

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**GUIA PARA LA ENSEÑANZA DE LOS PROCESOS DE  
SOLDADURA SMAW, GMAW Y GTAW, EN ACEROS AL  
CARBONO Y ACEROS ALEADOS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN  
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA**

**JUAN PABLO TOBAR ARMIJOS**  
tobarjuanpa.ec@gmail.com

**DIRECTOR: ING. DIEGO ESPINOSA**  
espinosadie@gmail.com

**Quito, Noviembre 2009**

## DECLARACIÓN

Yo Tobar Armijos Juan Pablo declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Tobar Armijos Juan Pablo**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Sr Tobar Armijos Juan Pablo, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Diego Espinosa**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme dado la sabiduría necesaria para desarrollar este proyecto, a mis padres que con su apoyo incondicional y consejos me supieron guiar en los momentos difíciles, al Ingeniero Diego Espinosa por su ayuda no solo como tutor del proyecto sino como profesor y amigo a lo largo de toda la carrera, a mis compañeros de la carrera que estuvieron y están en las buenas y en las malas

**Juan Pablo**

## **DEDICATORIA**

A mi mami por haberme dado la vida, por ser la persona que día a día dedico todo su tiempo en atenderme, aconsejarme y dar lo mejor de ella hacia mí, a mi papi que aparte de ser un papa ejemplar es mi mejor amigo, sus consejos, preocupaciones y conocimientos son de vital importancia para lograr esto, a mi ñañita por estar conmigo en las buenas y en las malas, a la Carlita bella por ser mi inspiración, a todos los amigos de la carrera Jenny C, Santiago F, Freddy Y, Martha G, Ivan C, Javier S. Julio Q y todos los demás por compartir todo este tiempo en las aulas y fuera de ellas.

**Juan Pablo**

## CONTENIDO

### CAPITULO I

### SOLDADURA

<b>1.1. CONCEPTOS GENERALES DE SOLDADURA.....</b>	<b>2</b>
1.1.1. INTENSIDAD DE CORRIENTE .....	2
1.1.2. ARCO ELECTRICO .....	2
<b>    1.1.3. CORRIENTE ALTERNA.....</b>	<b>2</b>
1.1.4. CORRIENTE CONTINUA .....	2
1.1.5. ELECTRODO .....	2
1.1.6. JUNTA .....	3
1.1.7. POLARIDAD .....	3
1.1.8. SOLDADURA .....	3
1.1.9. VOLTAJE.....	3
<b>1.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA SOLDADURA .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. SOLDABILIDAD .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4. TIPOS DE SOLDADURA .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS .....</b>	<b>5</b>
1.5.1. ENSAYO RADIOGRÁFICO.....	6
1.5.2. ENSAYO POR ULTRA SONIDO.....	6
1.5.3. ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES.....	7
1.5.4. ENSAYO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS .....	9
<b>1.6. ACEROS AL CARBONO .....</b>	<b>10</b>
1.6.1. NOMENCLATURA DE LOS ACEROS AL CARBONO .....	11
<b>1.7. ACEROS ALEADOS.....</b>	<b>12</b>
1.7.1. NOMENCLATURA DE LOS ACEROS ALEADOS .....	13

## CAPITULO II

### SOLDADURA MANUAL CON ARCO ELECTRICO (SMAW)

2.1.	PROCESO DE SOLDADURA SMAW .....	15
2.2.	EQUIPO BÁSICO PARA SOLDADURA SMAW .....	16
2.2.1.	ELECTRICIDAD.....	16
2.2.2.	CALOR .....	17
2.2.3.	MAQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA.....	17
2.2.4.	MAQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA.....	17
2.2.5.	POLARIDAD INVERSA .....	18
2.2.6.	POLARIDAD DIRECTA .....	18
2.2.7.	ARCO ELÉCTRICO.....	19
2.2.8.	ELECTRODOS .....	20
2.2.8.1.	ELECTRODOS REVESTIDOS.....	21
2.2.9.	CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS DE ACUERDO A LA AWS.....	22
2.2.9.1.	ELECTRODOS REVESTIDOS PARA SOLDAR ACEROS AL CARBONO .....	22
2.2.9.2.	CLASIFICACIÓN AWS PARA LOS METALES DE APORTE PARA SOLDAR ACEROS ALEADOS DE LA NORMA AWS A5.5.....	25
2.3.	DESCRIPCIÓN DE LOS ELECTRODOS DEL PROCESO DE SOLDADURA ELÉCTRICA SMAW .....	26
2.3.1.	ELECTRODO E-6010 .....	26
2.3.2.	ELECTRODO E-6011 .....	28
2.3.3.	ELECTRODO E-6013 .....	29
2.3.4.	ELECTRODO E-7018 .....	31
2.3.5.	ELECTRODO E-7024 .....	32
2.4.	VARIABLES BÁSICAS DEL PROCESO DE SOLDADURA SMAW .....	34
2.4.1.	LONGITUD DEL ARCO .....	34
2.4.2.	VELOCIDAD DE SOLDADURA.....	34
2.4.3.	ANGULO DEL ELECTRODO .....	35

2.4.4. TÉCNICAS DE SOLDADURA .....	35
2.5. POSICIONES DE SOLDADURA PARA PLANCHA .....	36
2.6. POSICIONES DE SOLDADURA PARA TUBERÍA.....	36
2.7. ESQUEMAS BÁSICOS DE SOLDADURA.....	36
2.8. SEGURIDAD EN SOLDADURA AL SMAW .....	37
2.8.1. SEGURIDAD AL USAR UNA MAQUINA SOLDADORA.....	39
2.9. MAQUINA SOLDADORA .....	39
2.9.1. CIRCUITOS CON CORRIENTE.....	39
2.9.2. LÍNEA A TIERRA.....	39
2.9.3. SEGURIDADES EN OPERACIONES DE SOLDADURA .....	40
2.9.3.1. VENTILACIÓN .....	40
2.9.3.2. HUMEDAD.....	40
2.10. PROBLEMAS Y DEFECTOS COMUNES EN LA	
SOLDADURA SMAW .....	41
2.10.1. MAL ASPECTO .....	41
2.10.2. PENETRACIÓN EXCESIVA .....	42
2.10.3. SALPICADURA EXCESIVA .....	42
2.10.4. ARCO DESVIADO .....	43
2.10.5. SOLDADURA POROSA .....	43
2.10.6. SOLDADURA AGRIETADA.....	44
2.10.7. COMBADURA.....	45
2.10.8. SOLDADURA QUEBRADIZA .....	45
2.10.9. PENETRACIÓN INCOMPLETA .....	46
2.10.10. FUSIÓN DEFICIENTE.....	47
2.10.11. DISTORSIÓN.....	47
2.10.12. SOCAVADO .....	48

## **CAPITULO III**

### **SOLDADURA BAJO PROTECCIÓN GASEOSA**

#### **CON ELECTRODO CONTINUO (GMAW/MAG-MIG)**

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO .....	49
------------------------------------	----

3.2.	REPRESENTACIÓN DEL EQUIPO GMAW .....	51
3.3.	TRANSFERENCIA METÁLICA.....	52
3.3.1.	TRANSFERENCIA SPRAY .....	53
3.3.2.	TRANSFERENCIA GLOBULAR .....	53
3.3.3.	TRANSFERENCIA POR CORTO CIRCUITO .....	54
3.3.4.	TRANSFERENCIA POR PULSOS.....	54
3.4.	PROTECCIÓN GASEOSA .....	55
3.4.1.	GASES PROTECTORES .....	55
3.4.2.	SELECCIÓN DEL GAS DE PROTECCIÓN.....	56
3.5.	CONSTITUCIÓN DE UN EQUIPO DE SOLDADURA GMAW ..	56
3.5.1.	TRANSFORMADOR .....	57
3.5.2.	RECTIFICADOR.....	57
3.5.3.	INDUCTANCIA .....	57
3.5.4.	UNIDAD ALIMENTADORA DE HILO .....	58
3.5.5.	CIRCUITO DE GAS PROTECTOR .....	58
3.5.6.	ANTORCHA DE SOLDADURA .....	59
3.6.	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DEL ALAMBRE PARA EL PROCESO GMAW.....	59
3.7.	VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE AVANCE DE HILO.....	60
3.8.	CONTROL DE LA POROSIDAD.....	61
3.9.	MÉTODO OPERATORIO.....	61
3.9.1.	MOVIMIENTO LINEAL .....	62
3.9.2.	MOVIMIENTO CIRCULAR .....	62
3.9.3.	MOVIMIENTO A IMPULSOS .....	62
3.9.4.	MOVIMIENTO PERPENDICULAR.....	63

## **CAPITULO IV**

### **SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO**

#### **DE TUNGSTENO (GTAW/TIG)**

4.1.	FUNDAMENTOS DEL PROCESO .....	64
4.2.	POLARIDAD DE LA CORRIENTE .....	65

4.2.1.	CORRIENTE CONTINUA POLARIDAD DIRECTA.....	65
4.2.2.	CORRIENTE CONTINUA POLARIDAD INVERSA.....	66
4.3.	CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DEL PROCESO GTAW....	67
4.4.	EQUIPO.....	68
4.4.1.	SOPLETE O TORCHAS.....	68
4.4.2.	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL EQUIPO TIG.....	70
4.5.	ELECTRODOS.....	70
4.5.1.	FORMA DE LOS ELECTRODOS.....	72
4.6.	GASES DE PROTECCIÓN.....	74
4.6.1.	ARGÓN.....	74
4.6.2.	HELIO.....	75
4.6.3.	GASES DE RESPALDO.....	75
4.7.	TÉCNICAS DEL PROCESO GTAW.....	75
4.8.	MATERIALES.....	76
4.9.	APLICACIONES DEL SISTEMA GTAW.....	76

## **CAPITULO V**

### **GUIA PRÁCTICAS DE SOLDADURA**

5.1.	PRACTICA # 1(SMAW).....	77
5.1.1.	CUADRO DE ESTUDIO.....	77
5.2.	PRACTICA # 2 (SMAW).....	79
5.3.	PRACTICA # 3 (SMAW).....	85
5.4.	PRACTICA # 4 (GMAW).....	87
5.5.	PRACTICA # 5 (GTAW).....	88

## **CAPITULO VI**

6.1.	PRACTICA # 1(SMAW).....	90
6.2.	PRACTICA # 2(SMAW).....	95
6.3.	PRACTICA # 3(SMAW).....	96

6.4.	PRACTICA # 4(GMAW) .....	97
6.5.	PRACTICA # 5(GTAW) .....	98
6.6.	ENSAYO DE TINTAS PENETRANTES PARA LOS PROCESOS DE SOLDADURA SMAW Y GMAW.....	100
6.6.1.	ANALISIS DE RESULTADOS DESPUES DEL ENSAYO DE TINTAS PENETRANTES PARA LA SOLDADURA SMAW .....	103
6.6.2.	ANALISIS DE RESULTADOS DESPUES DEL ENSAYO DE TINTAS PENETRANTES PARA LA SOLDADURA GMAW.....	105
6.7.	ENSAYO DE ULTRASONIDO PARA EL PROCESO DE SOLDADURA GTAW .....	106

## **CAPITULO VII**

7.1.	COSTOS DE SOLDADURA .....	108
7.1.1.	PESO DEL METAL DEPOSITADO .....	108
7.1.2.	EFICIENCIA DE APORTACIÓN.....	109
7.1.3.	VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN .....	109
7.1.4.	FACTOR DE OPERACIÓN.....	110
7.1.5.	FLUJO DE GAS.....	110
7.1.6.	FACTOR DE USO DE FUNDENTE .....	111
7.1.7.	COMPOSICIÓN DEL COSTO DE SOLDADURA .....	112
7.1.8.	COSTOS CONSUMIBLES .....	112
7.1.9.	COSTO MANO DE OBRA .....	112
7.2.	EJEMPLO DEL CÁLCULO DE COSTOS .....	115

## **CAPITULO VIII**

8.1.	CONCLUSIONES .....	117
8.2.	RECOMENDACIONES.....	119
8.3.	BIBLIOGRAFÍA .....	120

**ANEXOS**

ANEXO 1 .....	122
ANEXO 2 .....	123
ANEXO 3 .....	124
ANEXO 4 .....	127
ANEXO 5 .....	129

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>FIGURA 1.1</b> SOLDADURA .....	1
<b>FIGURA 1.2</b> PARTES DE UN ELECTRODO .....	2
<b>FIGURA 1.3</b> EQUIPO DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL .....	6
<b>FIGURA 1.4</b> EQUIPO DE ULTRASONIDO .....	6
<b>FIGURA 1.5</b> ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES .....	7
<b>FIGURA 1.6</b> ENSAYO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS .....	10
<b>FIGURA 2.1</b> ESQUEMA DEL PROCESO SMAW .....	15
<b>FIGURA 2.2</b> CIRCUITO PARA SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO .....	16
<b>FIGURA 2.3</b> DIAGRAMA DE POLARIDAD INVERSA .....	18
<b>FIGURA 2.4</b> DIAGRAMA DE POLARIDAD DIRECTA .....	19
<b>FIGURA 2.5</b> ARCO ELÉCTRICO .....	20
<b>FIGURA 2.6</b> ELECTRODO E-6010 .....	26
<b>FIGURA 2.7</b> ELECTRODO E-6011 .....	28
<b>FIGURA 2.8</b> ELECTRODO E-6013 .....	29
<b>FIGURA 2.9</b> ELECTRODO E-7018 .....	31
<b>FIGURA 2.10</b> ELECTRODO E-7024 .....	33
<b>FIGURA 2.11</b> DIRECCIÓN DE AVANCE DEL ELECTRODO .....	34
<b>FIGURA 2.12</b> ÁNGULO DEL ELECTRODO .....	35
<b>FIGURA 2.13</b> POSICIONES DE SOLDADURA DE FILETE .....	36
<b>FIGURA 2.14</b> POSICIONES DE SOLDADURA DE RANURA .....	36
<b>FIGURA 2.15</b> POSICIONES DE SOLDADURA PARA TUBERÍA .....	36
<b>FIGURA 2.16</b> TIPOS DE JUNTA .....	37
<b>FIGURA 2.17</b> VARIACIONES DE BISEL .....	37
<b>FIGURA 2.18</b> TIPOS DE SOLDADURA .....	37
<b>FIGURA 2.19</b> EQUIPO DE SEGURIDAD PERSONAL .....	38
<b>FIGURA 2.20</b> CIRCUITO DE CORRIENTE .....	39
<b>FIGURA 2.21</b> CONEXIÓN A TIERRA .....	40
<b>FIGURA 2.22</b> VENTILACIÓN .....	40
<b>FIGURA 2.23</b> HUMEDAD .....	41
<b>FIGURA 2.24</b> MAL ASPECTO DEL CORDÓN DE SOLDADURA .....	41
<b>FIGURA 2.25</b> PENETRACIÓN EXCESIVA .....	42

<b>FIGURA 2.26</b> SALPICADURA EXCESIVA.....	42
<b>FIGURA 2.27</b> ARCO DESVIADO.....	43
<b>FIGURA 2.28</b> SOLDADURA POROSA.....	43
<b>FIGURA 2.29</b> SOLDADURA AGRIETADA.....	44
<b>FIGURA 2.30</b> COMBADURA .....	45
<b>FIGURA 2.31</b> SOLDADURA QUEBRADIZA .....	45
<b>FIGURA 2.32</b> PENETRACIÓN INCOMPLETA.....	46
<b>FIGURA 2.33</b> FUSIÓN DEFICIENTE .....	47
<b>FIGURA 2.34</b> DISTORSIÓN .....	47
<b>FIGURA 2.35</b> SOCAVADO .....	48
<b>FIGURA 3.1</b> ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL PROCESO DE SOLDADURA GMAW .....	49
<b>FIGURA 3.2</b> EQUIPO DE SOLDADURA GMAW .....	51
<b>FIGURA 3.3</b> TRANSFERENCIA METÁLICA.....	52
<b>FIGURA 3.4</b> TRANSFERENCIA POR SPARY.....	53
<b>FIGURA 3.5</b> TRANSFERENCIA GLOBULAR .....	53
<b>FIGURA 3.6</b> TRANSFERENCIA POR CORTOCIRCUITO.....	54
<b>FIGURA 3.7</b> TRANSFERENCIA POR PULSOS .....	55
<b>FIGURA 3.8</b> EQUIPO GMAW .....	55
<b>FIGURA 3.9</b> CORDÓN DE SOLDADURA CON MOVIMIENTO CIRCULAR ...	62
<b>FIGURA 3.10</b> CORDÓN DE SOLDADURA CON MOVIMIENTO A IMPULSOS .....	62
<b>FIGURA 3.11</b> CORDÓN DE SOLDADURA CON MOVIMIENTO PERPENDICULAR.....	63
<b>FIGURA 4.1</b> DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL PROCESO DE SOLDADURA GTAW .....	64
<b>FIGURA 4.2</b> PENETRACIÓN CON CORRIENTE CONTINUA, POLARIDAD DIRECTA.....	65
<b>FIGURA 4.3</b> REPRESENTACIÓN DEL ARCO .....	66
<b>FIGURA 4.4</b> INTENSIDAD DE LA CORRIENTE.....	66
<b>FIGURA 4.5</b> PENETRACIÓN CON CORRIENTE CONTINUA, POLARIDAD INVERSA.....	67
<b>FIGURA 4.6</b> EQUIPO DE SOLDADURA TIG.....	68

