{1}{8}$ pulgada 3,2 mm, usar una varilla de metal de aporte de diámetro $\frac{1}{8}$ ", 3,2 mm para separación. Soldar provisoriamente con metal de aporte en un extremo.

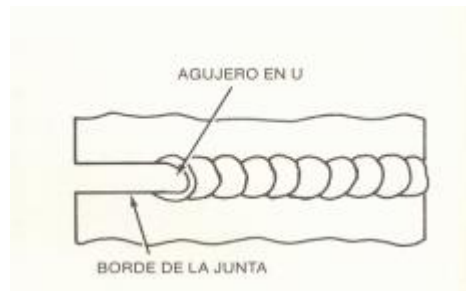
Figura 49. **Posición de piezas de una junta a tope abierta**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 35.

- Realimentar la pieza de trabajo para una abertura de raíz de $\frac{1}{8}$ " , 3,2 mm después de depositar la soldadura provisoria.
- Colocar en posición la pieza de trabajo para soldadura en posición plana.
- La pieza de trabajo debe estar sobre soportes para mantener la junta separada de la mesa.
- Soldar la junta a tope con metal de aporte.
 - Usar una varilla de metal de aporte de diámetro de $\frac{1}{8}$ " , 3,2 mm.
 - Depositar el primer cordón de soldadura.
 - Colocar en posición la pistola con un ángulo de trabajo de 90° y uno de avance de empuje de $10-20^{\circ}$.
 - Mantener la varilla de metal de aporte a 20° de la pieza de trabajo sin ángulo lateral.
 - Iniciar el arco en el extremo de la pieza de trabajo contrario provisoria de soldadura.

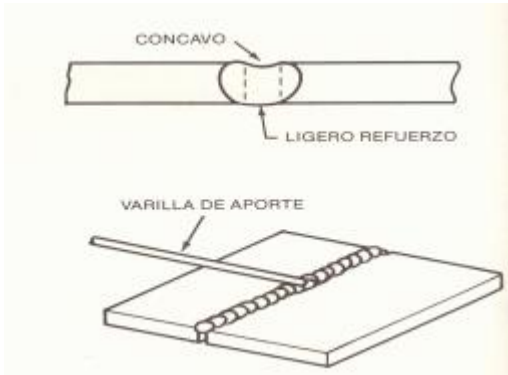
Figura 50. **Muestra de un agujero en U para asegurar penetraciones apropiadas de raíz**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura* fig. p. 36.

- Tan pronto como se forme el agujero en U sumergir la varilla de metal de aporte.
- El agujero en U debe formarse antes de sumergir la varilla de metal de aporte, para asegurar la penetración apropiada en el lado de raíz de la junta.
- La cara debe ser plana o ligeramente convexa con bordes lisos y sin socavadura.
- El cordón de raíz debe penetrarse completamente hasta el lado de raíz de la junta y formar un ligero refuerzo.

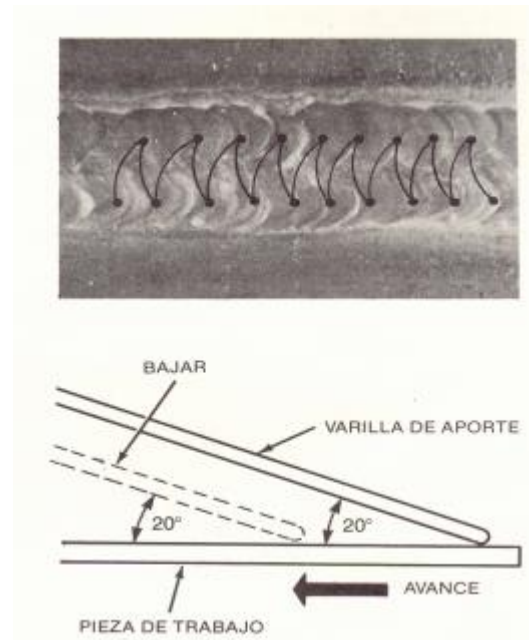
Figura 51. **Muestra del cordón de soldadura de cara cóncava**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura* fig. p. 36.

- Depositar el segundo cordón de soldadura.
- Usar los mismos ángulos de la varilla de metal de aporte y del soplete usados para el primer cordón.
- Usar la técnica de colocación de alambre.
- La varilla de metal de aporte debe agarrarse firmemente y sostenerse en contacto con la junta.
- La varilla de metal de aporte debe mantenerse en el centro del primer cordón.
- Mover uniformemente la pistola a lo largo de la junta usando un movimiento en U o V.

Figura 52. **Uso de la técnica en V a lo largo de la junta**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 37.

- Puede ser necesario ajustar periódicamente la varilla de metal de aporte para permanecer en el centro de la junta.
- A medida que se avanza a lo largo de la junta, bajar la varilla de aporte para mantener los ángulos apropiados, tal como se muestra.
- La cara terminada del cordón debe ser convexa con bordes lisos y sin socavadura.
- La junta debe llenarse por completo.
- Debe existir buena fusión en los bordes de la junta.
- Inspeccionar la soldadura y continuar practicando.

5.6. Soldadura de ranura cuadrada-junta a tope-posición sobre cabeza con metal de aporte

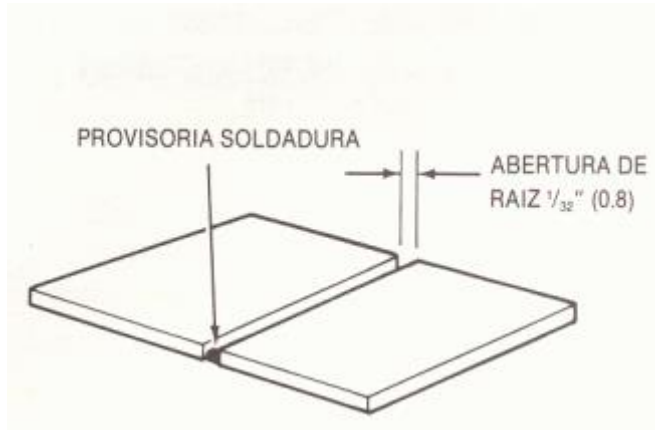
El objetivo es desarrollar la habilidad para producir soldaduras de ranura cuadrada de buena calidad en acero dulce de 1/16", 1,6 mm y 1/8", 3,2 mm en posición sobrecabeza.

5.6.1. Procedimiento

- Preparar la máquina.
 - Polaridad: CC electrodo negativo, polaridad directa.
 - Amperaje: 45-55 - 1/16" 1,6 mm.
 - 75-85 - 1/8", 3,2 mm.
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.
 - Alta frecuencia: automática.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 50.
 - Prolongación del electrodo de tungsteno: 1 a 2 diámetros del electrodo.

- Colocar en posición el material y soldar por puntos.
 - Colocar en posición dos trozos de acero dulce de 1/16", 1,6 mm, para formar una junta a tope con una abertura de raíz de 1/32", 0,8 mm.
 - Soldar provisoriamente en un extremo.

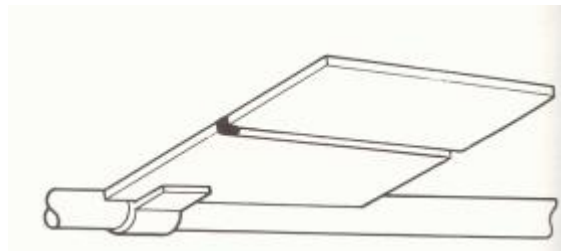
Figura 53. **Colocación de las piezas en junta a tope de posición sobre cabeza**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 41.

- Fijar la pieza de trabajo en posición sobre cabeza.

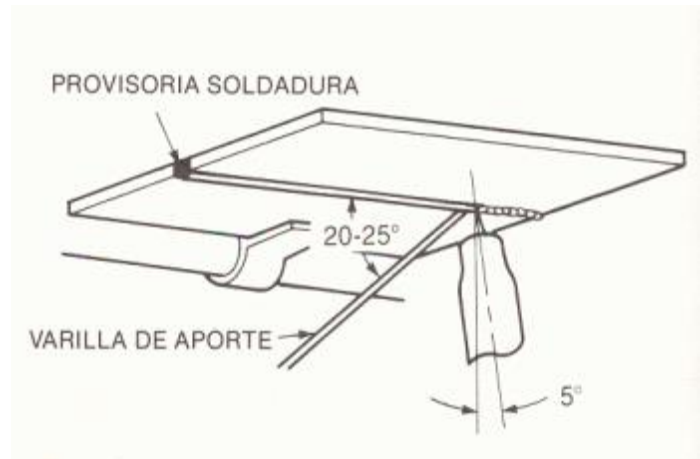
Figura 54. **Fijación de la pieza en soldadura sobre cabeza**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 42.

- Soldar la junta a tope con metal de aporte.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar la pistola con un ángulo de trabajo de 90° y uno de avance de empuje de 5° .
 - Sostener la varilla de metal de aporte entre $20-25^{\circ}$ de la pieza de trabajo sin ángulo lateral, tal como se muestra.
 - Sumergir la varilla de aporte en el borde anterior del baño.
 - Mantener la longitud del arco lo más corta posible.
 - No aplicar mucho calor pues se producirá la concavidad en el lado de raíz.
 - El cordón terminado debe tener el ancho de un diámetro del electrodo sin refuerzo de raíz.

Figura 55. **Ángulo de la pistola y material de aporte en posición sobre cabeza**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 42.

- Volver a preparar la máquina.
 - Amperaje: 75-85.

- Colocar en posición el material y soldar provisoriamente.
 - Colocar en posición dos trozos de acero dulce de $\frac{1}{8}$ ", 3,2 mm, para formar una junta a tope con una abertura de raíz de $\frac{1}{8}$ ", 3,2 mm.
 - Soldar por puntos y fijar en posición sobrecabeza.

- Soldar la junta a tope con metal de aporte.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Usar la misma técnica de soldadura empleada en la sección anterior en el espesor $\frac{1}{16}$ ", 1,6 mm.
 - Usar una varilla de metal de aporte de diámetro de $\frac{1}{8}$ ", 3,2 mm.
 - La cara terminada del cordón tiene un ancho de $1 \frac{1}{2}$ diámetros del electrodo con características similares al espesor $\frac{1}{16}$ ", 1,6 mm.
 - Inspeccionar la soldadura y continuar practicando.

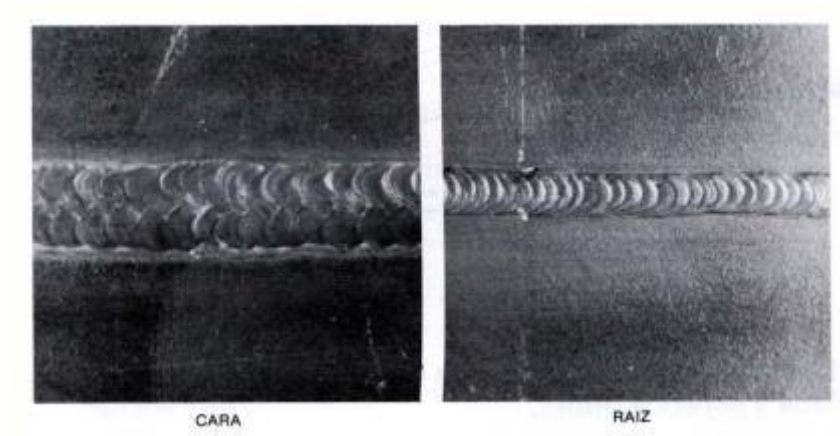
5.7. Soldadura de ranura cuadrada – prueba de doblado guiado

El objetivo de este trabajo práctico es basar la prueba de doblado guiado en acero dulce $\frac{1}{8}$ ", 3,2 mm, de espesor soldado en posición plana.

5.7.1. Procedimiento

- Preparar la pieza de trabajo.
 - Preparar una pieza de trabajo para la prueba de doblado guiado y soldar.
 - Inspección visual.

Figura 56. Inspección visual de cara y raíz

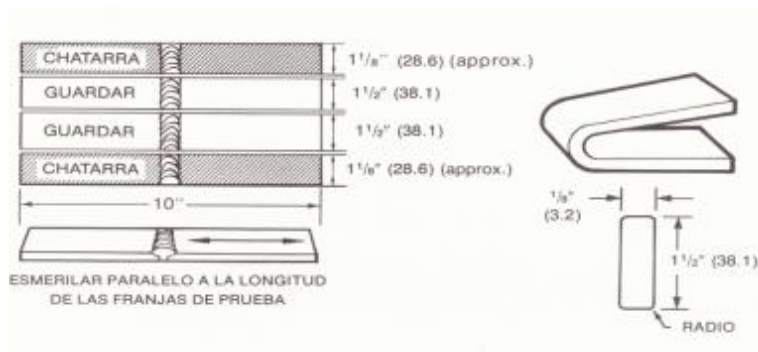


Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 38.

- Una soldadura será aceptada después de la inspección visual solamente en los siguientes casos:
- Si muestra no tener grietas.
- Si no tiene indicios de una penetración incompleta de la junta.
- Si muestra que hay fusión completa entre el metal de soldadura y el metal base.
- Si muestra no tener inclusiones de tungsteno.
- Si la porosidad no excede de un máximo de 1/16" y no tiene más de un total acumulado de 1/8", 3,2 mm, en cualquier pulgada cuadrada de soldadura.
- Si el refuerzo de la cara y de la raíz no excede la dimensión especificada y muestra una transición gradual a la superficie de metal base. Cualquier refuerzo debe entremezclarse suavemente en la plancha, tubo o superficie previamente soldada con las áreas de transición sin indentación marginal en el borde de la soldadura.

- Refuerzo de la raíz: deberá ser al ras con la superficie del metal base mínimo a $1/16''$, 1,6 mm.
- Refuerzo de la cara: deberá ser al ras con la superficie del metal base mínimo a $1/8''$, 3,2 mm máximo.
- Preparar las muestras y someterlas a la prueba de flexión
 - Nota: grabar la identificación del soldador en dos áreas que serán guardadas para la prueba.
 - Cortar con soplete la pieza de trabajo, tal como se muestra.
 - Guardar dos franjas de muestra para la prueba de solidez.
 - Esmerilar ambas superficies de la soldadura al ras con la plancha. Conservar el espesor de la plancha de $1/8''$, 3.2 mm. No quitar metal base.
 - Doblar cada franja en una planilla de doblado guiado.
 - Un lado de la raíz de la franja hacia arriba: otro lado de la cara de la franja hacia arriba.

Figura 57. **Preparación de la pieza soldada para la prueba de doblado guiado**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 40.

Norma de aceptabilidad: la muestra de doblado guiado no deberá tener defectos abiertos que excedan de $\frac{1}{8}$ " , 3,2 mm, medidos en cualquier dirección en la superficie convexa de la muestra después de la flexión. No se tomarán en cuenta las grietas que ocurren en las esquinas de la muestra durante la prueba, a menos que haya indicio definitivo de que fueron el resultado de inclusiones de tungsteno u otros defectos internos.

Analizar los resultados de la prueba, y consultar con el instructor.

6. LABORATORIO SOLDADURA EN ACERO INOXIDABLE

6.1. Soldadura de ranura cuadrada – junta a tope – posición plana con metal de aporte sin y con pulsación

El objetivo es lograr la habilidad requerida para producir soldaduras de ranura cuadrada de alta calidad en acero inoxidable de 1/16" o 1,6 mm, de espesor en posición plana.

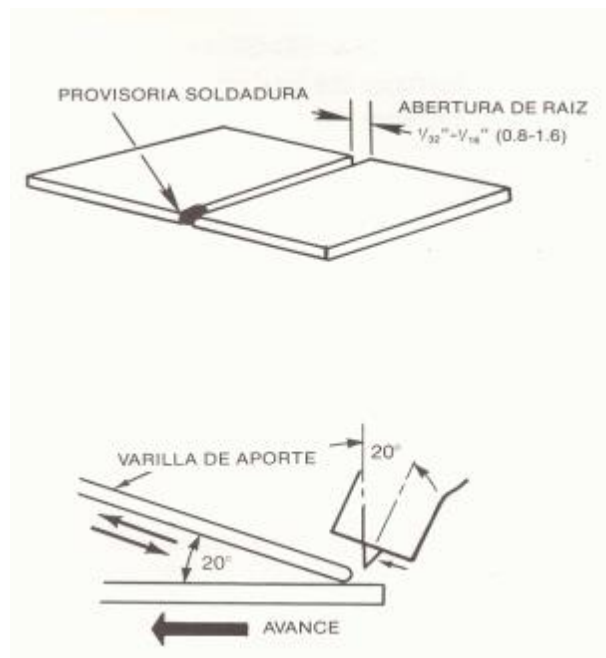
6.1.1. Procedimiento

- Preparar la máquina.
 - Polaridad: CC electrodo negativo, polaridad directa.
 - Amperaje: 35-45.
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.
 - Alta frecuencia: automática.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 50.
 - Prolongación del electrodo de tungsteno: 1 a 2 diámetros del electrodo.

- Colocar en posición el material y soldar provisoriamente.
 - Colocar en posición dos pedazos de acero inoxidable para formar una junta a tope con una abertura de raíz máxima de 1/32" a 1/16", 0,8 a 1,6 mm.
 - La varilla de metal de aporte no debe caber a través de la abertura de raíz después de soldar provisoriamente.

- Hacer un punto de soldadura provisoria en un extremo de la pieza de trabajo, con metal de aporte.
- Colocar en posición la pieza de trabajo para soldadura en posición plana.

Figura 58. **Colocación de la pieza de trabajo para soldadura en posición plana**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 47.

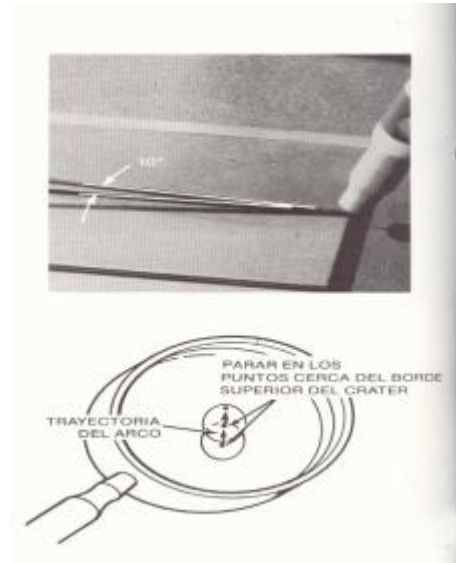
- Soldar la junta a tope sin pulsación.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar la pistola con un ángulo de trabajo de 90° y un ángulo de avance de empuje de 15-20°.

- Colocar en posición la varilla de metal de aporte a 20° de la pieza de trabajo sin ángulo lateral.
- Sostener fija la varilla de aporte y mover uniformemente la pistola.
- Mover uniformemente para producir una cara del cordón de un ancho del diámetro del electrodo.
- Un cordón correctamente depositado tendrá el color de cobre en la cara y una penetración completa de la junta.

- Preparar la máquina para soldar con pulsación.
 - Pulsación: conectada.
 - % de corriente de soldadura: 33.
 - Amperaje: 45-50 – espesor 1/16", 1,6 mm.
 - Tiempo de pulso alto: 4, 0,5 segundos.
 - Tiempo de pulso bajo: 4, 0,5 segundos.

- Soldar la junta a tope con pulsación.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar la pistola igual a la sección anterior sin pulsación
 - Colocar en posición la varilla de metal de aporte a 20° de la pieza de trabajo sin ángulo lateral.

Figura 59. **Soldadura de la junta a tope con pulsación**

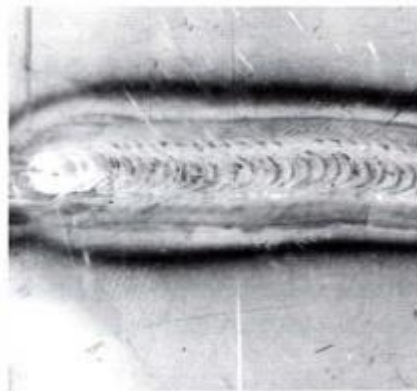


Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 48.