<b>FIGURA 4.7</b> DIAGRAMA DE SOPLETES.....	69
<b>FIGURA 4.8</b> TIPOS DE TORCHAS .....	70
<b>FIGURA 4.9</b> DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL EQUIPO TIG .....	70
<b>FIGURA 4.10</b> FORMA DE LOS ELECTRODOS .....	73
<b>FIGURA 4.11</b> GAS DE RESPALDO .....	75
<b>FIGURA 5.1</b> CORDONES DE SOLDADURA EN DIFERENTES POSICIONES.....	85
<b>FIGURA 5.2</b> TEJIDO DE SOLDADURA .....	85
<b>FIGURA 5.3</b> CORDONES DE SOLDADURA EN POSICIÓN VERTICAL.....	87
<b>FIGURA 6.1</b> PLATINA SOLDADA CON ELECTRODO E-6010.....	90
<b>FIGURA 6.2</b> PLATINA SOLDADA CON ELECTRODO E-6011 .....	91
<b>FIGURA 6.3</b> PLATINA SOLDADA CON ELECTRODO E-6013.....	92
<b>FIGURA 6.4</b> PLATINA SOLDADA CON ELECTRODO E-7018.....	93
<b>FIGURA 6.5</b> PLATINA SOLDADA CON ELECTRODO E-7024.....	94
<b>FIGURA 6.6</b> PLATINAS CON VARIACIÓN DEL RÉGIMEN DE SOLDADURA.....	95
<b>FIGURA 6.7</b> PLATINA SOLDADA EN POSICIÓN VERTICAL.....	96
<b>FIGURA 6.8</b> PLATINAS SOLDADAS CON EL PROCESO DE SOLDADURA GMAW.....	97
<b>FIGURA 6.9</b> PRECALENTAMIENTO DEL LA PROBETA.....	98
<b>FIGURA 6.10</b> MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO .....	99
<b>FIGURA 6.11</b> CORDÓN DE SOLDADURA GTAW.....	99
<b>FIGURA 6.12</b> PROBETA SOLDADA .....	100
<b>FIGURA 6.13</b> EQUIPO PARA ENSAYO DE TINTAS PENETRANTES .....	100
<b>FIGURA 6.14</b> PROCESO DE LIMPIEZA DE LA PLATINA .....	101
<b>FIGURA 6.15</b> APLICACIÓN DE PENETRANTE .....	101
<b>FIGURA 6.16</b> ROCÍÓ COMPLETO DEL PENETRANTE EN LAS PLATINAS.....	102
<b>FIGURA 6.17</b> APLICACIÓN DEL REVELADOR EN LAS PLATINAS.....	102
<b>FIGURA 6.18</b> TIEMPO DE ESPERA LUEGO DE APLICADO EL REVELADOR.....	103
<b>FIGURA 6.19</b> FALLAS EN LA SOLDADURA SMAW.....	103

<b>FIGURA 6.20</b> FALLAS EN LA SOLDADURA SMAW.....	104
<b>FIGURA 6.21</b> ANÁLISIS DE FALLAS EN LA SOLDADURA GMAW .....	105
<b>FIGURA 6.22</b> EQUIPO PARA EL ENSAYO DE ULTRASONIDO .....	106
<b>FIGURA 6.23</b> MEDICIÓN DE LA PROBETA .....	106
<b>FIGURA 6.24</b> SEGUNDA MEDICIÓN DE LA PROBETA.....	107
<b>FIGURA 7.1</b> CANTIDAD DE DEPOSICIÓN AUMENTA A MEDIDA QUE ES ELEVADA LA CORRIENTE DE SOLDADURA .....	114
<b>FIGURA 7.2</b> VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN .....	114

## ÍNDICE DE TABLAS

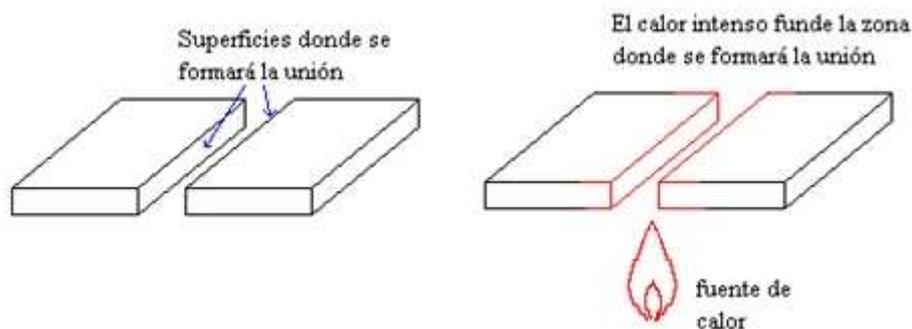
<b>TABLA 2.1</b> POLARIDAD DE CORRIENTE.....	19
<b>TABLA 2.2</b> REVESTIMIENTO DE LOS ELECTRODOS .....	21
<b>TABLA 2.3</b> CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS .....	23
<b>TABLA 2.4</b> DESIGNACIÓN DE ELECTRODOS SEGÚN NORMA AWS: 5.5 96 .....	25
<b>TABLA 2.5</b> DIMENSIONES DEL ELECTRODO E 6010 .....	27
<b>TABLA 2.6</b> DIMENSIONES DEL ELECTRODO E 6011.....	28
<b>TABLA 2.7</b> DIMENSIONES DEL ELECTRODO E 6013 .....	30
<b>TABLA 2.8</b> DIMENSIONES DEL ELECTRODO E 7018 .....	31
<b>TABLA 2.9</b> DIMENSIONES DEL ELECTRODO E 7024.....	32
<b>TABLA 4.1</b> TIPOS DE ELECTRODOS .....	71
<b>TABLA 4.2</b> TIPOS DE MATERIALES.....	71
<b>TABLA 5.1</b> CARACTERÍSTICAS DE LOS ELECTRODOS.....	77
<b>TABLA 7.1</b> FORMULAS PARA CALCULO DE COSTOS .....	108
<b>TABLA 7.2</b> RELACIÓN DEL METAL DEPOSITADO.....	109
<b>TABLA 7.3</b> EFICIENCIA DE APORTACIÓN .....	109
<b>TABLA 7.4</b> VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN .....	110
<b>TABLA 7.5</b> FACTOR DE OPERACIÓN .....	110
<b>TABLA 7.6</b> FLUJO DE GAS .....	110
<b>TABLA 7.7</b> FACTOR USO DEL FUNDENTE .....	111
<b>TABLA 7.8</b> REQUERIMIENTOS DE CONSUMIBLE DE SOLDADURA.....	112
<b>TABLA 7.9</b> FACTOR DE OPERACIÓN .....	113

## CAPITULO I

### SOLDADURA

La soldadura por arco y la soldadura a gas fueron los primeros procesos en desarrollarse tardíamente en el siglo XIX, siguiendo poco después la soldadura por resistencia. Después de las guerras, se desarrollan varias técnicas modernas de soldadura, incluyendo métodos manuales como la Soldadura manual de metal por arco, ahora uno de los más populares métodos de soldadura, así como procesos semiautomáticos y automáticos tales como Soldadura GMAW, soldadura de arco sumergido, soldadura de arco con núcleo de fundente y soldadura por electroescoria.

En la mayor parte de instalaciones industriales, la soldadura por métodos automáticos son los más utilizados dejando la mano del hombre a un lado y los investigadores continúan desarrollando nuevos métodos de soldadura y ganando mayor comprensión de la calidad y las propiedades de la soldadura.



**Figura 1.1** Soldadura

Fuente: Ingeniería de manufactura I

Se dice que es un sistema porque intervienen los elementos propios de este, es decir, las 5 M: mano de obra, materiales, máquinas, medio ambiente y medios escritos (procedimientos). La unión satisfactoria implica que debe pasar las pruebas mecánicas (tensión y dobléz). Las técnicas son los diferentes procesos (SMAW, GMAW, GTAW, etc.) utilizados para la situación más conveniente y favorable, lo que hace que sea lo más económico, sin dejar de lado la seguridad.

## 1.1 CONCEPTOS GENERALES DE SOLDADURA

### 1.1.1. Intensidad de Corriente

Es la cantidad de corriente que fluye a través del arco eléctrico y determina el calor o potencia en el mismo. El amperaje depende del tipo y diámetro del electrodo, de la posición, tipo de junta, etc.

### 1.1.2. Arco Eléctrico

El arco eléctrico es el paso estable de corriente eléctrica entre dos polos de diferente signo, acompañado de un destello luminoso y gran desprendimiento de calor.

### 1.1.3. Corriente alterna

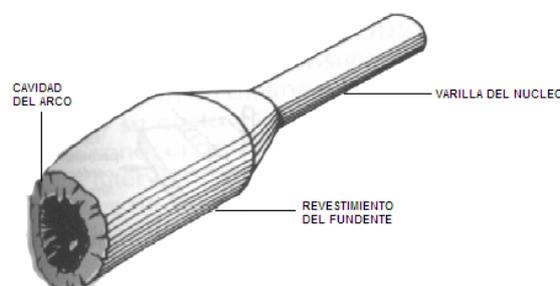
Es producida por todo tipo de transformadores de soldadoras

### 1.1.4. Corriente continua

Es producida por la mayor parte de los moto generadores motorizadas y los más nuevos equipos.

### 1.1.5. Electrodo

Son varillas metálicas preparadas para servir como polo del circuito; en su extremo se genera el arco. En algunos casos, sirven también como material fundente. La varilla metálica a menudo va recubierta de distintos materiales, en función de la pieza a soldar y del procedimiento empleado.



**Figura 1.2** Partes de un electrodo

Fuente: Ingeniería de Manufactura I

### **1.1.6. Junta**

Es aquella zona en la que las piezas se unen por soldadura, debido a que hay muchas posibilidades de poder soldar dos partes estas zonas pueden ser variadas y diversas

### **1.1.7. Polaridad**

Propiedad que tienen los agentes físicos de acumularse en los polos de un cuerpo y de polarizarse. Condición de lo que tiene propiedades o potencias opuestas, en partes o direcciones contrarias, como los polos.

### **1.1.8. Soldadura**

Es el proceso de unir o juntar metales, ya sea que se calientan las piezas de metal hasta que se fundan y se unan entre sí o que se calienten a una temperatura inferior a su punto de fusión y se unan o ligen con un metal fundido como relleno.

### **1.1.9. Voltaje**

Es la intensidad de corriente que se da con respecto a la resistencia del material que se va a soldar.

## **1.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA SOLDADURA**

### **Ventajas**

La principal ventaja de la soldadura en general, es que permite la reparación de elementos que deberían ser desechados y reemplazados por uno nuevo, como es el caso de estructuras metálicas (puentes, pasarelas, etc.), que si presentan roturas o fisuras, éstas pueden ser soldadas entregándole un alto nivel de resistencia y durabilidad a distintos tipos de esfuerzos (tracción, compresión, etc.) y alargando la vida útil de las estructuras.

La soldadura es un proceso importante en la industria por diferentes motivos:

- Proporciona una unión permanente y las partes soldadas se vuelven una sola unidad.

- La unión soldada puede ser más fuerte que los materiales originales si se usa un material de relleno que tenga propiedades de resistencia superiores a la de los metales originales y se aplican las técnicas correctas de soldar.
- La soldadura es la forma más económica de unir componentes. Los métodos alternativos requieren las alteraciones más complejas de las formas (Ej. Taladrado de orificios y adición de sujetadores: remaches y tuercas). El ensamble mecánico es más pesado que la soldadura.
- La soldadura no se limita al ambiente de fábrica, se puede realizar en el campo.

### **Desventajas**

- La mayoría de las operaciones de soldadura se hacen manualmente, lo cual implica alto costo de mano de obra.
- Hay soldaduras especiales y la realizan personas muy calificadas.
- La soldadura implica el uso de energía y es peligroso, además que emana gases que son perjudiciales a largo plazo para el ser humano.
- Por ser una unión permanente, no permite un desensamble adecuado. En los casos cuando es necesario mantenimiento en un producto no debe utilizarse la soldadura como método de ensamble.
- La unión soldada puede tener defectos de calidad que son difíciles de detectar. Estos defectos reducen la resistencia de la unión.

La gran desventaja de la soldadura es que para trabajos de alta precisión el costo es muy elevado, ya que se necesita un alto grado experiencia técnica por parte del soldador, debido a que el producto final no debe tener poros ni imperfecciones, todo esto visto mediante inspección radiográfica.

### **1.3. SOLDABILIDAD**

La soldabilidad es la capacidad de un material para ser soldado bajo ciertas condiciones impuestas en una estructura específica y apropiada, la cual funciona eficientemente para el uso que se le destina.

### **1.4. TIPOS DE SOLDADURA**

Según la forma, la sección transversal del metal de soldadura y otras características, existen los siguientes tipos de soldadura: de ranura, de tapón, de botón, de pernos, de puntos o proyección, de respaldo, en el respaldo, de costura, de recubrimiento, y de borde o reborde.

### **1.5. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

El propósito de estos ensayos es detectar discontinuidades superficiales e internas en materiales, soldaduras, componentes e partes fabricadas.

Los materiales que se pueden inspeccionar son los más diversos, entre metálicos y no metálicos, normalmente utilizados en procesos de fabricación, tales como: laminados, fundidos, forjados y otras conformaciones

Los END, más comunes utilizados en la industria, se clasifican de acuerdo al alcance que poseen en cuanto a la detección de fallas, por lo que se dividirán los mismos de acuerdo a los siguientes parámetros:

Discontinuidades Superficiales:

- Ensayo de líquidos penetrantes
- Ensayo de partículas magnéticas

Discontinuidades Internas:

- Ensayo Radiográfico
- Ensayo ultrasónico

### 1.5.1. ENSAYO RADIOGRÁFICO



**Figura 1.3** Equipo de Radiografía Industrial  
Fuente: Manual de ensayos no destructivos

La radiografía es un método de inspección no destructiva que se basa en la absorción diferenciada de radiación penetrante por la pieza que está siendo inspeccionada.

Esa variación en la cantidad de radiación absorbida, detectada mediante un medio, nos indicará, entre otras cosas, la existencia de una falla interna o defecto en el material.

La radiografía industrial es entonces usada para detectar variaciones de una región de un determinado material que presenta una diferencia en espesor o densidad comparada con una región vecina, en otras palabras, la radiografía es un método capaz de detectar con buena sensibilidad defectos volumétricos.

### 1.5.2. ENSAYO POR ULTRASONIDO



**Figura 1.4** Equipo de Ultrasonido  
Fuente: Manual de ensayos no destructivos

El aprovechamiento del ultrasonido ha ganado espacio importante entre las técnicas de Ensayos No-destructivos. Se considera ultrasonido aquellas oscilaciones de presión que poseen frecuencias por encima de la gama audible (esto es, superior a 20 000 Hz).

El equipamiento utilizado para la aplicación de estas técnicas es capaz de generar, emitir y captar haces de ondas muy bien definidas sujetas a las leyes de reflexión al encontrar en su trayectoria un cambio en las propiedades físicas del medio en el cual se propagan. Al ser captadas, son analizadas según el objetivo del equipamiento y con la determinación del tiempo transcurrido desde su emisión hasta su recepción, puede conocerse la distancia recorrida, al ser la velocidad previamente establecida.

El ensayo por ultrasonido es un método no destructivo, en el cual un haz sónico de alta frecuencia (125 KHz a 20 MHz) es introducido en el material a ser inspeccionado con el objetivo de detectar discontinuidades internas y superficiales. El sonido que recorre el material es reflejado por las interfaces y es detectado y analizado para determinar la presencia y localización de discontinuidades.

### 1.5.3. ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES



**Figura 1.5** Ensayo de Líquidos Penetrantes  
Fuente: Manual de ensayos no destructivos

Existen dos tipos básicos de líquidos penetrantes, fluorescentes y no fluorescentes.

La característica distintiva principal entre los dos tipos es:

Los líquidos penetrantes fluorescentes contienen un colorante que fluoresce bajo la luz negra o ultravioleta.

Los líquidos penetrantes no fluorescentes contienen un colorante de alto contraste bajo luz blanca.

Para los efectos del método de inspección por líquidos penetrantes, el penetrante líquido que tiene la propiedad de penetrar en cualquier abertura u orificio que se exponga ante él. Sin embargo, se requiere mucho más que la habilidad de esparcirse y penetrar para que realice una buena función. El penetrante ideal para fines de inspección deberá reunir las siguientes características:

- Habilidad para penetrar orificios y aberturas muy pequeñas y estrechas
- Habilidad para permanecer en aberturas amplias
- Habilidad para mantener color o la fluorescencia
- Habilidad de extenderse en capas muy finas
- Resistencia a la evaporación
- De fácil remoción de la superficie
- De difícil eliminación una vez dentro de la discontinuidad
- De fácil absorción de la discontinuidad
- Atoxico, incoloro, no corrosivo, anti inflamable, estable bajo condiciones de almacenamiento y de costo razonable.

Para cumplir los requisitos anteriores, deberán combinarse diferentes ingredientes que poseen adecuadas propiedades, entre las cuales las más importantes son la tensión superficial, el poder humectante, la viscosidad,

volatilidad, tolerancia a la contaminación, gravedad específica, punto de inflamación, inactividad química y capacidad de disolución.

#### **1.5.4. ENSAYOS POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

La inspección por partícula magnéticas es un método para localizar discontinuidades superficiales y sub superficiales en materiales ferro magnéticos.

Limitaciones que deben tenerse en cuenta, por ejemplo, las partículas delgadas de pintura y otros recubrimientos no magnéticos tales como los galvanostegicos afectan adversamente la sensibilidad de la inspección.

Además el método solo es útil en materiales ferromagnéticos.

Este método de inspección utiliza campos magnéticos para revelar discontinuidades. Este efecto se debe al giro del electrón sobre si mismo y a la manera como esos electrones se organizan en los átomos, haciendo que el átomo mismo sea un pequeño imán.

El espacio exterior del imán es el campo magnético lugar donde se ejerce la fuerza de inducción y está conformado por el conjunto de líneas de fuerza cuyo número y forma dependen del foco magnético o fuente que genera el campo.

Los ferromagnéticos son atraídos fuertemente por un campo magnético (hierro, níquel, cobalto, casi todos los aceros, etc.)

Los paramagnéticos son levemente atraídos por un campo magnético (platino aluminio, cromo, estaño, etc.)

Los diamagnéticos son levemente repelidos por un campo magnético (plata cobre, mercurio, etc.)



**Figura 1.6** Ensayo por Partículas Magnéticas  
Fuente: Manual de ensayos no destructivos

## 1.6. ACEROS AL CARBONO

Los aceros al carbono (los que también se conocen como *aceros al carbono simple, aceros ordinarios y aceros con contenido de carbono exclusivamente*) están formados por una amplia gama de aceros que contienen hasta:

Carbono	1.70% máx.
Manganeso	1.65% máx.
Silicio	0.60% máx.

Estos comprenden las aleaciones de hierro-carbono, con un nivel de carbono casi tan bajo como el del hierro dulce (el cual prácticamente no contiene nada de carbono) hasta el del hierro fundido (que contiene más de 1.7% de carbono).

Los aceros al carbono que contienen los elementos de aleación en los porcentajes indicados pueden soldarse con facilidad por todos los métodos de soldadura:

Carbono	Entre 0.13 y 0.20%
Manganeso	Entre 0.40 y 0.60%
Fósforo	No más de 0.03%
Silicio	No más de 0.10%
Azufre	No más de 0.035%

El cambio en los porcentajes de los cinco elementos (C, Mn, P, S y Si) o la adición de otros elementos, tienen los siguientes efectos en la soldabilidad:

Es importante saber que la adición de algunos de los elementos de aleación antes mencionados puede ser de gran beneficio si se hace adecuadamente.