- Iniciar el arco.
- Usar la técnica de colocación de alambre.
- Aplicar presión a la varilla de metal de aporte para mantener el extremo de la varilla apretado contra la junta, tal como se muestra.
- Mover la pistola a lo largo de la junta para fundir completamente la varilla de metal de aporte y penetrar la junta.
- Mover la pistola hacia delante al borde del cráter durante el tiempo de pulso bajo o cuando se atenúe el arco.
- Mantener inmóvil hasta completar el tiempo de pulso alto, luego moverlo hacia adelante durante el tiempo de pulso bajo.
- El tiempo de pulso alto es el tiempo cuando la corriente está en su valor más alto, el tiempo de pulso bajo es aquel en que la corriente está en el valor más bajo.

- Mantener el ángulo apropiado de la varilla de metal de aporte. Continuar bajando la varilla para ajustar el ángulo a medida que se avanza a lo largo de la junta.

Figura 60. **Cordón de soldadura terminada**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 49.

La soldadura terminada tendrá un color cobrizo. Su ancho será aproximadamente un diámetro del electrodo y se verá como una hilera de puntos traslapados.

Inspeccionar la soldadura y continuar practicando.

6.2. Soldadura de filete – junta de traslapo – posición horizontal sin y con metal de aporte

El objetivo es adquirir la habilidad para producir soldaduras de filete de junta de traslapo de buena calidad en acero inoxidable espesor 1/16", 1,6 mm, en posición horizontal.

6.2.1. Procedimiento

- Preparar la máquina.
 - Polaridad: CC electrodo negativo, polaridad directa.
 - Amperaje: 35-45.
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.
 - Alta frecuencia: automática.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 50.
 - Prolongación del electrodo de tungsteno: 1 a 2 diámetros del electrodo.

- Colocar en posición el material y soldar provisoriamente.
 - El primer ejercicio de soldadura se hará sin metal de aporte.
 - Colocar dos trozos de acero inoxidable para formar una junta de traslapo.
 - Traslapar las planchas en 1/16", 1,6 mm tal como se muestra.
 - Soldar provisoriamente las planchas a través de ambos extremos, mientras se sostienen las planchas juntas para proveer una junta apretada.
 - Colocar la pieza de trabajo en posición horizontal.

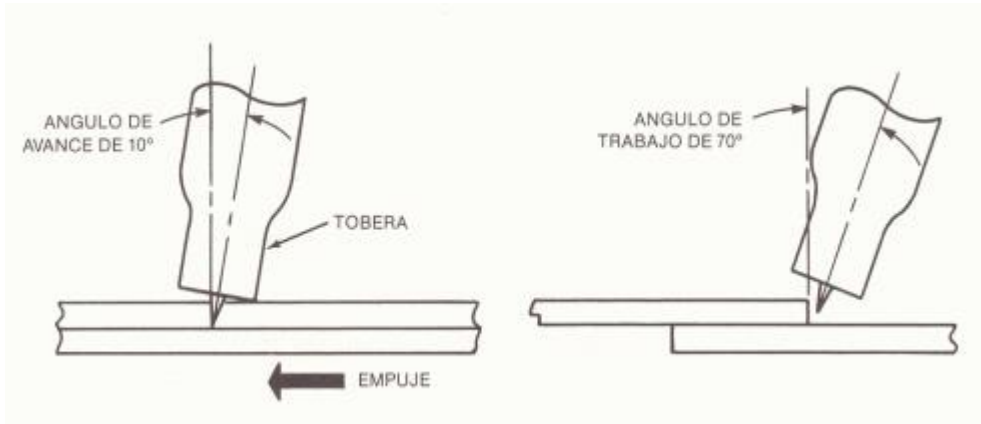
Figura 61. **Colocación de piezas de trabajo en posición para soldadura de filete de junta de traslape**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 51.

- Soldar la junta de traslape sin metal de aporte.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar la pistola con un ángulo de trabajo de 70° y uno de avance de empuje de 10°.
 - Centrar el electrodo en el borde superior de la plancha.

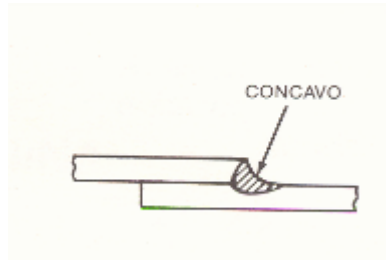
Figura 62. **Ángulo de avance y de trabajo en soldadura de filete en junta de traslape**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 51.

- Moverse suave y uniformemente a lo largo de la junta para fundir el borde superior.
- Mantener la longitud del arco lo más corta posible sin contaminar el tungsteno.
- El cordón terminado debe mostrar un color cobrizo, tener un ancho de aproximadamente un diámetro del electrodo y ser entre plano y ligeramente convexo.

Figura 63. **Cordón terminado de geometría cóncava**

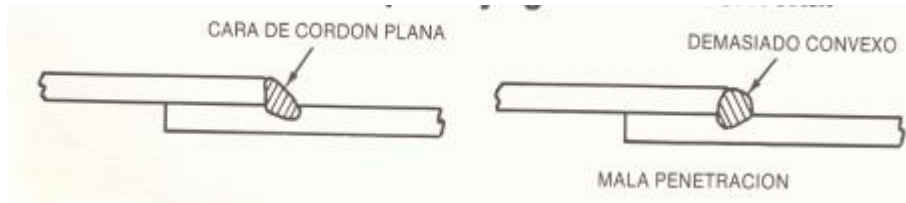


Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 52.

Si el electrodo se dirige a la V de la junta, se producirá socavadura y un cordón de soldadura cóncavo.

- Soldar la junta de traslape con metal de aporte.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar la pistola de la misma manera indicada en la sección anterior excepto que se debe centrar el electrodo en la raíz de la junta.
 - Sostener la varilla de metal de aporte a 20° de la pieza de trabajo con un ángulo lateral de 20° .
 - Sostener fija la varilla de aporte en la raíz de la junta.
 - Fundir el metal de aporte en la raíz y costados de la junta.
 - Usar la técnica de colocación de alambre.
 - La cantidad apropiada de calor de metal de aporte producirá una cara plana y ligeramente convexa.

Figura 64. **Cara de cordón plana y cara demasiado convexa**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 52.

La cara terminada del cordón debe tener un ancho de 1 diámetro del electrodo.

- Soldar la junta de traslapo con pulsación (opcional).
 - Prepara la máquina con pulsación.
 - Usar la misma posición de la pistola y varilla de metal de aporte empleadas en las secciones anteriores.
 - Aplicar la misma técnica de soldadura de corriente pulsada descrita para producir una soldadura de filete de buena calidad.
 - La soldadura terminada tendrá un ancho de aproximadamente un diámetro del electrodo, de color cobrizo y una apariencia de puntos traslapados.

6.3. Soldadura de filete junta de esquina exterior posición plana sin y con metal de aporte

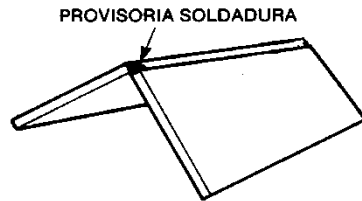
El objetivo es adquirir la habilidad para producir soldaduras de filete de junta de esquina exterior de buena calidad en acero inoxidable de 1/16" o 1,6 mm, de espesor en posición plana.

6.3.1. Procedimiento

- Prepara la máquina.
 - Polaridad: CC electrodo negativo, polaridad directa.
 - Amperaje: 35-45 calibre 16.
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.
 - Alta frecuencia: automática.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 50.
 - Prolongación del electrodo de tungsteno: 1 diámetro del electrodo.
 - Flujo de gas: 20 pie³/hr.

- Colocar en posición el material y soldar provisoriamente.
 - Colocar en posición dos trozos de acero inoxidable para forma una junta de esquina. Hacer un punto de soldadura provisoria en un extremo de la junta de esquina sin metal de aporte.
 - Para reducir la posibilidad de perforación por fusión es crítico que la junta esté bien apretada.
 - Colocar la pieza de trabajo en posición plana con la soldadura provisoria a la izquierda si se está trabajando con la mano derecha.

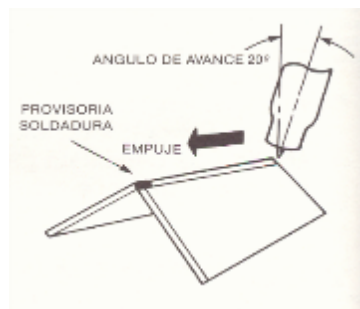
Figura 65. **Soldadura provisoria de una junta de esquina exterior sin material de aporte**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 57.

- Soldar la junta de esquina exterior sin metal de aporte.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar la pistola con un ángulo de trabajo de 90° y uno de avance de empuje de 20° .

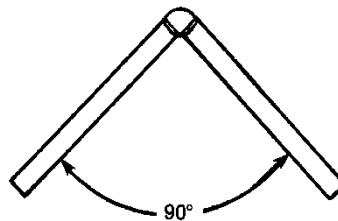
Figura 66. **Posición de pistola para soldadura de junta esquina exterior sin material de aporte**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 57.

- Avanzar suavemente a lo largo de la junta para producir un cordón plano con cara de un ancho de 1 diámetro del electrodo.
- Debe existir buena fusión a lo largo de los bordes de la junta sin socavadura.
- Se debe formar un pequeño refuerzo de raíz en el lado de raíz para penetración completa.

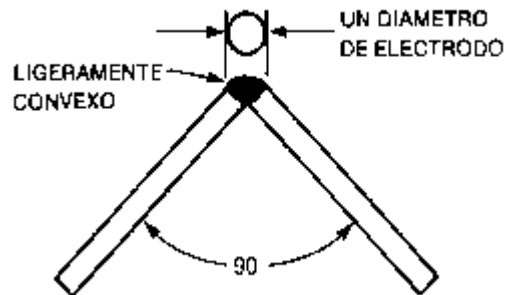
Figura 67. **Soldadura de buena fusión sin socavadura**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 57.

- Soldar la junta de esquina exterior con metal de aporte.
 - Soldar provisoriamente igual a la sección sin metal de aporte.
 - Colocar la pistola tal como se hizo en la sección anterior.
 - Colocar en posición la varilla de metal de aporte a 20° hacia arriba de la pieza de trabajo sin ángulo lateral.
 - Usar la técnica de colocación de alambre para producir una cara de cordón de un ancho de un diámetro de electrodo y ligeramente convexa.
 - El cordón de soldadura debe tener un color cobrizo.

Figura 68. **Ancho del cordón de una y media vez que la del electrodo**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 58.

- Soldar la junta de esquina con corriente pulsada, opcional.
 - Prepara la máquina para pulsación.
 - Usar la misma posición de la pistola y varilla de aporte que en la sección anterior.
 - Usar la misma técnica de soldadura pulsada descrita.

6.4. Soldadura de filete junta en T posiciones horizontal y vertical, ascendente con metal de aporte

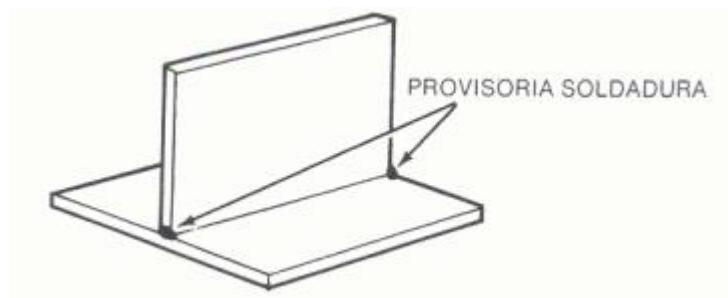
El objetivo es adquirir la habilidad para producir soldaduras de filete de junta en T de buena calidad en acero inoxidable espesor 1/16", 1,6 mm, en posiciones horizontal y vertical ascendentes.

6.4.1. Procedimiento

- Preparar la máquina.
 - Polaridad: CC electrodo negativo, polaridad directa.

- Amperaje: 35-45 1/16", 1,6 mm.
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.
 - Alta frecuencia: automática.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 50.
 - Medida del caudal de gas: 20 pies³/hr.
 - Prolongación del electrodo de tungsteno: 1 a 2 diámetros del electrodo.
- Colocar en posición el material y soldar provisoriamente.
 - Colocar en posición dos trozos de acero inoxidable para formar una junta en T.
 - Soldar provisoriamente cada extremo.
 - Colocar la pieza de trabajo en posición horizontal.

Figura 69. **Posición provisoria de una junta en T**

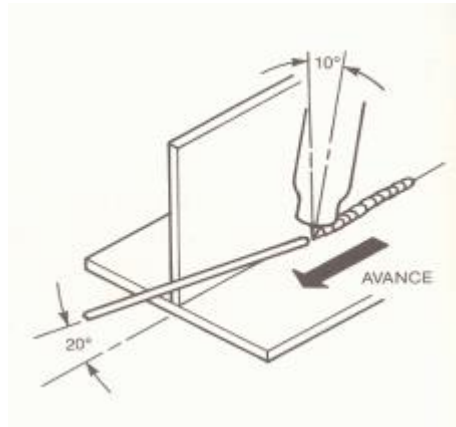


Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 61.

- Soldar la junta en T en posición horizontal.
 - Depositar el cordón de soldadura.

- Colocar la pistola con un ángulo de trabajo de 45° y un ángulo de avance de empuje de 10° .
- Colocar la varilla de metal de aporte a 20° de la plancha inferior y 20° de la plancha vertical.

Figura 70. **Ángulo de pistola y varilla de aporte en soldadura de junta en T**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 62.

- Iniciar el arco y avanzar uniformemente la pistola a lo largo mientras se mantiene fija la varilla de aporte.
- Asegurarse de mantener la longitud del arco de un largo de $1/16''$, 1,6 mm, consistente.
- Avanzar uniformemente el soplete para producir una cara del cordón de un ancho de 1 diámetro del electrodo.
- El cordón terminado debe ser plano y de color cobrizo.

- Soldar la junta en T en posición vertical ascendente.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar la pistola con un ángulo de trabajo de 45° y uno de avance de empuje de 20°.
 - Apuntar el electrodo en la raíz de la junta.
 - Colocar en posición la varilla de metal de aporte igual a la soldadura de la junta en T en posición horizontal.
 - Usar la técnica de colocación de alambre para producir una cara del cordón plana de un ancho de un diámetro del electrodo.
 - El cordón debe tener el contorno y colocación apropiados.

- Soldar la junta en T con pulsación, opcional.
 - Preparar la máquina para pulsación.
 - Usar la misma posición de la varilla de metal de aporte y pistola que en la sección anterior, horizontal y vertical.
 - Usar la misma técnica de soldadura y corriente pulsada.

6.5. Inspección visual de acero inoxidable

El objetivo es soldar una junta a tope y de esquina en posición plana y una junta de traslapo en posición horizontal, que cumplan con las normas de aceptabilidad requeridas para pasar la inspección visual en acero inoxidable. Se debe grabar la identificación del soldador en las seis planchas de acero inoxidable, preparar una junta de tope, de solape y de esquina de la misma manera descrita en los temas respectivos

6.5.1. Procedimiento

- Inspección visual

Figura 71. **Inspección visual**

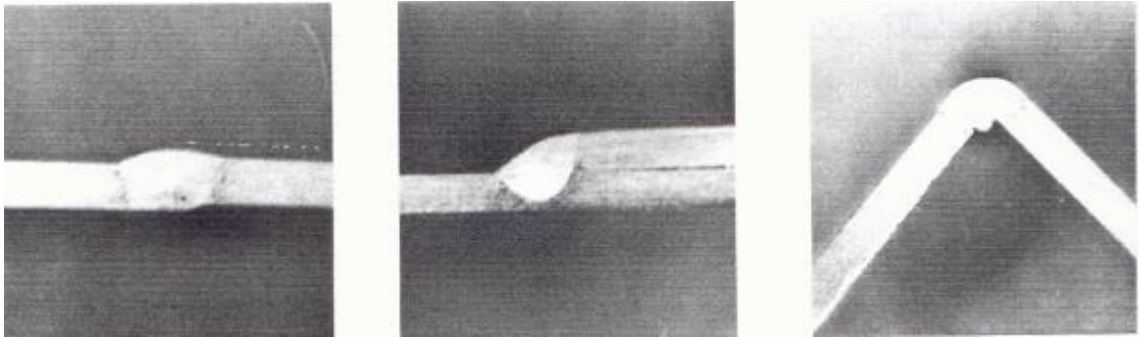


Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig.*
p. 57.

Una soldadura será aceptada después de la inspección visual solo si cumple con los siguientes requisitos.

- Si muestra no tener grietas.

Figura 72. **Muestra de soldadura de varias juntas**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 60.

- Si no tiene indicios de una penetración incompleta de la junta.
- Si muestra que hay fusión completa entre el metal de soldadura y el metal base.
- Si muestra no tener inclusiones de tungsteno.
- Si la porosidad no excede de un máximo de 1/16" o 1,6 mm y no tiene más de un total acumulado de 1/8" o 3,2mm en cualquier pulgada cuadrada de soldadura.
- Si el refuerzo de la cara y de la raíz no excede la dimensión especificada y muestra una transición gradual a la superficie de metal base. Cualquier refuerzo debe entremezclarse suavemente en la plancha, tubo o superficie previamente soldada con las áreas de transición sin indentación marginal en el borde de la soldadura.

- Refuerzo de la raíz: deberá ser al ras con la superficie del metal base mínimo a $1/16''$, 1,6 mm, máximo.
- Refuerzo de la cara: deberá ser al ras con la superficie del metal base mínimo a $1/8''$, 3,2 mm, máximo.

7. LABORATORIO SOLDADURA EN ALUMINIO

Práctica: soldadura tig en metal base de aluminio

7.1. Cordón reforzador posición plana con metal de aporte

El objetivo es familiarizar al alumno con la manipulación de la pistola y varilla de metal de aporte y control de corriente para producir soldaduras en aluminio de 0,125”.

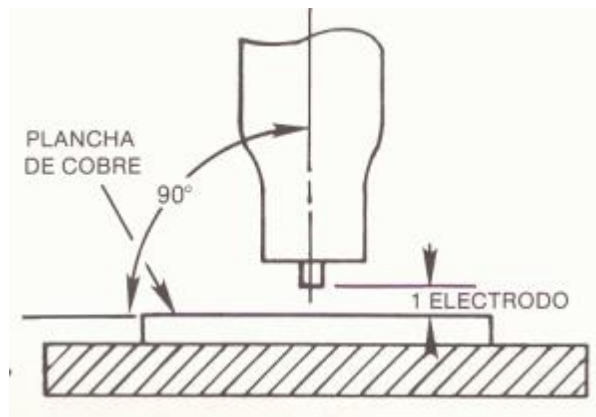
7.1.1. Procedimiento

- Preparar la máquina.
 - Corriente: CA.
 - Amperaje: 140-150.
 - Control remoto de corriente de soldadura: conectado.
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.
 - Alta frecuencia: continua.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 70.
 - Caudal de gas: 20 pies³/hr.
 - Prolongación del electrodo de tungsteno: 1 a 2 diámetros del electrodo.

- Colocar en posición el material.
 - Escobillar bien la plancha de aluminio con una escobilla de alambre para quitar el óxido de la superficie.

- Colocar la plancha de aluminio sobre la mesa en posición plana.
- Soldar con metal de aporte.
 - Prepara la punta de tungsteno.
 - Para esferizar el electrodo sostener la pistola. Mantener la longitud del arco de 1 diámetro del electrodo. Apretar el pedal para iniciar el arco.
 - Dejar que se redondee el extremo para formarlo y detener el arco.