Por ejemplo, puede retenerse la buena soldabilidad en los aceros de alta resistencia reduciendo el contenido de carbono y obteniendo la resistencia de fluencia requerida mediante el uso de los elementos de aleación adecuados.

Con base en el contenido de carbono, la AWS divide a los aceros al carbono en cuatro grupos:

Aceros con bajo carbono	Hasta 0.15% de carbono
Aceros con contenido bajo-medio de carbono	0.15 a 0.29% de carbono
Aceros con contenido medio de carbono	0.29 a 0.40% de carbono
Aceros con alto carbono	0.45 a 1.70% de carbono

La mayoría de los aceros de estas diferentes categorías se producen de acuerdo con una especificación nacional desarrollada por la ASTM, la ASME, la SAE y otras instituciones, en las que se incluyen los aceros al carbono para diversas aplicaciones.

### **1.6.1. NOMENCLATURA DE LOS ACEROS AL CARBONO**

Para las especificaciones AISI; SAE, tienen la siguiente designación: El primero de los cuatro o cinco dígitos de la designación numérica indica el tipo al que pertenece el acero. De este modo, 1 indica un acero al carbono; 2 un acero al níquel; 3 un acero al níquel – cromo, etc. En el caso de acero de aleación simple, que es el caso que nos ocupa, el segundo dígito indica el porcentaje aproximado del elemento predominante en la aleación. Los 2 o 3 últimos dígitos generalmente indican el contenido de carbono medio dividido entre 100. Así, el símbolo 2520 indica un acero al níquel de aproximadamente 5% de níquel y 0.20% de carbono.

Además de los números, las especificaciones AISI pueden incluir un prefijo literal para indicar el proceso de manufactura empleado en la producción del acero. Las especificaciones SAE ahora emplean las mismas designaciones numéricas de cuatro dígitos que las AISI, pero eliminando todos los prefijos literales.

Los números básicos para la serie de cuatro dígitos de los diversos grados de aceros al carbono y de aleación con porcentajes aproximados de elementos de identificación son:

10xx Aceros al carbono: básicos de hogar abierto y bessemer ácidos.

11xx Aceros al carbono: básicos de hogar abierto y bessemer ácidos, azufre alto, fósforo bajo.

12xx Aceros al carbono: básicos de hogar abierto, azufre alto, fósforo alto.

Ejemplos

SAE 1005 – 1025 (bajo contenido de carbono)  $\leq 0.25\%$

SAE 1026 – 1055 (medio contenido de carbono)  $0.25 - 0.55\%$

SAE 1055 – 1095 (alto contenido de carbono)  $0.55 - 1\%$

## **1.7. ACEROS ALEADOS**

Se da el nombre de aceros aleados a los aceros que además de los cinco elementos: carbono, silicio, manganeso, fósforo y azufre, contienen también cantidades relativamente importantes de otros elementos como el cromo, níquel, molibdeno, etc., que sirven para mejorar alguna de sus características fundamentales. También puede considerarse aceros aleados los que contienen alguno de los cuatro elementos diferentes del carbono que antes hemos citado, en mayor cantidad que los porcentajes que normalmente suelen contener los aceros al carbono, y cuyos límites superiores suelen ser generalmente los siguientes: Si=0.50%; Mn=0.90%; P=0.100% y S=0.100%.

### 1.7.1. NOMENCLATURA DE LOS ACEROS ALEADOS

Para las especificaciones AISI; SAE, tienen la siguiente designación: El primero de los cuatro o cinco dígitos de la designación numérica indica el tipo al que pertenece el acero. De este modo, 1 indica un acero al carbono; 2 un acero al níquel; 3 un acero al níquel – cromo, etc. En el caso de acero de aleación simple, que es el caso que nos ocupa, el segundo dígito indica el porcentaje aproximado del elemento predominante en la aleación. Los 2 o 3 últimos dígitos generalmente indican el contenido de carbono medio dividido entre 100. Así, el símbolo 2520 indica un acero al níquel de aproximadamente 5% de níquel y 0.20% de carbono.

Además de los números, las especificaciones AISI pueden incluir un prefijo literal para indicar el proceso de manufactura empleado en la producción del hacer. Las especificaciones SAE ahora emplean las mismas designaciones numéricas de cuatro dígitos que las AISI, pero eliminando todos los prefijos literales.

Los números básicos para la serie de cuatro dígitos de los diversos grados de aceros al carbono y de aleación con porcentajes aproximados de elementos de identificación son:

13xx Manganeso 1.75.

23xx Níquel 3.50

25xx Níquel 5.00.

31xx Níquel 1.25 y cromo 0.60

33xx Níquel 3.50 y cromo 1.50

40xx Molibdeno 0.20 o 0.25

41xx Cromo 0.50, 0.80 o 0.95 y molibdeno 0.12, 0.20 o 0.30

43xx Níquel 1.83, cromo 0.50 o 0.80 y molibdeno 0.25

44xx Molibdeno 0.53

46xx Níquel 0.85 o 1.83 y molibdeno 0.20 o 0.25

- 47xx Níquel 1.05, cromo 0.45 y molibdeno 0.20 o 0.35
- 48xx Níquel 3.50 y molibdeno 0.25
- 50xx Cromo 0.40
- 51xx Cromo 0.80, 0.93, 0.95 o 1.00
- 5xxxx Carbono 1.04 y cromo 1.03 o 1.45
- 61xx Cromo 0.60 o 0.95 y vanadio 0.13 o 0.15 mínimo.
- 86xx Níquel 0.55, cromo 0.50 y molibdeno 0.20
- 87xx Níquel 0.55, cromo 0.50 y molibdeno 0.25
- 88xx Níquel 0.55, cromo 0.50 y molibdeno 0.35
- 92xx Silicio 2.00
- 93xx Níquel 3.25, cromo 1.20 y molibdeno 0.12
- 98xx Níquel 1.00, cromo 0.80 y molibdeno 0.25
- 94Bxx Níquel 0.45, cromo 0.40, molibdeno 0.12 y boro 0.0005 mínimo.

En las tablas que incluimos a continuación constan especificaciones de acero estándar representativos.

Las letras prefijo AISI: B = acero al carbono bessemer ácido; C = acero al carbono básico de hogar abierto.

#### Ejemplos

AISI 4340

AISI 4140

AISI 1320

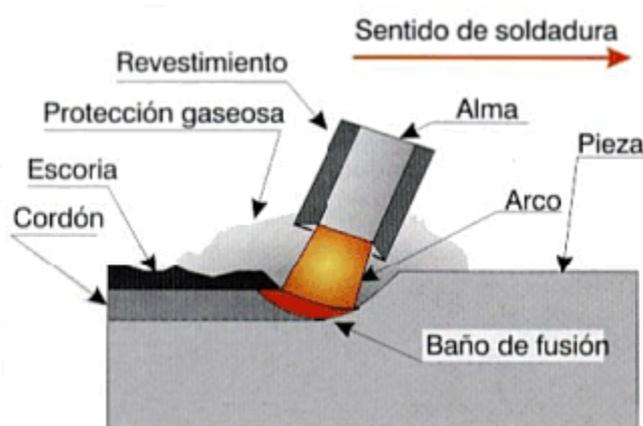
AISI 2330

## CAPITULO II

### SOLDADURA MANUAL CON ARCO ELECTRICO (SMAW)

La Soldadura Manual con Electrodo revestido es el más antiguo y versátil de los distintos procesos de soldadura por arco, esta fue creada por Oscar Kjellberg a principios del siglo XX.

#### 2.1. PROCESO DE SOLDADURA SMAW



**Figura 2.1** Esquema del proceso SMAW

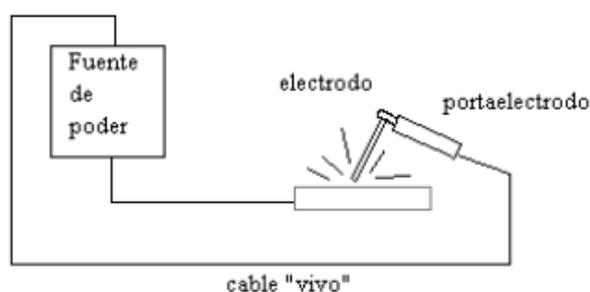
Fuente: [www.drweld.com](http://www.drweld.com)

El arco eléctrico se mantiene entre el final del electrodo revestido y la pieza a soldar. Cuando el metal se funde, las gotas del electrodo se transportan a través del arco al baño del metal fundido, protegiéndose de la atmósfera por los gases producidos en la descomposición del revestimiento. La escoria fundida flota en la parte superior del baño de soldadura, desde donde protege al metal depositado de la atmósfera durante el proceso de solidificación. La escoria debe eliminarse posteriormente de cada pasada de soldadura. Se fabrican cientos de tipos diferentes de electrodos, a menudo conteniendo aleaciones que proporcionan resistencia, dureza y ductilidad a la soldadura. El proceso, se utiliza principalmente para aleaciones ferrosas para unir estructuras de acero, en construcción naval y en general en trabajos de la industria metálica.

A pesar de ser un proceso respectivamente lento, debido a los cambios del electrodo y a tener que eliminar la escoria, aún sigue siendo una de las técnicas más manejables y se utiliza con ventaja en zonas de difícil acceso.

## 2.2. EQUIPO BASICO PARA SOLDADURA SMAW

En cualquier proceso para soldadura con arco, el intenso calor requerido para fundir el metal base se produce con un arco eléctrico. Un soldador experto debe tener conocimientos de electricidad para su propia seguridad y a fin de comprender el funcionamiento del equipo para soldar con arco. Aunque la soldadura con arco no es más peligrosa que otros procesos de soldadura, se deben observar algunas precauciones debido a los elevados amperajes que se utilizan y a la radiación que se desprende del arco, entre otras cosas.



**Figura 2.2** Circuito para soldadura por arco eléctrico.

Fuente: [www.metalizacion.com.mx](http://www.metalizacion.com.mx)

### 2.2.1. ELECTRICIDAD

A la electricidad sólo la conocemos por sus efectos. Es una fuerza invisible de atracción que produce una carga eléctrica. Si se provee una trayectoria entre objetos cargados que se atraen entre sí, se tendrá corriente eléctrica. Esta corriente en realidad es un flujo de electrones desde el objeto que tiene más de éstos hacia el que tiene menos, o sea, desde la terminal o extremo negativo de un conductor hacia la terminal positiva del mismo. Cuando los electrones de una corriente se mueven siempre en la misma dirección producen corriente continua (llamada a veces corriente directa). Cuando los electrones invierten su dirección a intervalos periódicos producen corriente alterna.

### 2.2.2. CALOR

Una corriente eléctrica no sólo produce un campo magnético sino también calor; éste se produce por la resistencia que hay al paso de la corriente y es la combinación que se utiliza en la soldadura. En ella, este calor se produce cuando el soldador forma el arco, ya sea al tocar el metal con el electrodo o al superponer una corriente de arranque en él. Cuando se establece la separación entre el electrodo y la pieza de trabajo, se produce resistencia y se genera calor. La rapidez de la generación del calor depende de la resistencia y de la cantidad de corriente que pase por el electrodo.

$I$  = amperios

$V$  = voltios

$v$  = cm/s

$Q$  = J/s

$$Q = 60 \frac{IV}{v}$$

**Ecuación 1.1**  
Calculo del calor <sup>1</sup>

### 2.2.3. MÁQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA

Las máquinas de corriente alterna (C.A.) se llaman transformadores. Transforman la corriente de la línea de alimentación (que es de alto voltaje y de bajo amperaje) en una corriente útil, pero segura para soldar (que es de bajo voltaje y alto amperaje). Esto se efectúa dentro de la máquina con un sistema de un devanado primario, uno secundario y un reactor movable.

### 2.2.4. MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA

Las máquinas de C.C. se clasifican en dos tipos básicos: generador y rectificador. En un generador de C.C., la corriente se produce por la rotación de una armadura (inducido) dentro de un campo eléctrico. Esta corriente alterna generada la captan una serie de escobillas de carbón y un conmutador o colector y la convierten en corriente continua. Los rectificadores básicos son transformadores de C.A. a los que se ha agregado un rectificador. La corriente

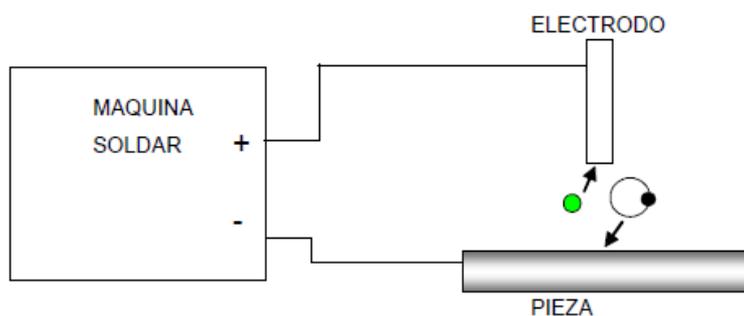
---

<sup>1</sup> MANUAL DE SOLDADURA MODERNA Howavel B. Cary Tomo II pag 506

alterna que suministra el transformador se envía al rectificador que la convierte o rectifica a corriente continua.

### 2.2.5. POLARIDAD INVERSA.

Cuando el cable porta electro está conectado a la terminal positiva. La brida de la toma a tierra tiene que conectarse a la terminal negativa. En el caso que la maquina disponga de un interruptor para el cambio de polaridad, este ultimo debería estar en la posición marcada como “positivo”, “+” o “inverso”



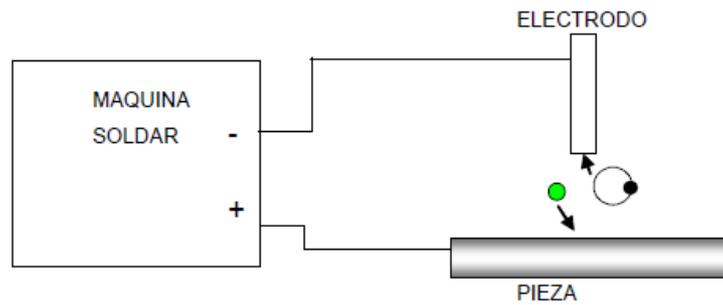
**Figura 2.3** Diagrama de polaridad inversa

Fuente: Manual de soldadura por arco eléctrico

### 2.2.6. POLARIDAD DIRECTA.

Cuan el cable porta electro está conectado al terminal negativo. La brida de la toma a tierra tiene que conectarse a la terminal positiva. En el caso que la maquina disponga de un interruptor para el cambio de polaridad, este ultimo habrá de estar marcada como “negativo”, “-” o “inverso”.

En algunos procesos de soldadura, la polaridad que se debe utilizar se determina con el metal que se va a soldar. Sin embargo, en el proceso de SMAW, la polaridad se determina por el recubrimiento del electrodo. Por ejemplo, cuando se utiliza un electrodo E6010 trabaja mejor con CCPI (corriente continua con polaridad inversa), en cuyo caso el electrodo es positivo y el metal base es negativo. La CC puede tener polaridad directa o inversa, según se seleccione.



**Figura 2.4** Diagrama de polaridad directa

Fuente: Manual de soldadura por arco eléctrico

**Tabla N 2. 1**

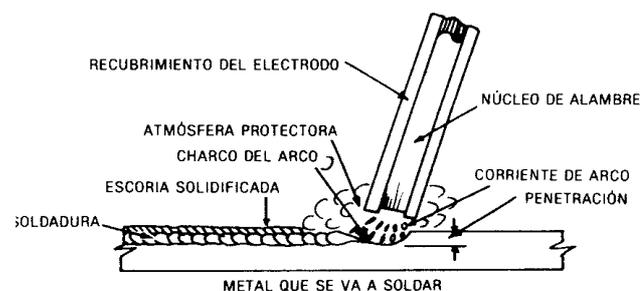
NOMBRE COMÚN	NOMBRE	SIGNO ELECTRODO
Positiva	Inversa	+ (positivo)
Negativa	Directa	- (negativo)

Polaridad de Corriente

Fuente: Manual de soldadura por arco eléctrico SMAW

### 2.2.7. ARCO ELÉCTRICO

El arco eléctrico es el paso estable de corriente eléctrica entre dos polos de diferente signo, acompañado de un destello luminoso y gran desprendimiento de calor. Para realizar una soldadura por arco eléctrico se induce una diferencia de potencial entre el electrodo y la pieza a soldar, con lo cual se ioniza el aire entre ellos y pasa a ser conductor, de modo que se cierra el circuito y se crea el arco eléctrico. El calor del arco funde parcialmente el material de base y funde el material de aporte, el cual se deposita y crea el cordón de soldadura como se muestra en la figura 2.5



**Figura 2.5** Arco Eléctrico.

Fuente: [www.metalizacion.com.mx](http://www.metalizacion.com.mx)

- Electrodo: Son varillas compuestas de una parte central metálica y un recubrimiento, que constituye el elemento fundamental de este proceso, forma parte del circuito de soldadura y cumple dos funciones:
  - Sirve de metal de aporte.
  - Conduce la corriente eléctrica.
- Baño de fusión: La acción calorífica del arco provoca la fusión del material, donde parte de éste se mezcla con el material de aportación del electrodo, provocando la soldadura de las piezas una vez solidificado, por tanto la parte que se encuentra en el material base directamente bajo el arco se encuentra fundida y se llama baño de fusión o pileta fundida.
- Cráter: Surco producido por el calentamiento del metal. Su forma y profundidad vendrán dadas por el poder de penetración del electrodo.
- Cordón de soldadura: Está constituido por el metal base y el material de aportación del electrodo y se pueden diferenciar dos partes: la escoria, compuesta por impurezas que son segregadas durante la solidificación y que posteriormente son eliminadas, y el sobre espesor, formado por la parte útil del material de aportación y parte del metal base, que es lo que compone la soldadura en sí.

### **2.2.8. ELECTRODOS**

Elemento esencial en la soldadura eléctrica, sirve como conductor de la corriente y como metal de aportación. Pueden ser desnudos o recubiertos.

Los electrodos desnudos son varillas de metal, de pequeño diámetro muy poco empleados en soldadura normal por los inconvenientes que presentan, siendo los más destacados:

- Dificultad en el encendido y mantenimiento del arco.
- Cordón irregular de soldadura.
- Imposibilidad de soldar en posiciones que no sean la horizontal.
- Pérdida de elementos de aleación por oxidación.
- Oxidación y nitruración del hierro y malas cualidades mecánicas.

### 2.2.8.1. ELECTRODOS REVESTIDOS

En este tipo de electrodos se distinguen una parte metálica o alma y el revestido que la rodea. Este revestimiento tiene entre otras las misiones de facilitar el encendido y darle estabilidad al arco.

Además protege el metal fundido DC la oxidación y nitruración, protegiendo el baño hasta su total solidificación.

Favorece además el revestimiento la formación del cordón y añade elementos necesarios al metal de aportación que no tiene el electrodo.

La escoria líquida se airea con las impurezas del baño de fusión y lo transforma en sales que salen a la superficie al solidificarse el cordón.

El revestimiento de los electrodos puede ser:

- Oxidante
- Ácido
- Neutro
- Rutilo, con escoria viscosa (R) o con escoria fluida (T)

Tabla N 2. 2

Tipo	Productos que determina el tipo de electrodo	Características y aplicaciones
Delgado oxidante	Óxidos de hierro revestido delgado	Para rellenos y recrecimientos cerrajería, trabajos sencillos. No hay que mantener la escoria.
Grueso oxidante.	Revestido grueso	Soldadura semiautomática de arrastre, en ángulo y rincón exclusivamente. Poca penetración. El metal depositado contiene muy poco carbono y manganeso, lo que da lugar a una baja resistencia a la tracción de él. Sirve también para cortar
Ácido	Sílice y derivados de la sílice.	Muy buena velocidad de fusión. Buena penetración. Deposita el metal en forma de gotas finas y continuas (electrodo de gota caliente). En posiciones el manejo es bastante bueno. Muy sensible a las impurezas de los metales base. Escoria esponjosa que hila.

Neutro	Óxidos inestables (de hierro y de manganeso).	Exclusivamente para posición horizontal. Fusión algo lenta y bajos rendimientos de soldadura. Muy buenas características mecánicas y gran resistencia a los metales base impuros. Mal manejo en posiciones difíciles.
Rutilo	Rutilo	Muy adecuado para soldar en posiciones difíciles. Aporta el metal en gotas gruesas que se solidifican rápidamente (electrodos de gota fría). Útil para chapa fina.
Orgánico	Celulosa (superior al 20%).	Muy poca escoria. Fusión muy rápida. Buena penetración. Las aguas del cordón quedan algo gruesas. Se debe emplear con corriente continua o alterna con elevada tensión en vacío.
Básico	Carbonato cálcico o magnésico más espato flúor.	Construcciones soldadas en las que se toma la presencia de aceros de mala calidad o que por su excesiva rigidez puedan producir grietas. Especial para soldaduras que han de someterse a bajas temperaturas o a esfuerzos dinámicos. Elevada resiliencia.

Revestimiento de los Electrodo

Fuente: [www.drweld.com](http://www.drweld.com)

## 2.2.9. CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS DE ACUERDO A LA AWS

En particular, todos los electrodos tienen su propia codificación en todas las agencias, pero el código que AWS usa para esto, probablemente en Latinoamérica se ha convertido en la referencia más común para clasificarlos como son; el AWS A5.1 para los electrodos de acero dulce o de relleno, y el AWS A5.5 para los electrodos de aleación de acero (alto contenido de carbón).

### 2.2.9.1. ELECTRODOS REVESTIDOS PARA SOLDAR ACEROS AL CARBO

La norma AWS A5.1 clasifica a los electrodos de la siguiente manera

**E - X X X X**

**(1) (2) (3) (4) (5)**

- **(1)** Lo identifica como electrodo

- **(2)** y **(3)** Dos primeros dígitos indican su fuerza tensil x 1000 PSI.
- **(4)** Indica la posición que se debe usar para optimizar la operación de este electrodo:
  - 1 Todas las posiciones
  - 2 Posición plana, horizontal
  - 3 Posición plana
  - 4 Posición vertical descendente
- **(5)** Indica las características operacionales del electrodo, Ej. : Tipo de corriente, escoria, polaridad, penetración, etc. En algunos casos, tercer y cuarto dígito son muy significativos

### Ejemplo: E-6010

E = Electrodo

60 = 60 X 1000 PSI = 60.000 PSI de fuerza tensil

1 = Cualquier posición, (de piso, horizontal, vertical y sobre cabeza) \*\*

0 = DCEP Corriente Directa "DC" electrodo positivo "+" \*

\* Ver la tabla debajo para mas detalles de los dos últimos dígitos

\*\* Ver tabla de posición de operación del electrodo.

Tabla N 2. 3

Clasif.	Corriente	Arco	Penetración	Fundente y Escoria
EXX10	DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso-Sodio (0 – 10% de polvo de Hierro)
EXXX1	AC o DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso – Potasio (0% de polvo de Hierro)
EXXX2	AC o DCEN	Mediano	Mediana	Titanio – Sodio (0 – 10% de polvo de Hierro)
EXXX3	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio – Potasio (0 – 10% de polvo de Hierro)
EXXX4	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio – Polvo de Hierro (25 – 40% de Polvo de

				Hierro)
EXXX5	DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno – Sodio (0% de polvo de Hierro)
EXXX6	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno – Potasio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX8	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno – Polvo de Hierro (25 – 40% de Polvo de Hierro)
EXX20	AC o DCEN	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro – Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXX22	AC O DCEN o DCEP	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro – Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXX24	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio – Polvo de Hierro (50% de Polvo de Hierro)
EXX27	AC o DCEN o DCEP	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro – Polvo de Hierro (50% de Polvo de Hierro)
EXX28	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno – Polvo de Hierro (25 – 40% de Polvo de Hierro)
EXX48	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno – Polvo de Hierro (25 – 40% de Polvo de Hierro)

Clasificación de los Electrodo  
Fuente: [www.drweld.com](http://www.drweld.com)

DCEP = Corriente Directa Electrodo Positivo

DCEN = Corriente Directa

**E XX1X** = Cualquier Posición (Plana, horizontal, sobre cabeza y vertical)

**E XX2X** = Plana y horizontal

**E XX3X** = Plana

**E XX4X** = Vertical descendente

## 2.2.9.2. CLASIFICACIÓN AWS PARA LOS METALES DE APORTE PARA SOLDAR ACEROS ALEADOS DE LA NORMA AWS A5.5

Electrodo cubierto de baja aleación de acero

E - X X X X - X X

(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)

- (1) Lo identifica como electrodo
- (2) y (3) Dos primeros dígitos indican su fuerza tensil x 1000 PSI.
- (4) Indica la usabilidad del electrodo, Ej.: tipo de corriente y tipo de fundente, en algunos casos, tercer y cuarto dígito son muy significativos.
- (5) Indica la posición que se debe usar para optimizar la operación de este electrodo
- (6) y (7) Composición química del material después de depositado

Tabla N 2. 4

DESIGNACION DE ELECTRODOS SEGUN NORMA AWS: 5.5-96 DE ACUERDO A SU MAYOR PORCENTAJE DE ELEMENTOS DE ALEACION						
Número del sufijo para electrodos segun AWS.	% de Aleación					
	(Mo)	(Cr)	(Ni)	(Mn)	(Va)	(Cu)
A1	0.5	-	-	-	-	-
B1	0.5	0.5	-	-	-	-
B2	0.5	1.25	-	-	-	-
B3	1.0	2.25	-	-	-	-
B4	0.5	2.0	-	-	-	-
B5	1.1	0.5	-	-	-	-
B6	0.5	5.0	-	-	-	-
B7	0.5	7.0	-	-	-	-
B8	1.0	9.0	-	-	-	-
B9	1.0	9.0	-	-	0.20	0.25
C1	-	-	2.5	1.2	-	-
C2	-	-	3.5	1.2	-	-
C3	-	-	1.0	1.2	-	-
C4	-	-	1.5	1.2	-	-
C5	-	-	6.5	0.7	-	-
D1	0.3	-	-	1.5	-	-
D2	0.3	-	-	1.75	-	-
D3	0.5	-	-	1.4	-	-
G*	0.2	0.3	0.5	1.0	0.1	0.2
M	Ver	AWS	A 5.5-96	-	-	-
P1	0.5	0.3	1.0	1.2	-	-
W1	-	0.2	0.3	0.5	-	0.4
W2	-	0.6	0.6	0.9	-	0.5

Designación de Electrodo Según Norma AWS: 5.5 96

Fuente: Manual de Indura

**Ejemplo: E-7018-Mo**

**E** = Electrodo cubierto

**70** = 70 X 1000 PSI = 70.000 PSI de fuerza tensil

**1** = Cualquier posición, (de piso, horizontal, vertical y sobre cabeza) \*\*

**8** = AC o DCEP Corriente Alterna o Corriente Directa con electrodo positivo "+" \*

**Mo** = Molibdeno en el material después de depositado

## **2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS ELECTRODOS DEL PROCESO DE SOLDADURA ELÉCTRICA (SMAW)**

### **2.3.1. ELECTRODO E-6010**

Electrodo con polvo de hierro en el revestimiento, que permite una velocidad de depósito mayor y una aplicación más fácil, junto con propiedades mecánicas sobresalientes. La estabilidad del arco y el escudo protector que da el revestimiento, ayudan a dirigir el depósito reduciendo la tendencia a socavar.

#### **Características:**

- Electrodo para acero al carbono
- Con hierro en polvo
- Toda posición
- Corriente continua, electrodo positivo
- Revestimiento rojo



**Figura 2.6** Electrodo E 6010

Fuente: Laboratorio de Soldadura

Se encuentran en el mercado electrodos 6010 de las siguientes dimensiones:

**Tabla N 2. 5**

$\phi$ (mm)	$\phi$ (pulg)	Longitud (mm)	Intensidad (Amp)
2.50	3/32	350	50- 80
3.25	1/8	350	75-120
4.00	5/32	350	110-160
5.00	3/16	350	140-200

Dimensiones de Electrodo E 6010

Fuente: lincoln Electric

### **Aplicaciones:**

- Estanques
- Tuberías de presión
- Estructuras de puentes y edificios
- Cañerías y especialmente cordón raíz
- Barcos, construcción naval en general
- Planchas corrientes y galvanizadas

### **Propiedades Mecánicas del Depósito:**

*Composición Química:* C: 0.10% Máx. Mn: 0.6% Si: 0.3%

*Resistencia al la Tracción:* (460 – 500) N/mm<sup>2</sup> (66.7 – 72.5) Ksi

*Alargamiento (L= 5 d):* 25%

*Resistencia al Impacto:* 60 N.m a – 29° C.

*Limite de Fluencia:* 440 Mpa (64.000 (lb/pulg<sup>2</sup>))

### **Usos:**

Este electrodo tiene un campo de aplicación muy amplio, en especial cuando es necesario soldar en toda posición

### **Operación:**

La potencia del arco permite la soldadura en vertical descendente, a mayor velocidad, mejorando la productividad del proceso. Para soldadura en vertical ascendente disminuya la corriente. En vertical descendente aplique la técnica de arrastre, manteniendo el electrodo dentro del bisel, de forma que origine una perforación que sigue con el avance del electrodo.

### 2.3.2. ELECTODO E-6011

El electrodo 6011 posee un revestimiento de tipo celulósico diseñado para ser usado con corriente continua, electrodo positivo.

La rápida solidificación del metal depositado, facilita la soldadura en posición vertical y sobre cabeza. El arco puede ser dirigido fácilmente en cualquier posición, permitiendo altas velocidades de deposición.

#### Características:

- Electrodo para acero dulce o al carbono
- Toda posición
- Corriente continua, electrodo positivo
- Corriente alterna
- Revestimiento blanco
- Punto azul



**Figura 2.7** Electrodo E 6011

Fuente: Laboratorio de Soldadura

Se encuentran en el mercado electrodos 6011 de las siguientes dimensiones:

**Tabla N 2. 6**

$\phi$ (mm)	$\phi$ (pulg)	Longitud (mm)	Intensidad (Amp)
2.50	3/32	350	50 – 80
3.25	1/8	350	75 – 120
4.00	5/32	350	110 – 160
5.00	3/16	350	140 – 200

Dimensiones de Electrodo E 6011

Fuente : Lincoln Electric

#### Aplicaciones:

- Cordón de raíz en cañería
- Cañerías de oleoductos
- Reparaciones generales
- Estructuras

- Planchas galvanizadas

### **Propiedades Mecánicas Típicas del Depósito**

*Composición Química:* C: 0.10 % máx. Mn: 0.6% Si: 0.3%

*Resistencia a la Tracción:* (460 – 500) N/mm<sup>2</sup> (66.7 – 72.5) Ksi

*Alargamiento (L= 5d):* 25%

*Resistencia al Impacto:* 60 N.m a – 29 °C

*Límite de Fluencia:* 420 Mpa (61.000 (lb/pulg<sup>2</sup>))

### **Operación:**

La potencia del arco permite la soldadura en vertical descendente a mayor velocidad, mejorando así la productividad del proceso. Para soldadura en vertical descendente se emplea la técnica de arrastre, manteniendo el electrodo dentro de la unión, de forma que genere una perforación que avanza con el electrodo dentro del bisel. Para soldadura en vertical ascendente debe disminuirse la corriente. Límpiase bien la escoria entre pases.

### **2.3.3. ELECTRODO E-6013**

Electrodo de revestimiento rutílico, de alto rendimiento, operación muy suave, de casi nula salpicadura, de fácil encendido y reencendido. Genera cordones de penetración media, convexos, de excelente apariencia y con escoria autodesprendible.

### **Características:**

- Electrodo para acero al carbono
- Toda posición
- Corriente continua, ambas polaridades
- Corriente Alterna
- Revestimiento: gris



**Figura 2.8** Electrodo E 6013

Fuente: Laboratorio de Soldadura

## Aplicaciones

- Cerrajería
- Muebles Metálicos
- Estructuras livianas

Se encuentran en el mercado electrodos 6013 de las siguientes dimensiones:

**Tabla N 2. 7**

$\phi$ (mm)	$\phi$ (plg)	Longitud (mm)	Intensidad (A)
2.50	3/32	350	60 - 100
3.25	1/8	350	100 - 140
4.00	5/32	350	140 - 190
5.00	3/16	350	190 - 240

Dimensiones de Electrodo E 6013

Fuente: Lincoln Electric

Por su alto rendimiento se recomienda su aplicación en trabajos que requieran altos volúmenes de soldadura. Excelente para soldadura de tanques, elementos de máquinas, calderas y estructuras metálicas; donde se requiera un cordón de soldadura de fino acabado. Su campo de aplicación abarca temperaturas de trabajo desde -10 hasta +450°C.

*Resistencia a la Tracción:* (500 - 550) N/mm<sup>2</sup> (72.5 - 79.7) Ksi.

*Punto de Fluencia:* (490) N/mm<sup>2</sup> mín. (71.0) Ksi.

*Alargamiento:* (L= 5d) 25% mín

*Resistencia Ultima a la Tracción:* 4,710 - 5,000 Kg. /cm<sup>2</sup> (67,000 A 71,100 PSI)

*Limite Elástico:* 4,200 - 4,600 kg. /cm<sup>2</sup> (59,725 A 65,410 PSI)

*Alargamiento en 5 cm:* 25%

*Dureza Brinell:* 160 BHN

## Operación

Su operación es tan fácil, que aún aprendices de soldadura pueden obtener depósitos de muy buena apariencia. Se recomienda limpiar el área de soldadura y utilizar los rangos de corriente indicados para cada diámetro.

### 2.3.4. ELECTRODO E-7018

Electrodo de revestimiento básico con alto contenido de hierro en polvo que genera un rendimiento de 120%. Sus depósitos son de bajo hidrógeno, tenaces, resistentes al agrietamiento, libres de poros e inclusiones de escoria, lo cual queda demostrado al realizar el análisis radiográfico. Presenta arco estable de poca salpicadura, cordones de apariencia uniforme con fácil remoción de escoria.

#### Características:

- Electrodo para aceros al carbono y de baja aleación
- Con hierro en polvo
- Toda posición
- Corriente continua, electrodo positivo
- Excedentes propiedades de impacto a temperaturas bajo cero



**Figura 2.9** Electrodo E 7018

Fuente: Laboratorio de Soldadura

Se encuentran en el mercado electrodos 7018 de las siguientes dimensiones:

**Tabla N 2. 8**

$\phi$ (mm)	$\phi$ (pulg)	Longitud (mm)
2.50	3/32	350
3.25	1/8	350
4.00	5/32	450
5.00	3/16	450
6.00	1/4	450

Dimensiones de Electrodo E 7018

Fuente: Lincoln Electric

#### Aplicaciones

Soldadura de los aceros de bajo y medio carbono hasta 0.45%C, aceros al carbono- manganeso, aceros de baja aleación con resistencia a la tracción hasta 70000 Psi, aceros con alto contenido de azufre y fósforo considerados difíciles de soldar. Soldadura de aceros fundidos, aceros de grano fino. Su campo de aplicación abarca temperaturas de trabajo desde - 29°C hasta

350°C.

Las aplicaciones específicas incluyen plantas de potencia, plantas petroquímicas, montajes de estructuras de acero, equipos de minería, soldadura en ambientes de baja temperatura donde las propiedades de impacto sean importantes, construcción de vagones de trenes, rieles, equipos pesados. Construcciones navales en aceros de los grados A, B, D, y E, erección de plataformas costa afuera, construcción de calderas, tanques, gasoductos y oleoductos.

### Operación

Suelde con arco corto, limpie bien la escoria entre pases. Para soldaduras en vertical llevar la progresión ascendente. Los electrodos de bajo hidrógeno se recomiendan almacenar en termos a temperaturas entre 70 y 120°C para uso inmediato.

*Composición Química* C: 0.08% Máx. Mn: (1.0 - 1.4) % Si: (0.3- 0.6) %

*Resistencia a la Tracción:* (510 - 560) N/mm<sup>2</sup> (73.9- 81.0 Ksi)

*Alargamiento:* (L = 5d): 30%

*Resistencia al Impacto:* 80 N.m a - 29° C

### 2.3.5. ELECTRODO E-7024

Electrodo de revestimiento a base de rutilo, con polvo de hierro, lo cual hace que su rendimiento usualmente sea del 150% con relación al núcleo. Se caracteriza por presentar arco suave, silencioso, con escasas proyecciones y cordones convexos de superficie lisa, excelente acabado y escoria de muy fácil remoción.