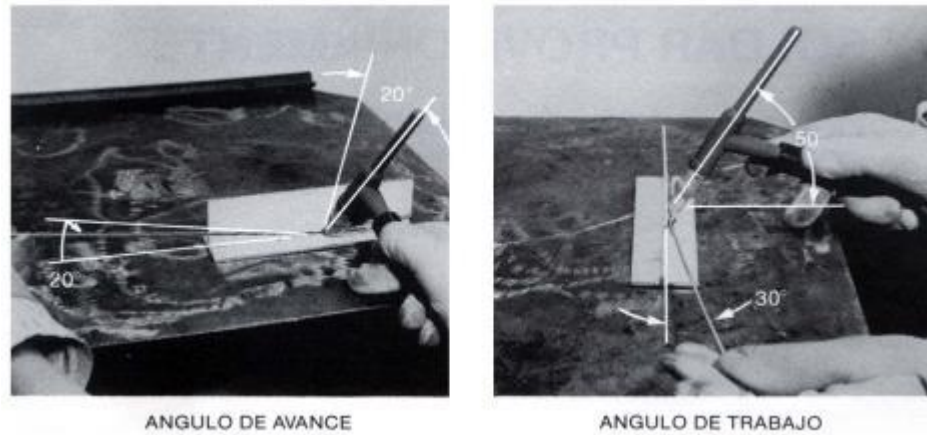
Figura 73. **Método para esferizar el electrodo de tungsteno**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 65.

- Colocar en posición la pistola.
- Avanzar la pistola a un ángulo de trabajo de 90° y uno de avance de empuje de 20° .
- Bajarse la máscara antes de iniciar el arco.
- Iniciar el arco apretando el pedal. Continuar apretando el pedal lo suficiente para fundir y formar un baño de $\frac{1}{4}$ pulgada, 6,4 mm.

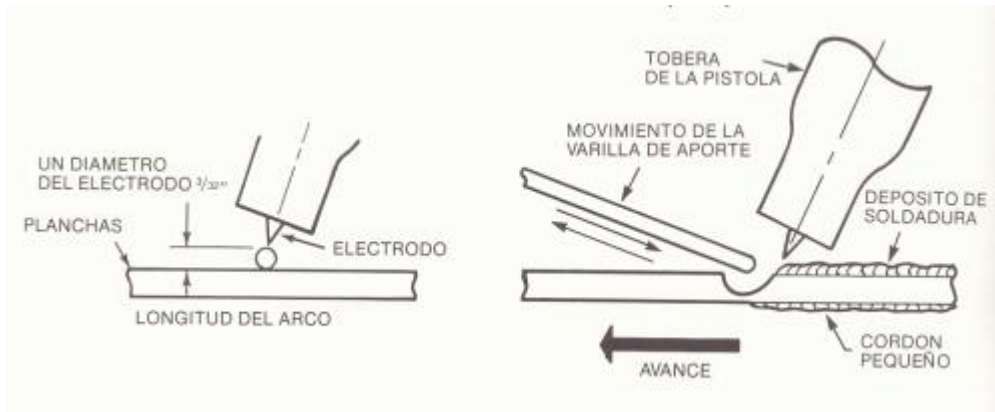
Figura 74. **Ángulo de avance y de trabajo en posición plana con material de aporte**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 65.

- Avanzar la pistola a un ángulo de trabajo de 90° y uno de avance de empuje de 20° .
- Sostener la varilla de metal de aporte a 20° de la pieza de trabajo sin ángulo lateral.
- Depositar el cordón de soldadura.
- Meter y sacar la varilla de aporte del baño de soldadura. Tocar la varilla en el ángulo anterior del baño a medida que aparece el borde.

Figura 75. **Método para depositar el cordón de soldadura**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 66.

- Mantener la longitud del arco de un ancho de 1 diámetro del electrodo. Avanzar a la velocidad para producir un ancho del cordón de 3 diámetros del electrodo.
- Terminar la soldadura.
- Asegurarse de llenar el cráter. Reducir el amperaje. Agregar más varilla de aporte al baño hasta llenar el cráter. Quitar la varilla. Continuar reduciendo el amperaje hasta que se congele el baño.

Figura 76. **Llenado de cráter en la terminación del cordón de soldadura**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 66.

- La soldadura terminada debe ser uniformemente ondulada, lisa y mantener la penetración completa con una cara ligeramente convexa.

7.2. Soldadura de ranura cuadrada junta a tope posición plana con metal de aporte.

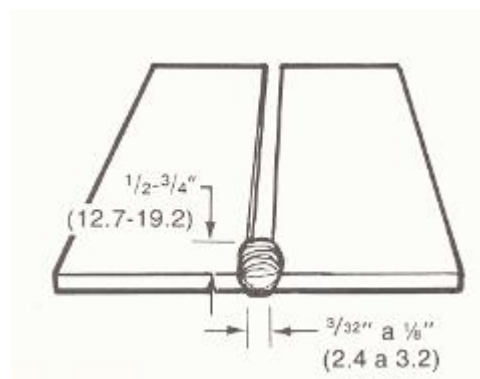
El objetivo es producir soldaduras de ranura cuadrada de buena calidad en aluminio de 0,125" en posición plana

7.2.1. Procedimiento

- Preparar la máquina.
 - Corriente: CA.
 - Amperaje: 140-150.
 - Control remoto de corriente de soldadura: conectado.
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.

- Alta frecuencia: continua.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 70.
 - Caudal de gas: 20 pies³/hr.
 - Prolongación del electrodo de tungsteno: 1 a 2 diámetros del electrodo.
- Colocar en posición el material y soldar provisoriamente.
 - Colocar en posición dos trozos de aluminio limpio para formar una junta a tope.
 - Separa las planchas 3/32" a 1/8", 2,4 a 3,2 mm aparte en posición plana.
 - Soldar provisoriamente un extremo usando varilla de aporte.
 - Depositar la soldadura provisoria de 1/2 " a 3/4 " , 12,7 a 19,2 mm.
 - Realignar la junta, si fuera necesario.
 - La soldadura provisoria debe quedar a la izquierda del soldador que está trabajando con la mano derecha.

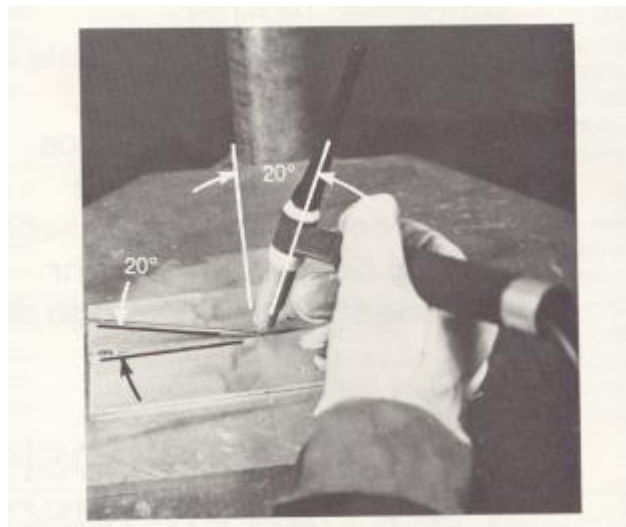
Figura 77. **Dimensiones del cordón provisorio en una junta a tope**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 70.

- Soldar con metal de aporte.
 - Depositar el cordón de soldadura, contrario a la soldadura provisoria.
 - Sostener la pistola con un ángulo de trabajo de 90° y un ángulo de avance de empuje de 20° .
 - Sostener la varilla de aporte a 20° de la mesa sin ángulo lateral.

Figura 78. **Avance del cordón de soldadura contrario a la soldadura provisoria**

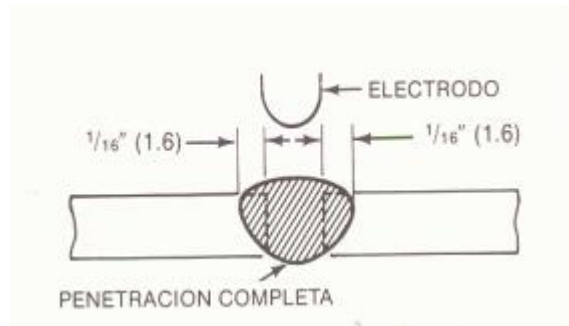


Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura* fig. p. 70.

- Iniciar el arco y soldar para terminar la junta.
- Iniciar el arco y soldar para terminar la junta.
- Sumergir el alambre de aporte en el borde anterior del baño de soldadura.
- Fundir $1/16''$, 1,6 mm, de los bordes de la plancha.

- Disminuir gradualmente el amperaje y llenar el cráter al final de la soldadura.
- Revisar que la soldadura tenga penetración completa, ondulación uniforme y bordes lisos.

Figura 79. **Muestra de una soldadura con penetración completa en una junta a tope**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 70.

7.3. Soldadura de filete junta de traslape posición horizontal con metal de aporte

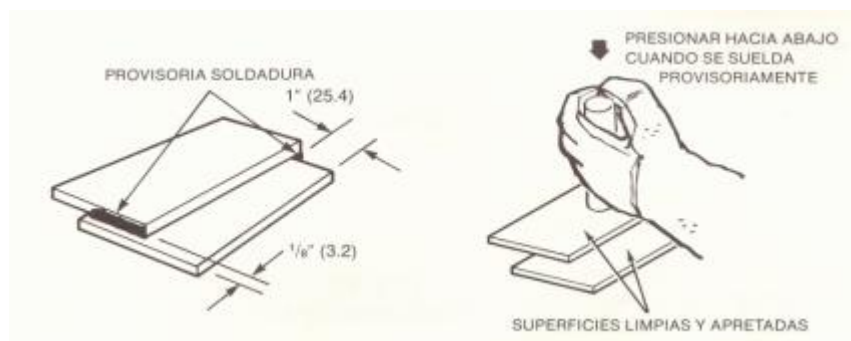
El objetivo es lograr la habilidad para producir soldaduras de filete de junta de traslape de buena calidad en aluminio de 0.125" en posición horizontal.

7.3.1. Procedimiento

- Preparar la máquina.
 - Corriente: CA.
 - Amperaje: 140-150.

- Control remoto de corriente de soldadura: conectado.
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.
 - Alta frecuencia: continua.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 70.
 - Caudal de gas: 20 pies³/hr.
 - Prolongación del electrodo de tungsteno: 1 a 2 diámetros del electrodo.
- Colocar en posición el material y soldar provisoriamente.
 - Limpiar con una escobilla de alambre las planchas para quitar el óxido de superficie.
 - Colocar en posición dos planchas para formar una junta de traslape.
 - Traslapar las planchas en 1/8 pulgada, 3,2 mm, tal como se muestra.

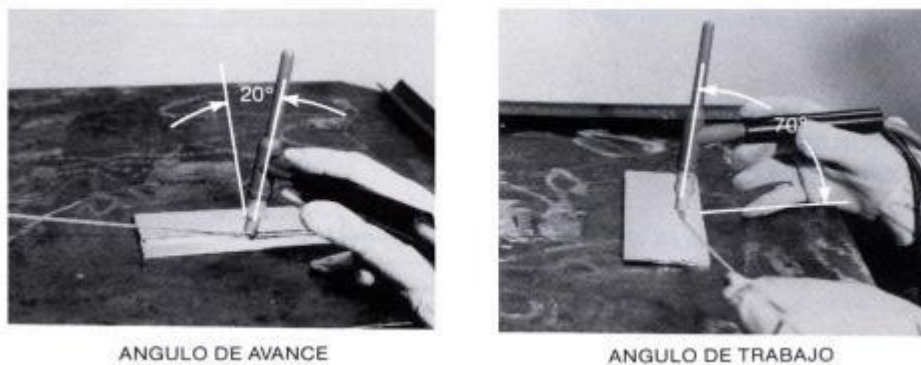
Figura 80. **Soldadura provisoria de una junta de traslape**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura* fig. p. 75.

- Dejar por lo menos 1 pulgada, 25,4 mm, de la plancha inferior expuesta.
 - Soldar provisoriamente a todo el largo de cada extremo.
 - Colocar la junta de traslape plana sobre la mesa para soldar en posición horizontal.
- Soldar con metal de aporte.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Iniciar el arco y formar el baño de soldadura.
 - Colocar la pistola con un ángulo de avance de 20° , de empuje y un ángulo de trabajo de 70° . Soldar de derecha e izquierda.
 - Sostener la varilla de aporte 20° , hacia arriba de la mesa con 10° de ángulo lateral.

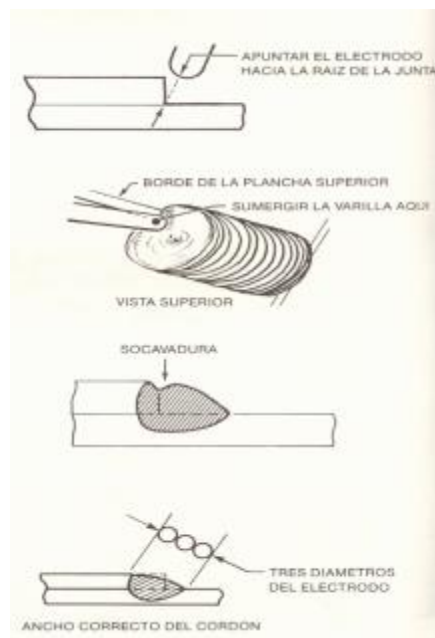
Figura 81. **Ángulo de avance y de trabajo con material de aporte en una soldadura de traslape**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 75.

- Centrar el electrodo en la raíz de la junta. Mantener la longitud del arco de un ancho de 1 diámetro del electrodo para impedir la socavadura y tener una penetración completa.
- Meter y sacar la varilla de aporte del baño. Asegurarse de agregar suficiente varilla de aporte para impedir socavadura.
- Avanzar a una velocidad que produzca un ancho de cordón de 3 veces el diámetro del electrodo.
- Disminuir lentamente el amperaje mientras que se rellena el cráter al final de la soldadura.
- El cordón debe ser convexo, con bordes lisos y ondulaciones uniformes.
- Revisar que no haya socavadura.

Figura 82. **Recomendaciones para soldaduras en juntas de traslape**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. Programa de entrenamiento de soldadura tig. p. 70.

Figura 83. **Geometría del cordón en soldadura junta de traslape**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 77.

7.4. **Soldadura de filete junta de esquina exterior posición plana con metal de aporte**

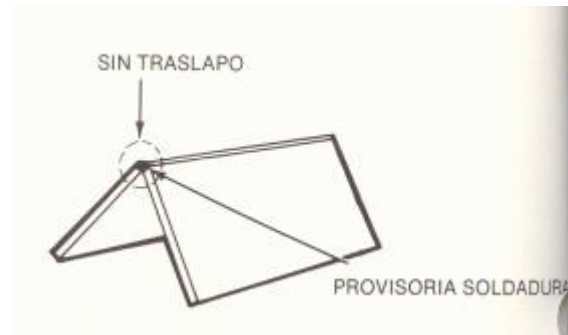
El objetivo es adquirir la habilidad para producir soldaduras de filete de junta de esquina exterior de buena calidad en aluminio en posición plana.

7.4.1. **Procedimiento**

- Prepara la máquina.
 - Corriente: CA.
 - Amperaje: 140-150.
 - Control remoto de corriente de soldadura: conectado.
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.
 - Alta frecuencia: continua.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 70.
 - Caudal de gas: 20 pies³/hr.
 - Prolongación del electrodo de tungsteno: 1 diámetro del electrodo.

- Colocar en posición el material y soldar provisoriamente.
 - Colocar en posición dos planchas para formar la junta de esquina.

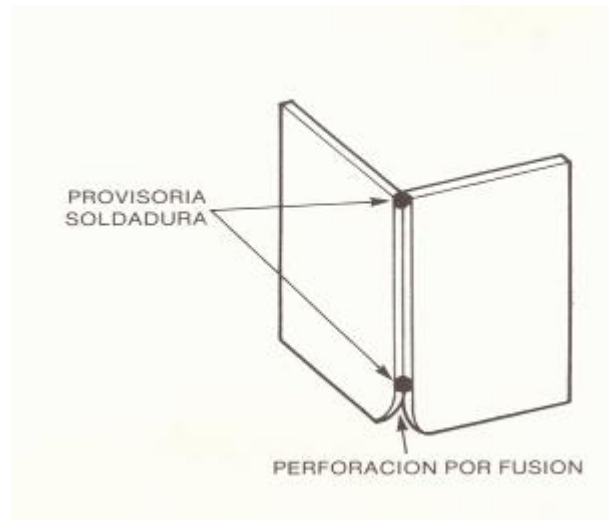
Figura 84. **Soldadura provisoria en una junta de esquina**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig.* p. 78.

- Sin traslape.
- Soldar provisoriamente un extremo.
- Asegurarse que la junta esta apretada si no se producirá perforación por fusión durante el punteo.
- Colocar la pieza de trabajo en posición plana con la soldadura provisoriamente hacia la izquierda cuando se trabaja con la mano derecha.

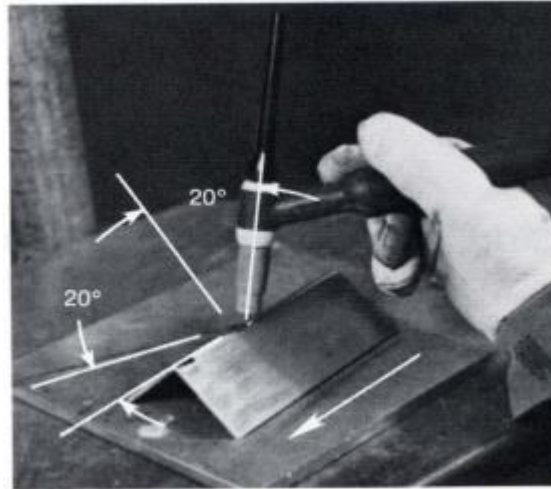
Figura 85. **Perforación por fusión por mala sujeción de piezas**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 79.

- Soldar con metal de aporte.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar la pistola con un ángulo de trabajo de 90° y un ángulo de avance de empuje de 20° .
 - Centrar la varilla de aporte a lo largo de la junta de esquina con un ángulo de 20° , tal como se muestra.

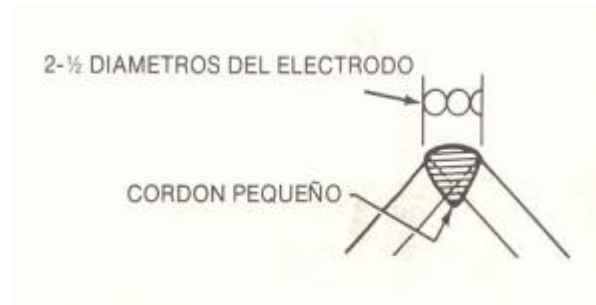
Figura 86. **Colocación de la pistola para soldadura en junta de esquina**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura* fig. p. 79.

- Asegurarse de no dejar caer el ángulo de la pistola debajo de 70° o, de lo contrario se aplicará demasiado calor al metal de aporte, haciendo que se funda delante del baño.
- Usar prolongación de 1 diámetro del electrodo.
- Meter y sacar la varilla de metal de aporte del borde anterior del baño.
- Mantener la longitud del arco lo más corta posible para proveer buena protección de gas y penetración.
- No tocar el electrodo con el metal de aporte o si no se contaminara el tungsteno.
- El ancho del cordón debe ser igual a $2 \frac{1}{2}$ veces el diámetro del electrodo.
- Si la soldadura es buena en la parte de atrás aparecerá un cordón pequeño.

Figura 87. **Ancho del cordón de soldadura**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura* fig. p. 80.

7.5. Soldadura de filete junta en T posición horizontal con metal de aporte

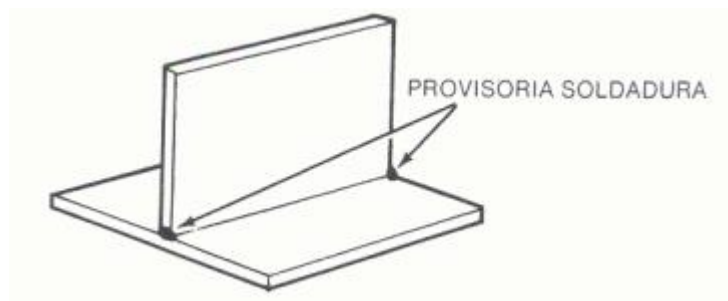
El objetivo es desarrollar la habilidad para producir soldaduras de filete de junta en T de buena calidad en aluminio de 0,125" en posición horizontal.

7.5.1. Procedimiento

- Prepara la máquina.
 - Corriente: CA.
 - Amperaje: 140-150.
 - Control remoto de corriente de soldadura: conectado.
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.
 - Alta frecuencia: continua.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 70.
 - Caudal de gas: 20 pies³/hr.