Tabla N 2. 9

$\phi$ (mm)	$\phi$ (pulg)	Longitud (mm)	Intensidad (Amp)
3.25	1/8	350	140 - 200
4.00	5/32	350	200 - 320
5.00	3/16	450	300 - 400

Dimensiones de Electrodo E 7024

Fuente: Lincoln Electric



**Figura 2.10** Electrodo E 7024

Fuente: Laboratorio de soldadura

### **Aplicaciones**

Por su alto rendimiento, ideal para soldaduras en posición plana y filete horizontal, uniones de planchas gruesas de bisel amplio. Útil en la soldadura de aceros de bajo y medio carbono con resistencia a la tracción hasta 510 N/mm<sup>2</sup>. Especialmente indicado en la fabricación de estructuras metálicas tales como: vagones de trenes, estructuras navales, tanques, elementos de máquinas y en general trabajos que requieran soldaduras de calidad radiográfica, rapidez de ejecución y alta velocidad de deposición.

### **Operación**

Opera con corriente continua y alterna. En soldadura de filete se recomienda mantener la punta del electrodo con un ligero contacto con ambas planchas. En soldadura de posiciones plana y horizontal, mantenga el arco lo más corto posible.

*Resistencia Tensil:* 5,100 - 5,490 kg. /cm<sup>2</sup> (72,522 A 78,068 PSI)

*Limite Elástico:* 4,500 - 4,800 kg. /cm<sup>2</sup> (63,990 A 68,256 PSI)

*Alargamiento en 5cm:* 22-26%

*Resistencia al Impacto:* N/A

*Dureza Brinell:* 180 BHN.

*Posiciones:* Plana y Horizontal

*Corriente:* Alterna o Directa Electrodo Positivo

*Composición química:* C: 0.08 % máx. Mn: (1.0 - 1.4) % Si: (0.3- 0.6) %

*Resistencia a la tracción:* (510 -560) N/mm<sup>2</sup> (73.9 - 81.0) Ksi

*Alargamiento:* (L= 5d): 30%

*Resistencia al impacto:* 80 N.m a + 20° C (No requerida por AWS)

## 2.4. VARIABLES BASICAS DEL PROCESO DE SOLDADURA SMAW

### 2.4.1. LONGITUD DEL ARCO.

La longitud del arco es la distancia entre la punta del electrodo y el metal que se va a soldar, a través de esta distancia se controla el voltaje del arco eléctrico, es decir el voltaje es directamente proporcional a la longitud de arco.

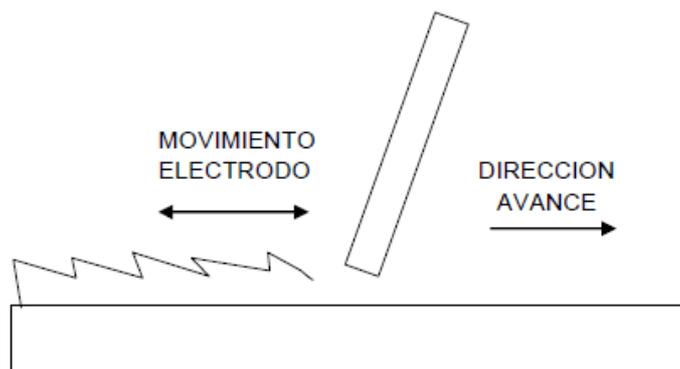
El proceso es estable cuando se mantiene la longitud de arco constante y en un valor igualo menor al diámetro del electrodo. A este proceso se denomina soldadura de arco corto.

### 2.4.2. VELOCIDAD DE SOLDADURA.

Se debe mantener la velocidad correcta si quiere obtener una buena soldadura.

Son varios los factores que determinan cual debe ser la velocidad correcta:

1. Tipo de corriente de soldadura, amperaje y polaridad.
2. Posición de soldadura.
3. Rapidez de fusión del electrodo.
4. Espesor del material.
5. Condición de la superficie del metal base.
6. Tipo de unión.
7. Técnicas de soldadura.

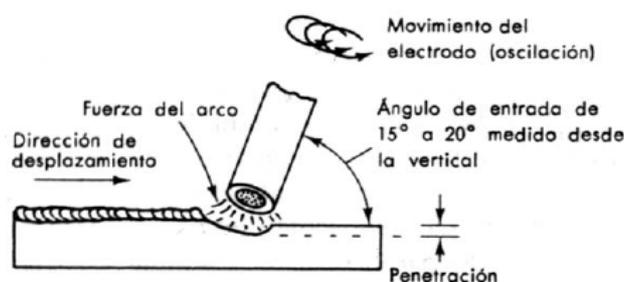


**Figura 2.11** Dirección de avance del electrodo

Fuente: Manual de Soldadura por Arco Eléctrico

### 2.4.3. ÁNGULO DEL ELECTRODO.

El ángulo que forma el electrodo con el charco también afecta la transferencia de metal, puesto que este ángulo dirige la fuerza del arco. Al acercar el ángulo hacia la vertical, aumenta la penetración. (Véase la figura 2. 2.1.) A medida que se disminuye el ángulo, se reduce la penetración. Cuando el arco apunta hacia el charco, puede suceder que el cordón se acumule y se solidifique en forma de grandes ondulaciones. Cuando se inclina el electrodo hacia la izquierda o hacia la derecha, que es lo que se conoce como ángulo de trabajo, el cordón se desplaza del centro. Hay que manejar el electrodo como si de su punta emergiera un chorro imaginario de aire. (Véase la figura 2.2.2.) El aire puede empujar el metal fundido, en cualquier punto que se dirija el electrodo. Una vez que se aprenda a controlar la fuerza del arco (fuerza del chorro), se logra mover el metal fundido hacia donde se desea.



**Figura 2.12** Angulo del Electrodo

Fuente: Manual de Soldadura por Arco Eléctrico

### 2.4.4. TÉCNICAS DE SOLDADURA.

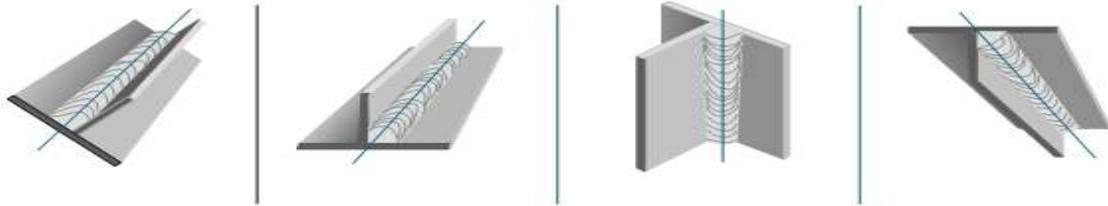
La calidad de una soldadura depende de los conocimientos y la destreza del soldador. La pericia sólo se obtiene con la práctica. Hay seis factores básicos que debe tener en cuenta el principiante antes de empezar a soldar. Los dos primeros se relacionan con la posición y la protección, los otros cuatro con el proceso de soldadura en sí.

1. Posición correcta
2. Protección para la cara
3. Longitud del arco
4. Ángulo del electrodo
5. Velocidad de avance

## 6. Amperaje

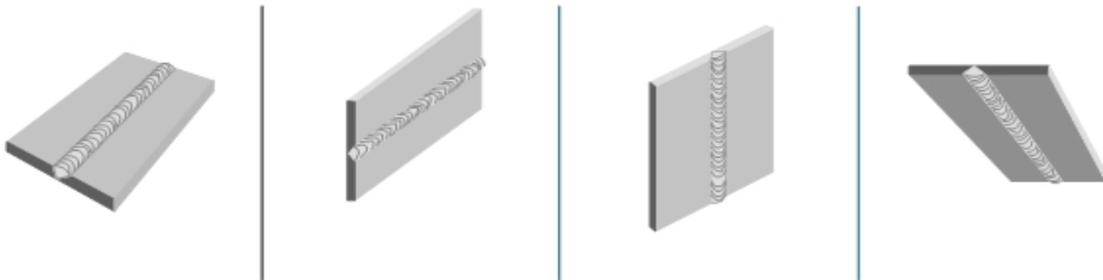
**2.5. POSICIONES DE SOLDADURA PARA PLANCHA**

Designación de acuerdo con ANSI/AWS A 3.0-85.

**Filete**

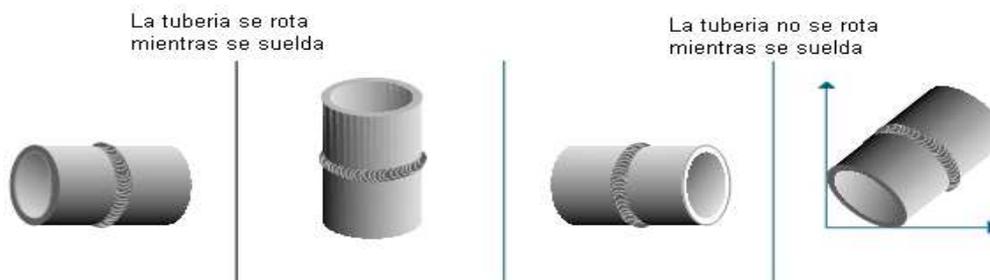
**Figura 2.13** Posiciones de Soldadura de Filete

Fuente: Manual de Indura

**Ranura**

**Figura 2.14** Posiciones de Soldadura de Ranura

Fuente: Manual de Indura

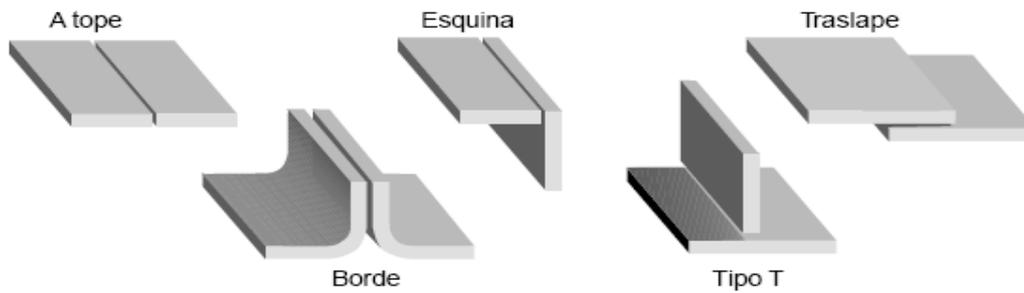
**2.6. POSICIONES DE SOLDADURA PARA TUBERÍA**

**Figura 2.15** Posiocones de Soldadura para Tubería

Fuente: Manual de Indura

## 2.7. ESQUEMAS BASICOS DE SOLDADURA

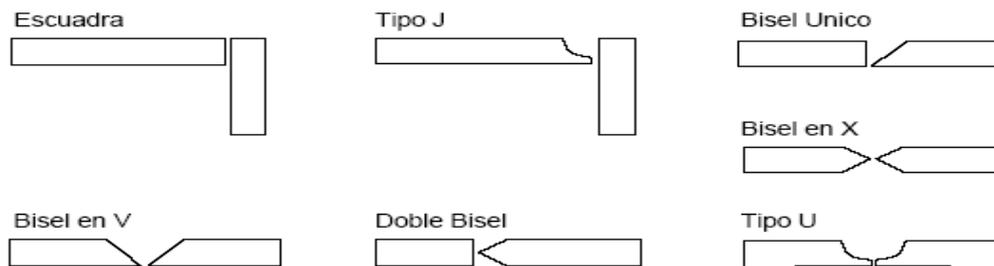
### Tipos de Junta



**Figura 2.16** Tipos de Junta

Fuente: Manual de Indura

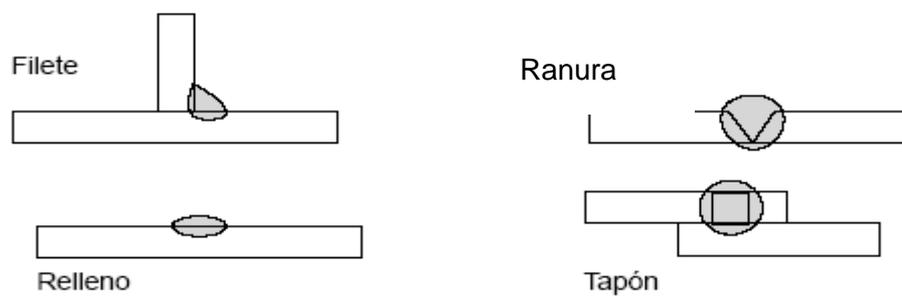
### Variaciones de bisel



**Figura 2.17** Variaciones de Bisel

Fuente: Manual de Indura

### Tipos de soldadura



**Figura 2.18** Tipos de Soldadura

Fuente: Manual de Indura

## 2.8. SEGURIDAD EN SOLDADURA SMAW

Cuando se realiza una soldadura al arco durante la cual ciertas partes conductoras de energía eléctrica están al descubierto, el operador tiene que observar con especial cuidado las reglas de seguridad, a fin de contar con la máxima protección personal y también proteger a las otras personas que trabajan a su alrededor.

En la mayor parte de los casos, la seguridad es una cuestión de sentido común. Los accidentes pueden evitarse si se cumplen las siguientes reglas:



**Figura 2.19** Equipo de Seguridad Personal

Fuente: Procedimientos de Soldadura Tecnología Industrial

1. Máscara de soldar, protege los ojos, la cara, el cuello y debe estar provista de filtros inactínicos de acuerdo al proceso e intensidades de corriente empleadas.
2. Guantes de cuero, tipo mosquetero con costura interna, para proteger las manos y muñecas.
3. Coletos o delantal de cuero, para protegerse de salpicaduras y exposición a rayos ultravioletas del arco.
4. Botas y mandil de cuero, cuando es necesario hacer soldadura en posiciones verticales y sobre cabeza, deben usarse estos aditamentos, para

evitar las severas quemaduras que puedan ocasionar las salpicaduras del metal fundido.

5. Zapatos de seguridad, que cubran los tobillos para evitar el atrape de salpicaduras.
6. Gorro, protege el cabello y el cuero cabelludo, especialmente cuando se hace soldadura en posiciones.

### **2.8.1. SEGURIDAD AL USAR UNA MÁQUINA SOLDADORA**

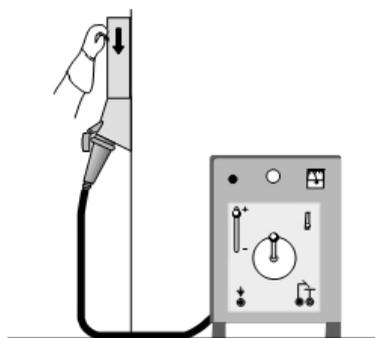
Antes de usar la máquina de soldar al arco debe guardarse ciertas precauciones, conocer su operación y manejo, como también los accesorios y herramientas adecuadas.

Para ejecutar el trabajo con facilidad y seguridad, debe observarse ciertas reglas muy simples:

## **2.9. MAQUINA SOLDADORA (Fuente de Poder)**

### **2.9.1. CIRCUITOS CON CORRIENTE:**

En la mayoría de los talleres el voltaje usado es 220 ó 380 voltios. El operador debe tener en cuenta el hecho que estos son voltajes altos, capaces de inferir graves lesiones. Por ello es muy importante que ningún trabajo se haga en los cables, interruptores, controles, etc.



**Figura 2.20** Circuito con Corriente

Fuente: Manual de Indura

## 2.9.2. LÍNEA A TIERRA

Todo circuito eléctrico debe tener una línea a tierra para evitar que la posible formación de corrientes parásitas produzca un choque eléctrico al operador, cuando éste, por ejemplo, llegue a poner una mano en la carcasa de la máquina.



**Figura 2.21** Conexión a Tierra

Fuente: Manual de Indura

## 2.9.3. SEGURIDAD EN OPERACIONES DE SOLDADURA

Condiciones ambientales que deben ser consideradas:

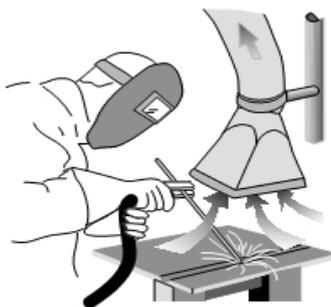
Riesgos de Incendio:

Nunca se debe soldar en la proximidad de líquidos inflamables, gases, vapores, metales en polvo o polvos combustibles.

Cuando el área de soldadura contiene gases, vapores o polvos, es necesario mantener perfectamente aireado y ventilado el lugar mientras se suelda.

### 2.9.3.1. VENTILACIÓN

Soldar en áreas confinadas sin ventilación adecuada puede considerarse una operación arriesgada, porque al consumirse el oxígeno disponible, a la par con el calor de la soldadura y el humo restante, el operador queda expuesto a severas molestias y enfermedades.



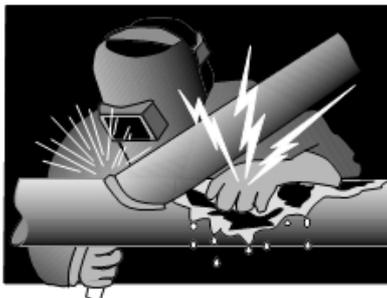
**Figura 2.22** Ventilación

Fuente: Manual de Indura

### 2.9.3.2. HUMEDAD

La humedad entre el cuerpo y algo electrificado forma una línea a tierra que puede conducir corriente al cuerpo del operador y producir un choque eléctrico.

El operador nunca debe estar sobre una poza o sobre suelo húmedo cuando suelda, como tampoco trabajar en un lugar húmedo.