- Prolongación del electrodo de tungsteno: 2 a 3 diámetros del electrodo.
- Colocar en posición y soldar provisoriamente.
 - Colocar en posición dos planchas para formar una junta en T.
 - Soldar provisoriamente, tal como se muestra sin varilla de aporte.
 - Colocar la junta soldada provisoriamente plana sobre la mesa para soldar en posición horizontal.

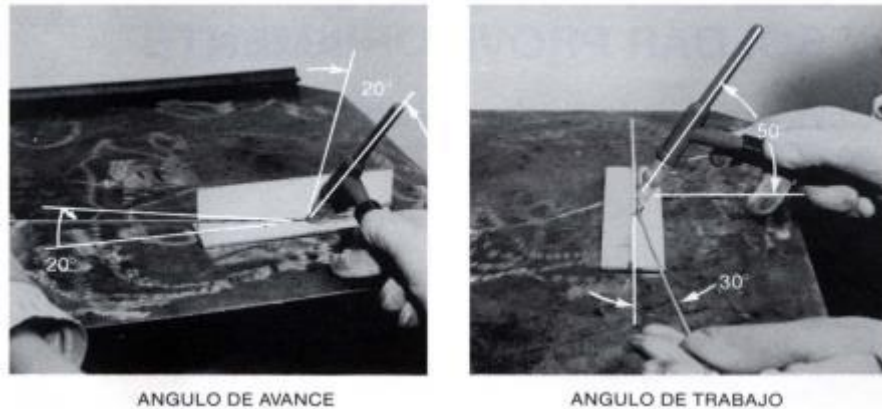
Figura 88. **Soldadura provisoria para soldadura en junta en T**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura* fig. p. 82.

- Soldar la junta en T.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar la pistola en un ángulo de trabajo de 45° y un ángulo de avance de empuje de 20° .
 - Sostener la varilla de aporte a 20° hacia arriba de la mesa y un ángulo lateral de 30° .

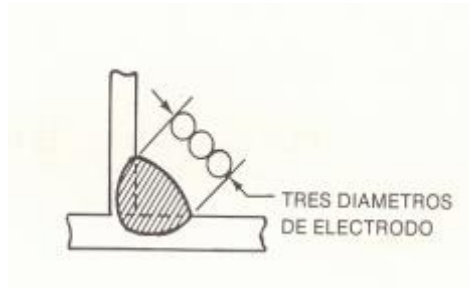
Figura 89. **Angulo de avance y de trabajo en una soldadura de junta en T**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 82.

- Iniciar el arco y avanzar uniformemente a lo largo de la junta.
- Meter y sacar el metal de aporte del borde anterior del baño.
- Mantener una longitud máxima del arco igual a un diámetro del electrodo.
- Si la longitud del arco es demasiado larga, la varilla de aporte se derretirá delante del baño.
- Una longitud de arco corta produce penetración profunda e impide la socavadura.
- Avanzar a una velocidad que produzca una cara de cordón de un ancho 3 veces el diámetro del electrodo.

Figura 90. **Ancho del cordón de soldadura en una junta en T**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura* fig. p. 83.

Meter más varilla en el baño que lo que se hizo al soldar la junta de traslapo.

7.6. Soldadura de filete junta de esquina exterior posición vertical

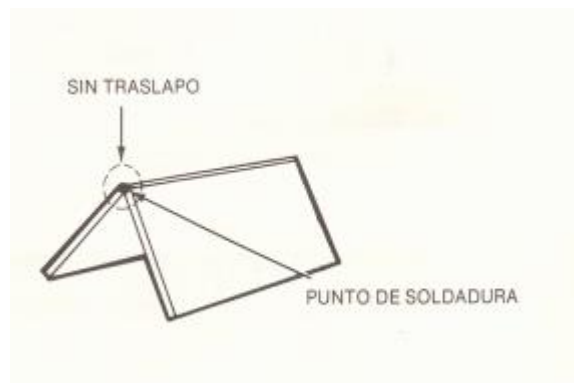
Objetivo: desarrollar la pericia para producir una soldadura de filete consistente sin defectos en una junta de esquina exterior en aluminio en posición vertical.

7.6.1. Procedimiento

- Prepara la máquina.
 - Corriente: CA.
 - Amperaje: 140-150.
 - Control remoto de corriente de soldadura: conectado.
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.
 - Alta frecuencia: continua.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 70.

- Caudal de gas: 20 pies³/hr.
- Prolongación del electrodo de tungsteno: 1 diámetro del electrodo.
- Colocar en posición el material y soldar por puntos.
 - Colocar en posición dos planchas para formar una junta de esquina.
 - Soldar por puntos en un extremo, tal como se muestra.

Figura 91. **Puntos de soldadura en una junta de esquina exterior**

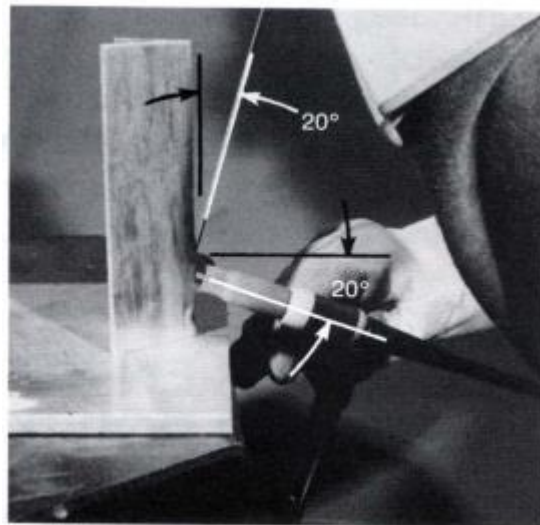


Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura* fig. p. 87.

- Limpiar los bordes de la pieza de trabajo para soldarla.
- Colocar la pieza de trabajo en posición vertical.
- El punto de soldadura debe estar encima.
- Soldar con metal de aporte.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Colocar el soplete con un ángulo de trabajo de 90° y un ángulo de avance de empuje de 10-20°.

- Centrar el metal de aporte encima de la junta a 20° de la pieza de trabajo.
- Avanzar verticalmente desde abajo hacia arriba.
- Meter y sacar el metal de aporte del borde anterior del baño.
- Observar que el baño se hunda ligeramente, luego agregar el metal de aporte y avanzar.

Figura 92. **Soldadura vertical ascendente en una junta de esquina exterior**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 88.

Asegurarse de rellenar el baño de soldadura al final de cordón de soldadura. El cordón de soldadura terminado debe ser ligeramente convexo y tener un ancho de dos diámetros del electrodo.

7.7. Soldadura de filete junta en T posición vertical

El objetivo es desarrollar la pericia para producir soldaduras de filete de catetos iguales en plancha de aluminio delgada en posición vertical.

7.7.1. Procedimiento

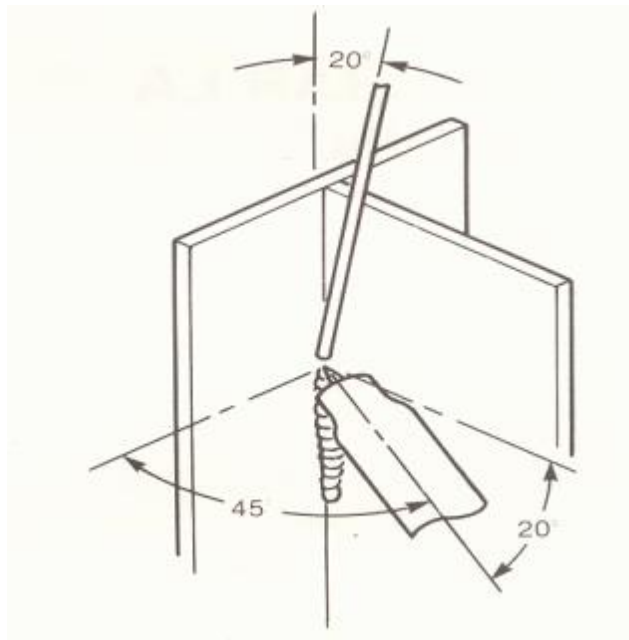
- Preparar la máquina.
 - Corriente: ca.
 - Amperaje: 140-150.
 - Control remoto de corriente de soldadura: conectado.
 - Iniciación en caliente: 4.
 - Postpurga: 10-15 segundos.
 - Alta frecuencia: continua.
 - Ajuste de control de alta frecuencia: 70.
 - Caudal de gas: 20 pies³/hr.
 - Prolongación del electrodo de tungsteno: 2 a 3 diámetros del electrodo.

- Colocar en posición el material y soldar por puntos.
 - Colocar en posición las planchas para formar una junta en T.
 - Soldar por puntos en cada extremo.
 - Limpiar con una escobilla de alambre las planchas para eliminar los contaminantes.
 - Colocar la pieza de trabajo en posición vertical.

- Soldar con metal de aporte.
 - Depositar el cordón de soldadura.
 - Depositar el cordón de soldadura de abajo hacia arriba.

- Colocar la varilla de metal de aporte a 20° de la junta.
- Colocar el soplete con un ángulo de trabajo de 45° y un ángulo de avance de empuje de 20°.

Figura 93. **Soldadura vertical ascendente en una junta en T**



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 90.

- Avanzar suavemente desde abajo hacia arriba.
- Mantener el ángulo apropiado del soplete a medida que se avanza para evitar dirigir demasiado calor sobre el metal de aporte.
- Meter el metal de aporte en el borde anterior del baño.
- Mantener una longitud del arco de un ancho igual a un diámetro del electrodo para impedir que el metal se combe.
- El cordón de soldadura terminado debe ser parecido a la junta en T soldada en posición horizontal.