**Figura 2.23** Humedad

Fuente: Manual de Indura

## 2.10. PROBLEMAS Y DEFECTOS COMUNES EN LA SOLDADURA SMAW

### 2.10.1. MAL ASPECTO



**Figura 2.24** Mal Aspecto del Cordon de Soldadura

Fuente: Manual de Indura

#### *Causas Probables*

1. Conexiones defectuosas
2. Recalentamiento
3. Electrodo inadecuado

#### *Recomendaciones*

1. Usar la longitud de arco, el ángulo (posición) del electrodo y la velocidad de avance adecuados

2. Evitar el recalentamiento
3. Usar el vaivén uniforme
4. Evitar usar corriente demasiado elevada

### 2.10.2. PENETRACIÓN EXCESIVA



**Figura 2.25** Penetración Excesiva

Fuente: Manual de Indura

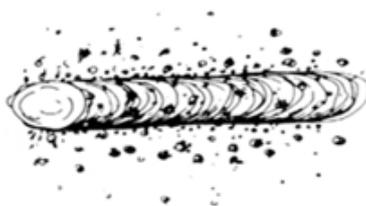
#### *Causas Probables*

1. Corriente muy elevada
2. Posición muy inadecuada del electrodo

#### *Recomendaciones*

1. Disminuir la intensidad de la corriente
2. Mantener el electrodo a un ángulo que facilite el llenado del bisel

### 2.10.3. SALPICADURA EXCESIVA



**Figura 2.26** Salpicadura Excesiva

Fuente: Manual de Indura

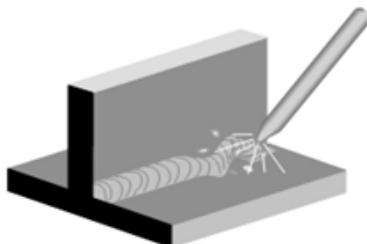
#### *Causas Probables*

1. Corriente muy elevada
2. Arco muy largo
3. Soplo magnético excesivo

### *Recomendaciones*

1. Disminuir la intensidad de la corriente.
2. Acotar el arco
3. Ver lo indicado para “Arco desviado o soplado”

#### **2.10.4. ARCO DESVIADO**



**Figura 2.27** Arco Desviado

Fuente: Manual de Indura

### *Causas Probables*

1. El campo magnético generado por la Corriente Continua que produce la desviación del arco (soplo magnético)

### *Recomendaciones*

1. Usar Corriente Alterna
2. Contrarrestar la desviación del arco con la posición del electrodo, manteniéndole a un ángulo apropiado
3. Cambiar de lugar la grampa a tierra
4. Usar un banco de trabajo no magnético
5. Usar barras de bronce o cobre para separar la pieza del banco

#### **2.10.5. SOLDADURA POROSA**



**Figura 2.28** Soldadura Porosa

Fuente: Manual de Indura

### *Causas Probables*

1. Arco corto

2. Corriente inadecuada
3. Electrodo defectuoso

#### *Recomendaciones*

1. Usar corriente adecuada
2. Utilizar el vaivén para evitar sopladuras
3. Usar en electrodo adecuado para el trabajo
4. Mantener el arco mas largo
5. Usar electrodos de bajo contenido de Nitrógeno

### **2.10.6. SOLDADURA AGRIETADA**



**Figura 2.29** Soldadura Agrietada

Fuente: Manual de Indura

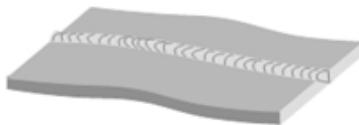
#### *Causas Probables*

1. Electrodo inadecuado
2. Falta de relación entre tamaño de la soldadura y las piezas que se unen
3. Mala preparación
4. Unión muy rígida

#### *Recomendaciones*

1. Eliminar la rigidez de la unión con un buen proyecto de la soldadura y un procedimiento de soldadura adecuado.
2. Precalentar las piezas
3. Evitar las soldaduras con primeras pasadas
4. Soldar desde el centro hacia los extremos o bordes
5. Seleccionar el electrodo adecuado
6. Adaptar el tamaño de las soldaduras a las piezas
7. Dejar las uniones una separación adecuada y uniforme

### 2.10.7. COMBADURA



**Figura 2.30** Combadura

Fuente: Manual de Indura

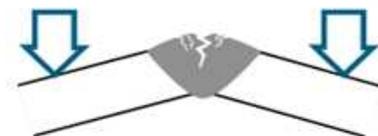
#### *Causas Probables*

1. Diseño inadecuado
2. Contracción del metal de aporte
3. Sujeción defectuosa de las piezas
4. Preparación deficiente
5. Recalentamiento en la unión

#### *Recomendaciones*

1. Corregir el diseño
2. Martillar los bordes de la unión de la unión antes de soldar
3. Aumentar la velocidad de avance
4. Evitar la separación excesiva entre las piezas
5. Fijar las piezas adecuadamente
6. Usar un respaldo enfriador
7. Adoptar una secuencia de trabajo
8. Usar electrodos de alta velocidad y moderada penetración

### 2.10.8. SOLDADURA QUEBRADIZA



**Figura 2.31** Soldadura Quebradiza

Fuente: Manual de Indura

#### *Causas Probables*

1. Electrodo inadecuado

2. Tratamiento térmico deficiente
3. Soldadura endurecida el aire
4. Enfriamiento brusco

#### *Recomendaciones*

1. Usar un electrodo con bajo contenido de hidrógeno o de tipo austenítico
2. Calentar antes o después de soldar o en ambos casos
3. Procurar poca penetración dirigiendo el arco hacia el cráter
4. Asegurar un enfriamiento lento

### **2.10.9. PENETRACIÓN INCOMPLETA**



**Figura 2.32** Penetración Incompleta

Fuente: Manual de Indura

#### *Causas Probables*

1. Velocidad excesiva
2. Electrodo de  $\emptyset$  excesivo
3. Corriente muy baja
4. Preparación deficiente
5. Electrodo de  $\emptyset$  pequeño

#### *Recomendaciones*

1. Usar corriente adecuada. Soldar con lentitud necesaria para lograr buena penetración de raíz
2. Velocidad adecuada
3. Calcular correctamente la penetración del electrodo
4. Elegir un electrodo de acuerdo con el tamaño de bisel
5. Dejar suficiente separación en el fondo de bisel

### 2.10.10. FUSIÓN DEFICIENTE



**Figura 2.33** Fusión Deficiente

Fuente: Manual de Indura

#### *Causas Probables*

1. Calentamiento desigual o irregular
2. Secuencia inadecuada de operación.
3. Contracción del metal de aporte

#### *Recomendaciones*

1. Puntear la unión o sujetar las piezas con prensas
2. Conformar las piezas antes de soldar
3. Eliminar las tensiones resultantes de la laminación o del conformado antes de soldar
4. Distribuir la soldadura para que el calentamiento sea uniforme
5. Inspeccionar la estructura y disponer una secuencia lógica de trabajo

### 2.10.11. DISTORSIÓN



**Figura 2.34** Distorsión

Fuente: Manual de Indura

#### *Causas Probables*

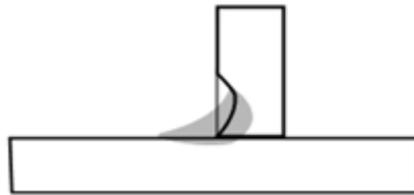
1. Calentamiento desigual o irregular
2. Orden inadecuado de operación
3. Contracción del metal de aporte

#### *Recomendaciones*

1. Puntear la unión o sujetar las piezas con prensas
2. Conformar las piezas antes de soldarlas

3. Eliminar las tensiones resultantes de la laminación o conformado antes de soldar
4. Distribuir la soldadura para que el calentamiento sea uniforme
5. Inspeccionar la estructura y disponer una secuencia lógica de trabajo

### 2.10.12. SOCAVADO



**Figura 2.35** Socavado

Fuente: Manual de Indura

#### *Causas Probables*

1. Manejo defectuoso del electrodo
2. Selección inadecuada del tipo de electrodo
3. Corriente muy elevada

#### *Recomendaciones*

1. Usar vaivén uniforme en las soldaduras de tope
2. Usar electrodo adecuado
3. Evitar vaivén exagerado
4. Usar corriente moderada y soldar lentamente.
5. Sostener el electrodo a una distancia prudente del plano vertical al soldar filetes horizontales

## CAPITULO III

### SOLDADURA BAJO PROTECCION GASEOSA CON ELECTRODO CONTINUO (GMAW/MAG-MIG)

La soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible es un proceso en el que el arco se establece entre un electrodo de hilo continuo y la pieza a soldar, estando protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte (proceso GMAW)



**Figura 3.1** Esquema representativo del proceso de soldadura GMAW  
Fuente: Sunarco Tecnología en Soldadura

#### 3.1. DESCRIPCION DEL PROCESO

El sistema GMAW fue introducido a fines del año 1940. El proceso es definido por la AWS como un proceso de soldadura al arco, donde la fusión se produce por calentamiento con un arco entre un electrodo de metal de aporte continuo y la pieza, donde la protección del arco se obtiene de un gas suministrado en forma externa, el cual protege el metal líquido de la contaminación atmosférica y ayuda a estabilizar el arco. El proceso puede ser usado en la mayoría de los metales y la gama de alambres en diferentes aleaciones y aplicaciones es casi infinita.

La soldadura GMAW es relativamente más productiva que la Soldadura de arco manual, donde las pérdidas de productividad ocurren cada vez que el soldador se detiene para reemplazar el electrodo consumido.

Por cada Kilogramo de varilla de electrodo cubierto comprado, solamente alrededor del 65% es aprovechado como parte de la soldadura (el resto es tirado a la basura o solo en algunos casos reciclado). El uso de alambre sólido y el alambre tubular ha incrementado la eficiencia entre 80-95 % a los procesos de soldadura.

El proceso GMAW opera en D.C. (*corriente directa*) usualmente con el alambre como electrodo positivo. Esto es conocido como Polaridad Negativa, La Polaridad Positiva es raramente usada por su poca transferencia de metal de aporte desde el alambre hacia la pieza de trabajo. Las corrientes de soldadura varían desde unos 50 Amperios hasta 600 Amperios en muchos casos en voltajes de 15V hasta 32V, un arco auto-estabilizado es obtenido con el uso de un sistema de fuente de poder de potencial constante (voltaje constante) y una alimentación constante del alambre.

Continuos desarrollos al proceso de soldadura GMAW lo han convertido en un proceso aplicable a todos los metales comercialmente importantes como el acero, aluminio, acero inoxidable, cobre y algunos otros. Materiales por encima de 0.076 mm (.030-in) de espesor pueden ser soldados en cualquier posición, incluyendo "de piso", vertical y sobre cabeza.

Es muy simple escoger el equipo, el alambre o electrodo, el gas de la aplicación y las condiciones óptimas para producir soldaduras de alta calidad a muy bajo costo.

En el sistema GMAW, un sistema de alimentación impulsa en forma automática y a velocidad predeterminada el alambre-electrodo hacia el trabajo o baño de fusión, mientras la pistola de soldadura se posiciona a un ángulo adecuado y se mantiene una distancia tobera-pieza, generalmente de 10 mm.

Las características más importantes al soldar aceros son:

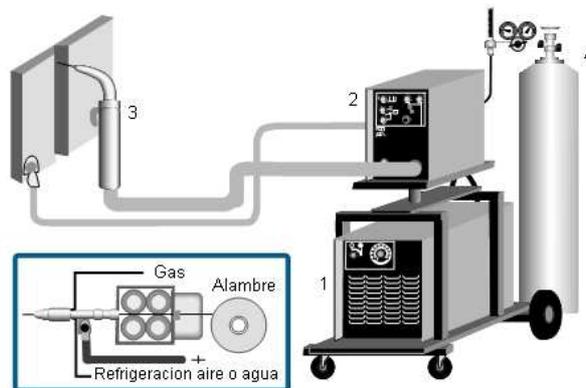
1. El arco siempre es visible para el operador.
2. La pistola y los cables de soldadura son ligeros, haciendo muy fácil su manipulación.
3. Es uno de los más versátiles entre todos los sistemas de soldadura.

4. Rapidez de deposición.
5. Alto rendimiento.
6. Posibilidad de automatización.

El sistema MIG es un proceso de soldadura por arco eléctrico, en el cual un alambre es automática y continuamente alimentado hacia la zona de soldadura a una velocidad constante y controlada. El área de soldadura y arco están debidamente protegidas por una atmósfera gaseosa suministrada externamente, que evita la contaminación.

El voltaje, amperaje y tipo de gas de protección, determinan la manera en la cual se transfiere el metal desde el alambre-electrodo al baño de soldadura. Para comprender mejor la naturaleza de estas formas de transferencia en el sistema MIG, a continuación las detallaremos.

### 3.2. REPRESENTACION DEL EQUIPO GMAW



**Figura 3.2** Equipo de Soldadura GMAW

Fuente: Manual de Indura

1. Una máquina soldadora
2. Un alimentador que controla el avance del alambre a la velocidad requerida.
3. Una pistola de soldar para dirigir directamente el alambre al área de soldadura.
4. Un gas protector, para evitar la contaminación del baño de soldadura.

5. Un carrete de alambre de tipo y diámetro específico.

### 3.3. TRANSFERENCIA METALICA

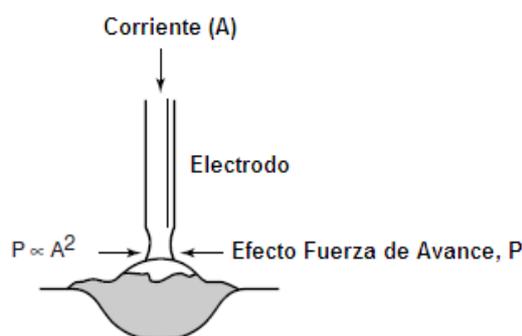
En el proceso de soldadura GMAW, las gotas de metal fundido son transferidas a través del arco, desde un alambre-electrodo alimentado continuamente, a la zona de soldadura.

Para un diámetro dado de electrodo ( $d$ ), con una protección gaseosa, la cantidad de corriente determina el tamaño de las gotas ( $D$ ) y el número de ellas que son separadas desde el electrodo por unidad de tiempo:

Zona A: A valores bajos de amperaje, las gotas crecen a un diámetro que es varias veces el diámetro del electrodo antes que éstas se separen. La velocidad de transferencia a bajos amperajes es sólo de varias gotas por segundo.

Zona B: A valores intermedios de amperaje, el tamaño de las gotas separadas decrece rápidamente a un tamaño que es igual o menor que el diámetro del electrodo, y la velocidad de separación aumenta a varios cientos por segundo.

Zona C: A valores altos de amperaje, la velocidad de separación aumenta a medida que se incrementa la corriente, las gotas son bastante pequeñas.



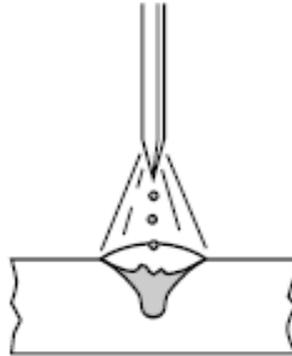
**Figura 3.3** Transferencia Metálica

Fuente: Subarco Tecnología en Soldadura

#### 3.3.1. TRANSFERENCIA SPRAY

El metal es transportado a alta velocidad en partículas muy finas a través del arco. La fuerza electromagnética es bastante fuerte para expulsar las gotas

desde la punta del electrodo en forma lineal con el eje del electrodo, sin importar la dirección a la cual el electrodo está apuntando. Se tiene transferencia Spray al soldar, con Argón, acero inoxidable y metales no ferrosos como el aluminio.

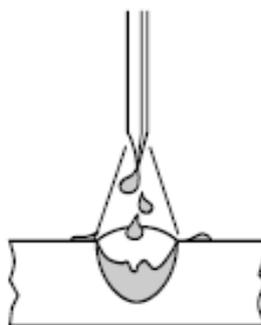


**Figura 3.4** Transferencia por Spray

Fuente: Sunarco Tecnología en Soldadura

### 3.3.2. TRANSFERENCIA GLOBULAR

El metal se transfiere en gotas de gran tamaño. La separación de las gotas ocurre cuando el peso de éstas excede la tensión superficial que tiende a sujetarlas en la punta del electrodo. La fuerza electromagnética que actuaría en una dirección para separar la gota, es pequeña en relación a la fuerza de gravedad en el rango de transferencia globular (sobre 250 A.) La transferencia globular se utiliza para soldar acero dulce en espesores mayores a 1/2" (12,7 mm.), en que se requiere gran penetración.



**Figura 3.5** Transferencia Globular

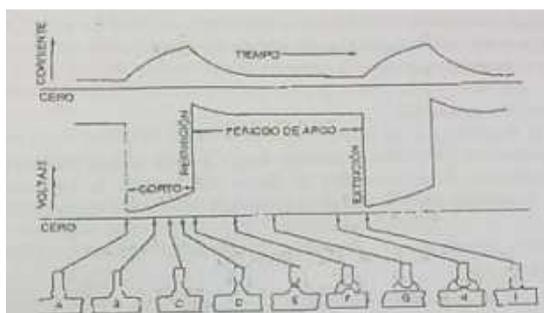
Fuente: Sunarco Tecnología en Soldadura

### 3.3.3. TRANSFERENCIA POR CORTO CIRCUITO

El metal no es transferido libremente a través del arco sino que se deposita, cuando la punta del electrodo toca el metal base. Los cortos circuitos

producidos por el contacto del electrodo con el baño fundido, ocurren con mucha regularidad, hasta 200 o más veces por segundo. El resultado final es un arco muy estable usando baja energía (inferior a 250 A.) y bajo calor. El bajo calor reduce a un mínimo la distorsión, deformación del metal y otros efectos metalúrgicos perjudiciales. Esta transferencia metálica se obtiene en presencia de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )

La figura inferior ilustra, por medio de trazos oscilo gráficos, la secuencia del voltaje y de la corriente durante un ciclo típico de soldadura por corto circuito.



**Figura 3.6** Transferencia por cortocircuito

Fuente: Manual de Soldadura Moderna

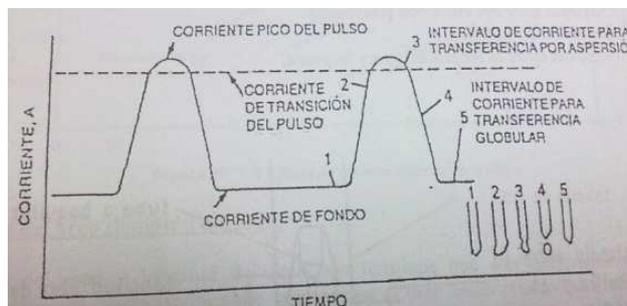
### 3.3.4. TRANSFERENCIA POR PULSOS

Este tipo de transferencia, se combina la superposición de dos corrientes, una interrumpida y de débil intensidad (llamada de base) cuyo objetivo es proporcionar al hilo la energía calorífica para mantener el arco encendido y otra constituida por una sucesión de pulsaciones a una determinada frecuencia. Cada pulsación eleva la intensidad a un valor suficiente que hace fundir una gota del mismo diámetro que el diámetro del hilo que se está utilizando.

Esta gota se desprende antes de que el extremo del hilo llegue a hacer contacto con el metal base, como consecuencia de las fuerzas internas que actúan. De esta manera se elimina en su totalidad las proyecciones, tan características de otros tipos de transferencia.

Además se consigue una gran penetración debido a la elevada intensidad durante la pulsación, y sin embargo la energía media empleada es inferior que

utilizando el proceso de soldadura GMAW lo que conlleva a una menor deformación de la pieza.



**Figura 3.7** Transferencia por pulsos

Fuente: Manual de Soldadura Moderna

### 3.4. PROTECCIÓN GASEOSA

El propósito principal del gas de protección es desalojar el aire en la zona de soldadura y así evitar su contaminación por nitrógeno, oxígeno y vapor de agua ya que debido a estas impurezas afectan las propiedades del metal de soldadura.

#### 3.4.1. GASES PROTECTORES

Gases inertes y activos se emplean en el sistema GMAW.

Cuando se desea soldar metales no ferrosos, se emplea gases inertes debido a que ellos no reaccionan con los metales. Los gases inertes usados en sistema GMAW son: Argón, Helio y mezclas de Argón-Helio.

Sin embargo, en la soldadura de metales ferrosos se puede emplear gases inertes o activos. Gases activos como: Dióxido de Carbono, Mezclas de Dióxido de Carbono, o gases protectores que contienen algún porcentaje de Oxígeno. Estos gases no son químicamente inertes y pueden formar compuestos con los metales.

Hay varios factores que es necesario considerar al determinar el tipo de gas de protección a emplear. Estos son:

1. Tipo de metal base.
2. Características del arco y tipo de transferencia metálica.

3. Velocidad de soldadura.
4. Tendencia a provocar socavaciones.
5. Penetración, ancho y forma del depósito de soldadura.
6. Disponibilidad.
7. Costo del gas.
8. Requerimientos de propiedades mecánicas.

### 3.4.2. SELECCIÓN DEL GAS DE PROTECCIÓN

El usuario puede ensayar diversos tipos de gas y mezclas de gases con diferentes proporciones de cada uno de ellos, hasta conseguir los mejores resultados de acuerdo con los equipos de soldeo e hilos de aporte disponibles. La estructura de coste de la soldadura terminada es aproximadamente la que se indica en la siguiente figura, por lo que el coste del gas puede llegar a ser irrelevante frente a otros factores, en especial la mano de obra:

### 3.5. CONSTITUCIÓN DE UN EQUIPO DE SOLDADURA GMAW

Se indican a continuación los elementos más importantes que forman parte de un equipo de soldadura GMAW



**Figura 3.7** Equipo GMAW

Fuente: [www.drweld.com](http://www.drweld.com)

#### 3.5.1. TRANSFORMADOR

El transformador es el elemento encargado de reducir la tensión alterna proveniente de red en otra que la haga apta para la soldadura, siguiendo una serie de condiciones eléctricas que se detallarán en apartados sucesivos.

Fundamentalmente, un transformador consta de un núcleo formado por chapas magnéticas apiladas en cuyas columnas se devanan dos bobinas. La primera

de ellas, que va a constituir el circuito primario consta de un número de espiras superior a la segunda, y, además, de sección inferior a ésta. La segunda, por consiguiente, que constituye el circuito secundario, tendrá menos espiras y de mayor sección.

### **3.5.2. RECTIFICADOR**

La misión de un rectificador es la de convertir la tensión alterna en continua, imprescindible para poder soldar en proceso MIG

Está constituido por un número variable de semiconductores de potencia, concretamente de diodos de silicio, soportados en aletas de aluminio con objeto de aumentar su refrigeración.

### **3.5.3. INDUCTANCIA**

La inductancia tiene como objeto el alisamiento de la corriente de soldadura, lo que da como resultado una disminución de las proyecciones, o, lo que es lo mismo, una mayor estabilidad en la soldadura. Dado que la inductancia limita el crecimiento brusco de la intensidad cada vez que se produce un cortocircuito, durante el cebado del arco, y puesto que el hilo está frío, puede darse el caso de que la intensidad no sea suficiente para aportar la energía necesaria para fundir el hilo, lo que repercutiría en un deficiente cebado. Es por ello que si el equipo de soldadura consta de una inductancia de valor inductivo elevado, estará dotado también de algún sistema que elimine este efecto durante el instante inicial.

### **3.5.4. UNIDAD ALIMENTADORA DE HILO**

Su misión consiste en proporcionar al hilo de soldadura la velocidad constante que precisa mediante un motor, generalmente de corriente continua.

La velocidad puede ser regulada por el operario mediante un botón accesible al exterior, desde valores que van de 0 a 25 m/min. En la mayoría de los equipos, la regulación de velocidad se consigue a través de un control electrónico.

El sistema de arrastre está formado por uno o dos rodillos de arrastre que trabajan contra otros rodillos de presión. Los rodillos de arrastre pueden estar moleteados o ranurados. Los moleteados facilitan el arrastre en gran medida, pero presentan el inconveniente de que arrancan al hilo partículas de cobre de su capa exterior, lo que puede provocar defectos de alimentación.

### **3.5.5. CIRCUITO DE GAS PROTECTOR**

El gas protector circula desde la bombona a la zona de soldadura a través de un conducto de gas y la propia antorcha de soldadura. A la salida de la botella debe incorporarse un manorreductor-caudalímetro que permita la regulación de gas para suministrar en todo momento el caudal adecuado a las condiciones de soldadura y a la vez, proporcionar una lectura directa de la presión del gas en la botella y del caudal que se está utilizando en la soldadura.

Una electroválvula accionada por un control electrónico, abre o cierra el paso del gas en el momento adecuado.

Según las condiciones de trabajo o exposición del mismo a corrientes de aire, deberá regularse la soldadura con un mayor o menor caudal de gas. Igualmente, debe tenerse en cuenta que cuanto mayor es la distancia entre buza y metal base, mayor deberá ser el caudal para garantizar la protección suficiente.

### **3.5.6. ANTORCHA DE SOLDADURA**

La antorcha de soldadura, y el conjunto de cables que a ella van unidos, conducen el hilo, la corriente de soldadura y el gas de protección a la zona del arco.

Para corrientes elevadas, generalmente superiores a 300 A, se utilizan antorchas refrigeradas por agua, y, por tanto, deben ir conectadas además a un sistema de refrigeración adicional.

Todo este conjunto de conductos forma la manguera de la antorcha, y va protegida por un tubo de goma. La pistola de la antorcha va provista de un pulsador para el mando a distancia del equipo.

En la punta de la pistola van acopladas una buza exterior que canaliza el gas a la zona de soldadura y una boquilla interior, denominada tubo de contacto, que proporciona el necesario contacto eléctrico a la punta del alambre para realizar el arco de soldadura.

### **3.6. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DEL ALAMBRE PARA EL PROCESO GMAW**

La AWS clasifica los alambres sólidos, usando una serie de números y letras. Para aceros al carbono, la clasificación está basada en las propiedades mecánicas del depósito de soldadura y su composición química

#### **ER-70S-6**

1. La letra E indica electrodo
2. La letra R indica varilla
3. Los dos dígitos siguientes (o tres) indican la resistencia a la tracción en miles de libras/pulg<sup>2</sup>.
4. La letra S indica que el tipo de alambre es sólido.
5. El dígito, o letra y dígito indica la composición química especial del electrodo.

#### **Clasificación AWS para los metales de aporte de la especificación A5.18**

Electrodos de acero al carbón para soldadura de arco protegida por gas"

#### **ER - XX S - X**

(1)            (2)    (3)    (4)

**(1)** Las primeras dos letras lo identifican como alambre o varilla desnudas

**(3)** Solido

**(2)** Fuerza tensil X 1000 PSI

**(4)** Composición química del alambre

### **Clasificación AWS para los metales de aporte de la especificación A5.28**

Electrodos de acero al carbono para soldadura de arco protegida por gas"

## **ER - XXX S – XXX**

**(1)**            **(2)**            **(3)**            **(4)**

**(1)** Las primeras dos letras lo identifican como alambre o varilla desnudas

**(3)** La letra intermedia indica su estado físico Solido

**(2)** Los tres primeros números indican la Fuerza tensil X 1000 PSI

**(4)** Los últimos tres dígitos indican la Composición química del alambre

### **3.7. VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE AVANCE DE HILO**

Una vez más, supóngase que se está trabajando en un punto de equilibrio A, con unos determinados parámetros de tensión e intensidad.

Si, en estas condiciones, se aumenta la velocidad de salida de hilo, se acorta la longitud de arco, y, por tanto, disminuye el valor de la tensión. El punto de trabajo pasa a ser B, tal y como se muestra en el siguiente gráfico, con un gran aumento de la intensidad:

En este momento, se restablecerá de forma automática el equilibrio entre la mayor energía que aporta la máquina y la mayor cantidad de material que ahora debe fundirse.

Del mismo modo, una disminución de la velocidad de hilo provoca un nuevo estado de las características de soldadura, que puede resumirse como de considerable disminución de la corriente de soldadura y un ligero aumento de la tensión de arco.

Puede observarse, pues, que dentro de los límites que permite la autorregulación, para cada tensión en vacío del equipo, el verdadero factor responsable de la intensidad de soldadura no es la regulación de la tensión del equipo, sino de la velocidad de avance de hilo.

### **3.8. EL CONTROL DE LA POROSIDAD**

Una suficiente desoxidación del cordón de soldadura es necesaria para minimizar la formación de monóxido de carbono CO y por consiguiente la porosidad. Para lograr esto, Algunos fabricantes han desarrollado alambres que contienen elementos con los cuales el oxígeno se combina preferentemente al carbón para formar escorias inofensivas. Estos elementos, llamados desoxidantes, son manganeso (Mn), silicón (Si), titanio (Ti), aluminio (Al), y zirconio (Zr).

### **3.9. MÉTODO OPERATORIO**

La pistola de soldadura debe mantenerse en una posición correcta para que el gas proteja de forma conveniente el baño de fusión. En este procedimiento la ejecución de la soldadura puede realizarse de derecha a izquierda o de izquierda a derecha.

La inclinación de la antorcha respecto a la vertical será aproximadamente de unos 10°, no siendo recomendable su utilización para inclinaciones superiores a los 20°.

La longitud libre de hilo deberá estar comprendida entre 8 y 20 mm.

Dentro de este amplio margen de distancia de hilo, deberá tenerse en cuenta el concepto especificado en el apartado de autorregulación. Además, si la longitud libre de hilo es demasiado pequeña, será difícil la observación del baño de fusión y la buza se llenará de proyecciones.

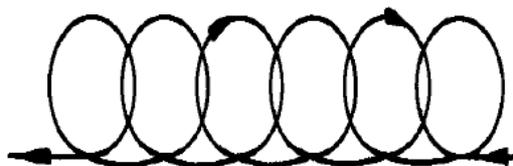
El movimiento de la pistola al ejecutar soldaduras planas, puede ser:

### 3.9.1. MOVIMIENTO LINEAL

Es el preferido para realizar cordones de raíz en planchas de poco espesor.

### 3.9.2. MOVIMIENTO CIRCULAR

Es el adecuado para evitar penetraciones muy grandes cuando hay grandes separaciones entre los bordes de las chapas y deben realizarse cordones anchos. También es adecuado para realizar cordones de raíz en ángulos de mediano espesor.

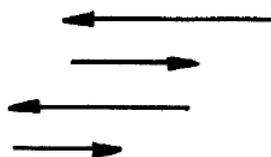


**Figura 3.9** Cordón de Soldadura con Movimiento Circular

Fuente: Manual de Practicas de Soldadura

### 3.9.3. MOVIMIENTO A IMPULSOS

El movimiento hacia adelante y hacia atrás se utiliza cuando se quiere realizar un cordón fino y, sin embargo, con una gran penetración, cuando existe pequeña separación entre los bordes a soldar; también se emplea en cordones de ángulo en los que no haya que aportar grandes cantidades de material. Este movimiento de avance y retroceso de la pistola de soldadura se realiza en general de manera que el avance sea rápido y el retroceso lento.



**Figura 3.10** Cordón de soldadura con movimiento a impulsos

Fuente: Manual de Prácticas de Soldadura

### 3.9.4. MOVIMIENTO PERPENDICULAR

Es el adecuado cuando debe realizarse un cordón muy ancho. Se emplea preferentemente para realizar las últimas pasadas en las soldaduras que

requieren varias de ellas. También es el más indicado en soldaduras de rincón que necesiten una gran aportación de material.



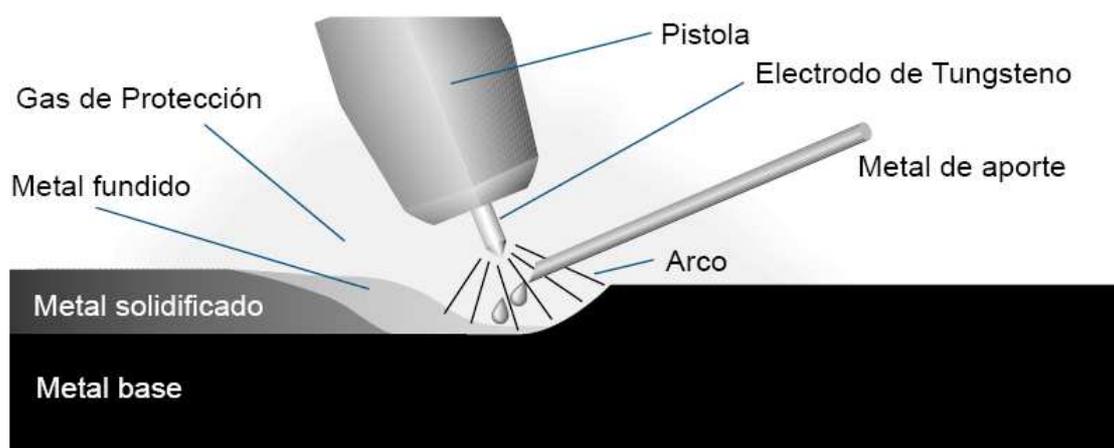
**Figura 3.11** Cordón de soldadura con movimiento perpendicular  
Fuente: Manual de Prácticas de Soldadura

## CAPITULO IV

### SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO (GTAW/TIG)

En nuestros días, las exigencias tecnológicas en cuanto a calidad y confiabilidad de las uniones soldadas, obligan a adoptar nuevos sistemas, destacándose entre ellos la soldadura al Arco con Electrodo de Tungsteno y Protección Gaseosa (TIG).

El sistema TIG es un sistema de soldadura al arco con protección gaseosa, que utiliza el intenso calor de un arco eléctrico generado entre un electrodo de tungsteno no consumible y la pieza a soldar, donde puede o no utilizarse metal de aporte.



**Figura 4.1** Diagrama Esquemático del Proceso de Soldadura GTAW

Fuente: [www.drweld.com](http://www.drweld.com)

Las soldaduras hechas con sistema TIG son más fuertes, más resistentes a la corrosión y más dúctiles que las realizadas con electrodos convencionales. Cuando se necesita alta calidad y mayores requerimientos de terminación, se hace necesario utilizar el sistema TIG para lograr soldaduras homogéneas, de buena apariencia y con un acabado completamente liso.

#### 4.1. FUNDAMENTOS DEL PROCESO

El proceso GTAW se basa en el uso de un electrodo de tungsteno (o una aleación de tungsteno) no consumible sostenido en una antorcha (o soplete).

Se alimenta un gas de protección para proteger el electrodo, la pileta líquida y el metal de soldadura durante la solidificación de la contaminación atmosférica. El arco eléctrico se produce por el paso de la corriente a través del gas de protección ionizado, que conduce la electricidad. El arco se establece entre la punta del electrodo y la superficie de trabajo. El calor generado 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.

Todos los sistemas de soldadura GTAW tienen en común cuatro componentes básicos.

## 4.2. POLARIDAD DE LA CORRIENTE

### 4.2.1. CORRIENTE CONTINUA POLARIDAD DIRECTA

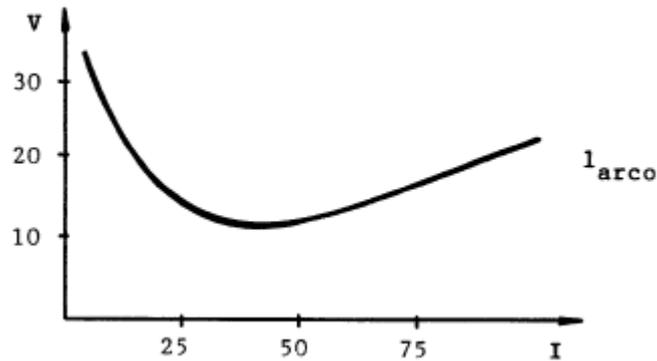
Cuando el electrodo de tungsteno tiene polaridad negativa y la pieza positiva (polaridad directa), los electrones dejan el electrodo y chocan contra el metal base, proporcionando con ello dos terceras partes de la energía total (tensión X intensidad) en forma de calor en el metal base. El arco formado bajo el gas protector tiene forma de campana, proporcionando una penetración estrecha y profunda:



**Figura 4.2** Penetración con corriente continua, polaridad directa

Fuente: Sunarco Tecnología en Soldadura

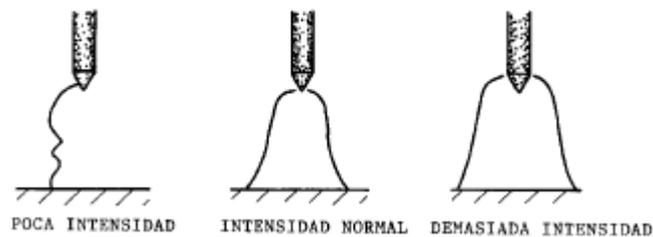
A continuación se representa la característica de arco cuando se utiliza tensión continua para el proceso de soldadura TIG:



**Figura 4.3** Representación del arco

Fuente: Sunarco Tecnología en Soldadura

Con intensidades bajas (hasta unos 25 A), la tensión cae rápidamente al aumentar la intensidad. A partir de este valor, la tensión crece paulatinamente con la intensidad, ya que, al aumentar ésta, el punto de ignición del extremo del electrodo se desplaza hacia arriba, con lo que aumenta la longitud media del arco, o, lo que es lo mismo, aumenta la tensión



**Figura 4.4** Intensidad de la corriente

Fuente: Sunarco Tecnología en Soldadura

Además, como puede observarse en el dibujo precedente, el arco no solo aumenta su longitud, sino que aumenta la base del arco en la pieza, con lo que varía algo la distribución de la energía en la pieza (disminución de la energía por unidad de superficie).

En soldadura TIG manual, normalmente se amuela la punta del electrodo un ángulo de aproximadamente 40°, sin embargo, en soldadura automática es recomendable un ángulo de 90°.