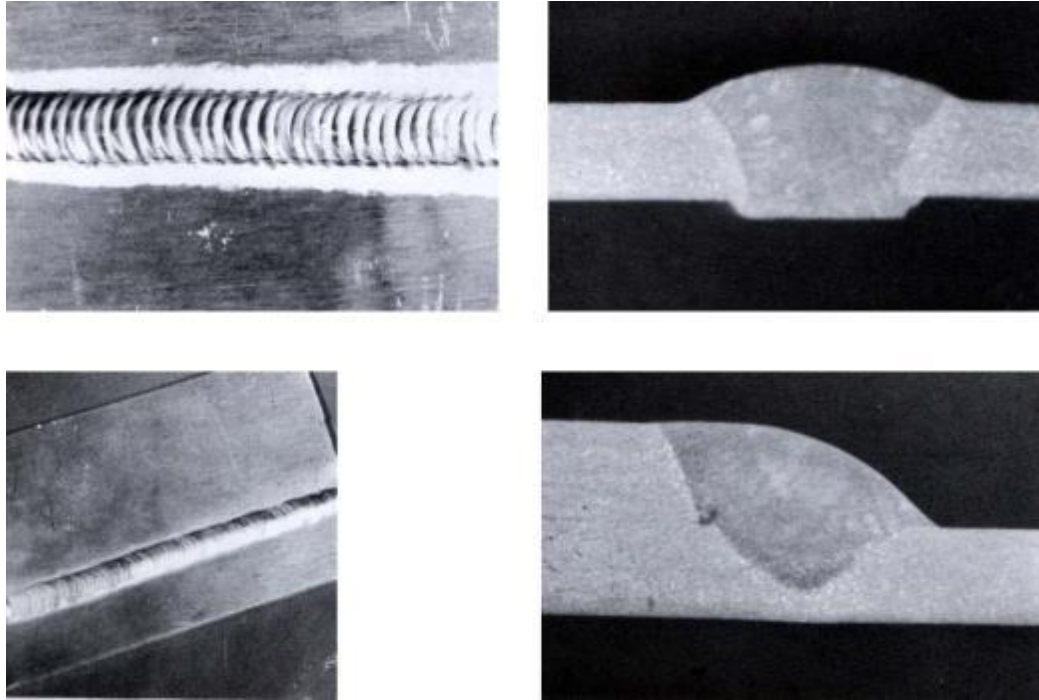
7.8. Inspección visual de aluminio

El objetivo es soldar una junta a tope y de esquina en posición plana y una junta de solape y en T en posición horizontal que cumplen con las normas de aceptabilidad requeridas para pasar la inspección visual en aluminio.

Grabar la identificación del soldador en ocho planchas de aluminio.

Prepara una junta a tope, de solape, de esquina y en T de la misma manera hecha en los temas respectivos.

Figura 94. **Inspección visual en soldadura en posición plana y de traslape**



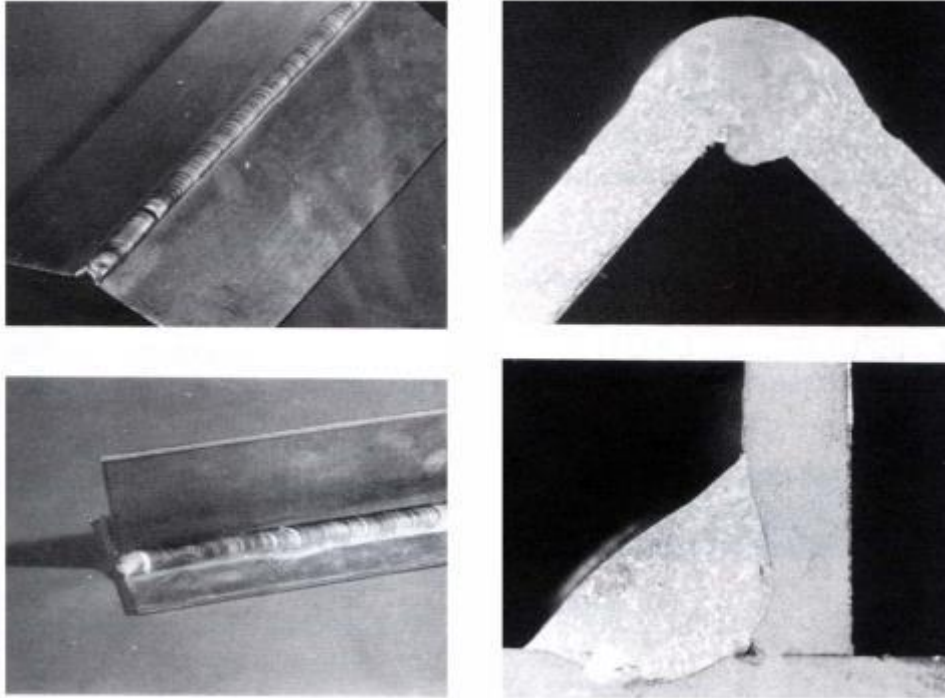
Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 84.

7.8.1. Procedimiento

Una soldadura será aceptada después de la inspección visual solo si cumple con los siguientes requisitos:

- Si muestra no tener grietas.
- Si no tiene indicios de una penetración incompleta de la junta.
- Si muestra que hay fusión completa entre el metal de soldadura y el metal base.

Figura 95. Inspección visual en junta de esquina exterior y junta en T



Fuente: Hobart School of Welding Technology. *Programa de entrenamiento de soldadura tig*. p. 88.

- Si muestra no tener inclusiones de tungsteno.
- Si la porosidad no excede de un máximo de 1/16" pulgada y no tiene más del total combinado de 1/8" pulgada, 3,2 mm, en cualquier pulgada cuadrada de soldadura.
- Si el refuerzo de la cara y de la raíz no excede la dimensión especificada y muestra una transición gradual a la superficie de metal base. Cualquier refuerzo debe entremezclarse suavemente en la plancha, tubo o superficie previamente soldada con las áreas de transición sin indentación marginal en el borde de la soldadura.

- Refuerzo de la raíz: deberá ser al ras con la superficie del metal base mínimo a 1/8" máximo, 3,2 mm.
- Refuerzo de la cara: deberá ser al ras con la superficie del metal base mínimo a 1/8" máximo, 3,2 mm.

CONCLUSIONES

1. El proceso de soldadura TIG no sustituye los otros procesos de soldadura, porque la aplicación de una y la otra en la industria tienen sus ventajas y desventajas. Por ello quedará a discreción del usuario el proceso de soldadura que más le convenga.
2. Con el proceso de soldadura TIG las soldaduras en tuberías, tanto en hierro dulce como en acero inoxidable, tienen su mejor aplicación, ya que se pueden realizar cordones de raíz profundos y seguros, libres de defectos y distorsiones por el calor. Además, el soldador puede escoger tres tipos de corriente, las cuales tendrán un gran efecto sobre la penetración, así como la configuración del cordón.
3. La alta densidad de corriente eléctrica producida por el proceso TIG hace posible soldar a mayores velocidades y con eficiencia de deposición del 95 %, mientras que con electrodo manual se obtiene deposición del 70 %.
4. La utilización de helio o argón tiene un efecto muy importante en la aplicación de este proceso; con helio se obtiene más concentración de calor debido a sus propiedades iónicas, pero por su alto costo, se utiliza cuando se están soldando secciones pesadas de aluminio.
5. El proceso de soldadura TIG es un proceso más especializado, en el cual se requiere que el soldador tenga avanzados conocimientos teóricos y prácticos.

6. Una fuente de alimentación de soldadura TIG típica normalmente funciona dentro del rango de 5 a 300 amperios y de 10 a 35 voltios a un ciclo nominal del 60 %. La fuente de poder debe ser capaz de proveer corriente alterna o continua, dependiendo del metal a soldar.

7. El proceso de soldadura TIG permite la conversión de este proceso en una fuente de poder de transformador rectificador, utilizando una antorcha TIG y el regulador del gas. Sus limitaciones son que no se puede soldar aluminio por la falta de alta frecuencia, así como la inicialización del arco será por medio de *scrach* o raspado.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar todo el equipo de protección necesario para el tipo de soldadura a realizar. En la mayor parte de los casos, la seguridad es una cuestión de sentido común; los accidentes se evitarán si se cumplen con las normas de seguridad.
2. Asegurar que el gas de protección que se utilice para el proceso de soldadura TIG, sea argón o helio o una mezcla de estos gases.
3. Nunca soldar en la proximidad de líquidos inflamables, gases, vapores, metales en polvo o polvos combustibles. De preferencia contar siempre con un extinguidor clasificación ABC.
4. Utilizar una piedra de esmeril por cada tipo de metal para afilar el electrodo de tungsteno, para evitar la contaminación en la soldadura GTAW.
5. La antorcha del proceso TIG, normalmente se enfría por aire, pero cuando se operen intensidades de corriente superiores a 200 amperios, se debe utilizar refrigeración por líquidos eco refrigerantes para evitar sobrecalentamientos.
6. Cuando se necesite soldar secciones de materiales demasiado delgados, puede utilizarse el sistema de arco pulsado, que suministra mayor control del calor generado por el arco. Esta es una opción que se puede agregar a la fuente de poder del proceso de soldadura TIG.

7. Para una soldadura de calidad con cualquier material base, la pieza deberá estar libre de cualquier contaminación, tales como, pintura, grasa, o aceite.
8. Cuando se solda con gas helio, su flujo debe ser mayor que cuando se solda con argón, ya que el helio es menos pesado que el aire.
9. Cuando se afile el electrodo de tungsteno, este deberá afilarse en el sentido axial y no radial; para concentrar de una mejor manera el arco eléctrico.

BIBLIOGRAFÍA

1. GERKEN, Jonh M. *Gas Tungsten Arc Welding G.T.A.W.*, USA.: Published by the James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1991. 42 p
2. Hobart School of Welding Technology. *Soldadura al arco con electrodos de tungsteno* USA: 1979. 90 p
3. HORWITZ, Henry. *Soldadura aplicaciones y práctica*. México D.F: Editorial Alfaomegas, S.A. de C.V., 1976. 786 p.
4. Indura. *Sistemas y materiales de soldadura*, Chile: Editorial Trineo, S.A., 1996. 152 p.
5. JEFFEERSON, T.B. *Metals and how to Weld them*. USA: Published by The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1990. 392 p.
6. Miller. *Tig torches and parts selector guide*. USA: 2002. 15 p.
7. SOSNIN, H. A. *Arc Welding Instructions for the beginner*. USA: Published by The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1964, 150 p.