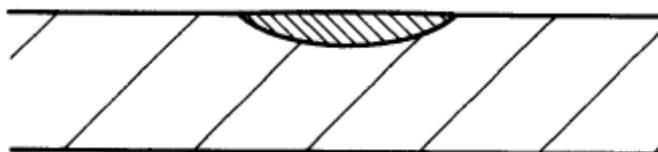
#### **4.2.2. CORRIENTE CONTINUA. POLARIDAD INVERSA.**

En la polaridad inversa, el electrodo se encuentra a potencial positivo respecto a la pieza, conectada ésta al polo negativo.

En este caso, y puesto que la energía en forma de calor se distribuye en 2/3 en el polo positivo y 1/3 en el negativo, se necesita un electrodo mucho mayor que una soldadura a igual intensidad en polaridad directa: por ejemplo, si a 150 A se puede soldar con un electrodo de 1,6 mm en polaridad directa, a igual intensidad, es preciso utilizar un electrodo de 4,8 mm en polaridad inversa.

En este método, deben destacarse dos consecuencias importantes:

La penetración es poca y ancha:



**Figura 4.5** Penetración con corriente continua, polaridad inversa

Fuente: Sunarco Tecnología de Soldadura

Se produce un efecto de descontaminación, ya que los electrones que salen de la pieza rompen la película de óxidos y arrinconan las impurezas a un lado.

En la práctica, el método de la polaridad inversa no tiene apenas aplicación; solo en casos excepcionales como chapas muy finas de magnesio, es donde el proceso adquiere una cierta utilización.

### **4.3. CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DEL SISTEMA GTAW**

- No se requiere de fundente, y no hay necesidad de limpieza posterior en la soldadura.
- No hay salpicadura, chispas ni emanaciones, al no circular metal de aporte a través del arco.
- Brinda soldaduras de alta calidad en todas las posiciones, sin distorsión.
- Al igual que todos los sistemas de soldadura con protección gaseosa, el área de soldadura es claramente visible.
- El sistema puede ser automatizado, controlando mecánicamente la pistola y/o el metal de aporte.

#### 4.4. EQUIPO

El equipo para sistema TIG consta básicamente de:

- Fuente de poder
- Unidad de alta frecuencia
- Pistola
- Suministro gas de protección
- Suministro agua de enfriamiento

La pistola asegura el electrodo de tungsteno que conduce la corriente, el que está rodeado por una boquilla de cerámica que hace fluir concéntricamente el gas protector.

La pistola normalmente se refrigera por aire. Para intensidades de corriente superiores a 200 A. Se utiliza refrigeración por agua, para evitar el recalentamiento del mango.



**Figura 4.6** Equipo de soldadura TIG

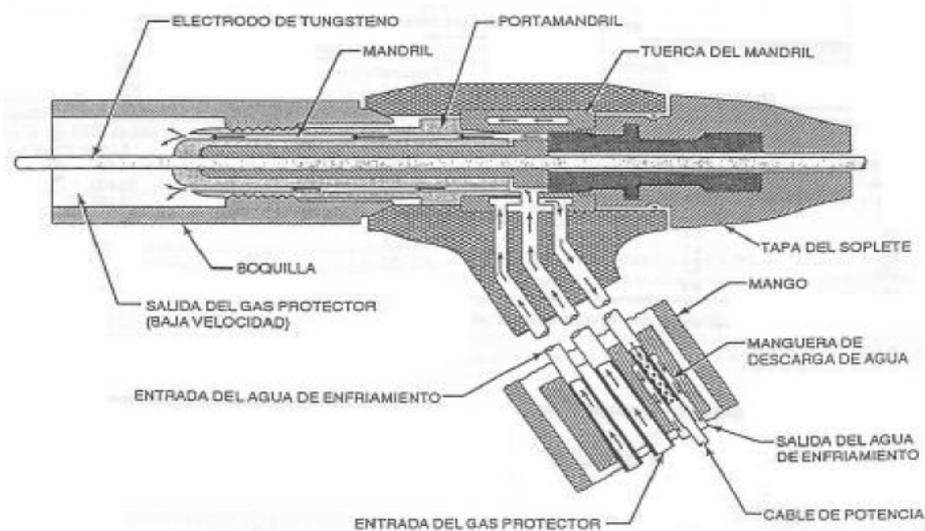
Fuente: [www.drweld.com](http://www.drweld.com)

##### 4.4.1. SOPLETE O TORCHAS

Los sopletes de GTAW sostienen el electrodo de tungsteno que transporta la corriente de soldadura y conducen el gas de protector a la zona de soldadura.

La elección de un soplete se basa en al corriente máxima de soldadura que

pueden transportar sin recalentarse. La mayoría de los sopletes permiten manejar electrodos de distintos tamaños para un intervalo dado de boquillas. En función de la corriente máxima de trabajo los sopletes podrán ser refrigerados con agua o con gas, estos últimos eliminan el calor por medio del gas de protección. Los sopletes refrigerados por gas están limitados a una corriente máxima de soldadura de 200 Amperes. En los sopletes enfriados por agua pueden llegar a utilizarse corrientes entre 300 y 500 Amperes.



**Figura 4.7** Diagrama de Sopletes

Fuente: Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno no Consumible

Casi todos los sopletes para aplicaciones manuales tienen un ángulo de cabeza (el ángulo entre la posición del soplete y el mango) de  $120^\circ$ . También hay sopletes con cabeza de ángulo ajustable, cabeza a  $90^\circ$ , o cabeza en línea recta. Los sopletes manuales contienen interruptores en el mango que les permiten manejar la corriente y el gas de protección.

Los accesorios que utiliza el soplete son los mandriles y las boquillas.

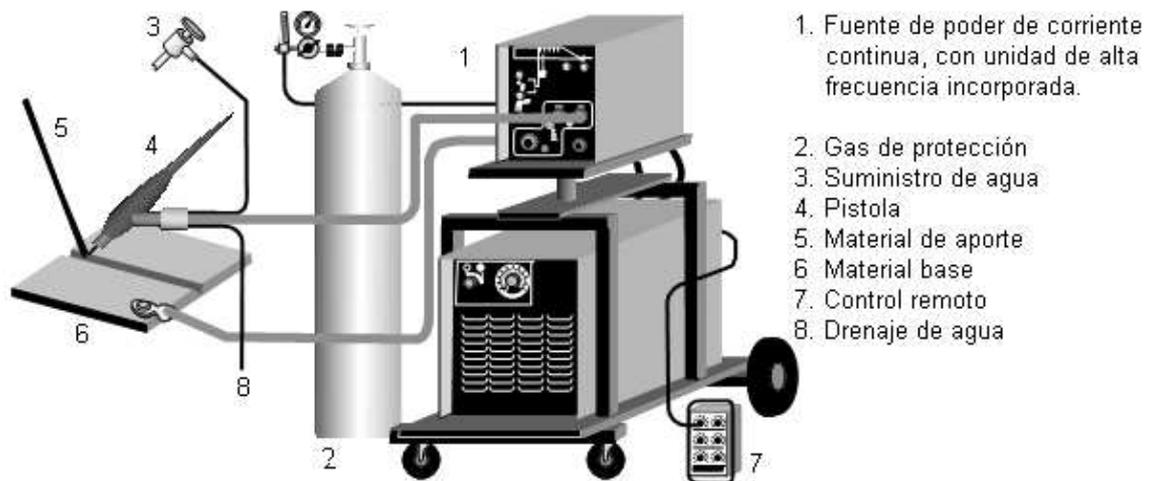
Los mandriles generalmente son de cobre y el tamaño debe adecuarse al electrodo. Es importante que cuando se ajusta el electrodo por medio de la tapa del soplete haya un buen contacto entre el mandril y el electrodo. Esto permite una buena transferencia de la corriente sin sobrecalentamiento.



**Figura 4.8** Tipos de Torchas

Fuente: Fuente: Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno no Consumible

#### 4.4.2. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL EQUIPO TIG



**Figura 4.9** Diagrama Esquemático del Equipo TIG

Fuente: Manual de Indura

#### 4.5. ELECTRODOS

Los electrodos de tungsteno son no consumibles, si el proceso se emplea como es debido, ya que no se derriten ni transfieren a la soldadura. La función del electrodo de tungsteno es servir como una de las terminales eléctricas del arco que proporciona el calor necesario para soldar. La temperatura de fusión del tungsteno es de  $3410\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 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 el cuerpo del mismo.

Cinco factores se consideran en la selección de los electrodos para GTAW: composición química, tamaño, forma de la punta, mandriles y boquillas.

Los electrodos para sistema TIG de acuerdo a la norma AWS A5.12, están fabricados con tungsteno o aleaciones de tungsteno, lo que lo hace prácticamente no consumibles, ya que su punto de fusión es sobre los 3.800°C.

Su identificación se realiza por el color de su extremo:

Diámetros más utilizados: 1.6 mm (1/16"), 2.4 mm (3/ 32"), 3.2 mm (1/8").

Largos estándar: 3" y 7"

La adición de 2% de torio permite una mayor capacidad de corriente, mejor iniciación y estabilidad del arco.

**Tabla 4. 1**

<b>Tipos de electrodos</b>	<b>Identificación</b>	<b>AWS</b>
Electrodos de tungsteno puro	Punto verde	EWP
Electrodos de tungsteno-torio (1% Th)	Punto amarillo	EWTh-1
Electrodos de tungsteno-torio (2% Th)	Punto rojo	EWTh-2
Electrodos de tungsteno-zirconio	Punto café	EWZr

Tipos de Electrodos  
Fuente: Enciclopedia de la Soldadura

**Tabla 4. 2**

<b>Material</b>	<b>Tipo corriente</b>	<b>Penetración</b>	<b>Gas</b>	<b>Electrodo</b>
Aluminio	CAAF	Media	Argón	W
Acero inoxidable	CCEN	Alta	Argón	W - Th
Acero dulce	CCEN	Alta	Argón o Helio	W -Th

Cobre	CCEN	Alta	Argón o Helio	W –Th
Níquel	CCEN	Alta	Argón	W –Th
Magnesio	CAAF	Media	Argón	W

Tipos de Materiales

Fuente: Enciclopedia de la Soldadura

CAAF: Corriente Alterna y Alta Frecuencia

CCEN: Corriente Continua Electrodo Negativo

W: Tungsteno

W –Th: Tungsteno-Torio

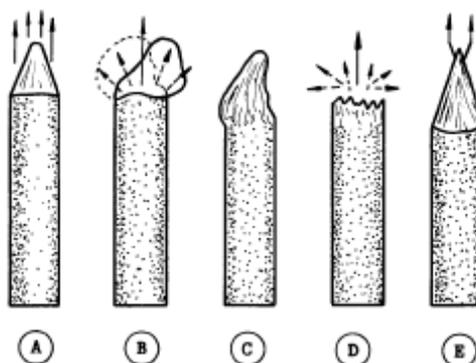
#### **4.5.1. FORMA DE LOS ELECTRODOS.**

La punta del electrodo juega un papel importante sobre la estabilidad del arco y la penetración de la soldadura.

En corriente alterna, el extremo de un electrodo debe ser hemisférico; en el caso de que se forme una gota, es porque la densidad de corriente límite ha sido sobrepasada. Empleando tungsteno toriado, raramente se llega a obtener una forma hemisférica, y si la densidad de corriente es excesiva, el extremo se convierte en irregular.

En corriente continua, los electrodos deben ser puntiagudos, sobre todo si la densidad de corriente es débil; cuanto más agudo es el ángulo, más grande es la penetración. La altura de la punta debe ser en principio 1,5 veces el diámetro del electrodo. Esta forma cónica se obtiene por amoladura, pero la forma de la punta se hace libremente bajo la acción del arco. Puede darse el caso de que la superficie del cono de un electrodo en tungsteno toriado esté insuficientemente pulida, lo que provoca inestabilidad de arco; en ese caso, basta con aumentarla intensidad de la corriente durante un corto instante para obtener una superficie perfectamente lisa.

Se indican a continuación diversos casos de funcionamiento. Las flechas continuas indican la dirección general de la corriente, y las flechas discontinuas indican la tendencia a arcos parásitos:



**Figura 4.10** Forma de los electrodos

Fuente: Sunarco Tecnología en Soldadura

En el caso de la figura A, el electrodo está bien afilado y sano, ha sido utilizado en corriente continua en condiciones de intensidad normales. El afilado en cono sin punta permite tener un arco puntual estable, bien centrado.

En la figura B, la punta del electrodo se ha fundido bajo la acción de una intensidad demasiado elevada. La punta se ha deformado y el arco está vagabundo y mal dirigido, ya que la bola de metal oscila durante la soldadura, que se convierte difícil o imposible.

En la figura C, el electrodo se ha utilizado sin protección gaseosa, pudiera ser por corte del caudal demasiado pronto. El electrodo se ha contaminado, por lo que se impone restablecer su estado o cambiarlo.

En la figura D, se han soldado aleaciones ligeras con un electrodo toriado y una intensidad demasiado baja, de manera que la bola en el extremo del electrodo no se ha formado. Es preciso aumentar la intensidad, o el arco será errático.

En la figura E, el electrodo se ha afilado con demasiada punta; sucederá un desgaste rápido, puesto que la punta debe soportar intensidades de corriente demasiado elevadas, con lo que se fundirá y habrá inclusiones de tungsteno en la soldadura.

## **4.6. GASES DE PROTECCION**

El soplete dirige el gas hacia el arco y la pileta líquida con el fin de proteger el electrodo y el metal fundido de la contaminación atmosférica. También suele utilizarse gas purgante de respaldo para proteger el lado de debajo de la soldadura y las superficies del metal base adyacente contra la oxidación durante al soldadura. El argón y el helio o la mezcla de ambos, son los gases inertes más utilizados en soldadura.

El caudal de gas depende del tamaño de la boquilla, en general se recomienda 7 a 16l/min para el argón y 14-24l/min para el helio.

### **4.6.1. ARGON**

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

Para soldadura se refina hasta 99,95%, esto es aceptable para la mayor parte de los metales excepto los reactivos y refractarios para los cuales se requiere una pureza mínima de 99,997%.

El Ar se utiliza más que el He por las siguientes ventajas:

1. Acción de arco más uniforme y silencioso
2. Menor penetración
3. Acción de limpieza al soldar materiales como Aluminio y el magnesio
4. Menor costo y mayor disponibilidad
5. Buena protección con menores caudales
6. Mayor resistencia a ráfagas transversales
7. Más fácil iniciación del arco.

La menor penetración del Ar resulta especialmente útil para soldar materiales delgados, y para la soldadura vertical y sobre cabeza.

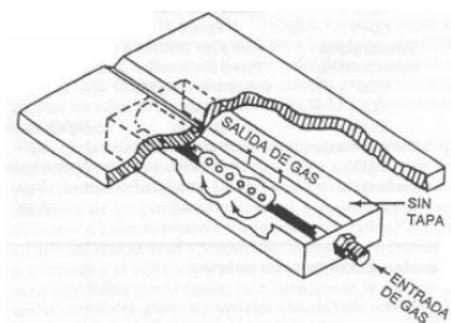
### 4.6.2. HELIO

El He es un gas monoatómico inerte muy ligero con peso molecular cuatro. Se obtiene por separación a partir del gas natural. Para su uso en soldadura se refina hasta 99,99%.

Con valores fijos de corriente de soldadura y longitud de arco, el He transfiere más calor al trabajo que el Ar, lo que lo hace ventajoso para soldar metales de elevada conductividad térmica y aplicaciones mecanizadas a alta velocidad. También se prefiere para soldar placas gruesas. Las mezclas de He y Ar son útiles cuando se desea un término medio entre las características de ambos gases.

### 4.6.3. GAS DE RESPALDO.

Al efectuar la pasada 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 helo son adecuados como gas de respaldo independiente del material. Hay varios dispositivos que sirven para contener el gas de protección en el lado de atrás. Cuando se purga un sistema de tuberías es importante contar con un escape adecuado, como muestra la figura 4.3, a fin de evitar que suba demasiado la presión durante la soldadura.



**Figura 4.11** Gas de Respaldo

Fuente: Sunarco Manual de Soldadura

## 4.7. TÉCNICAS DEL PROCESO GTAW

La soldadura en GTAW puede ser manual, semiautomática o automática

Una vez iniciado el arco el electrodo se mueve describiendo un círculo pequeño hasta establecer la pileta líquida. Luego se sostienen la torcha con un ángulo

de 15 ° respecto a la vertical y se mueve a lo largo de la unión para fundir progresivamente la superficie de empalme. El metal de aporte s, si se usa, se añade en el borde delantero de la pileta.

En la soldadura semiautomática la torcha lleva la alimentación de metal de aporte, el soldador solo controla el avance de la misma

#### **4.8. MATERIALES**

Casi todos los metales pueden unirse con GTAW, no se tratan en este apunte aspectos vinculados con al soldabilidad de las distintas aleaciones.

Para la elección del metal de aporte, se aplican los mismos criterios que en GMAW,

#### **4.9. APLICACIONES DEL SISTEMA GTAW**

- Este sistema puede ser aplicado casi a cualquier tipo de metal, como: Aluminio, Acero Inoxidable, Acero al Carbono, Hierro Fundido, Cobre, Níquel, Magnesio, etc.
- Es especialmente apto para unión de metales de es pesores delgados, desde 0,5 mm, debido al control preciso del calor del arco y la facilidad de aplicación con o sin metal de aporte .Ej.: tuberías, estanques, etc.
- Se utiliza también en unión de espesores mayores, cuando se requiere calidad y buena terminación de la soldadura.
- Se puede utilizar para aplicaciones de recubrimientos duros de superficie y para realizar cordones de raíz en cañerías de acero al carbono.
- En soldaduras por Arco Pulsado, suministra mayor control del calor generado por el arco con piezas de espesores muy delgados y soldaduras en posición.
- Para soldadura de cañería, es ventajosa la combinación

## CAPITULO V

### GUIA PRÁCTICAS DE SOLDADURA

#### 5.1. PRACTICA #1 (SMAW)

**Objetivo:**

Realizar cordones de soldadura controlando la velocidad de avance, á ángulo del electrodo, su penetración, tipo de escoria, salpicaduras, amperaje, voltaje.

**Materiales:**

Electrodos E6010, E6011, E6013, E7018, E7024;

Diámetro del electrodo 1/8"

Platina de acero SAE 1010 de 4mm

Soldadora por arco eléctrico

#### 5.1.1. CUADRO DE ESTUDIO

Tabla 5. 1

<b>ELECTRODOS</b>	<b>6010</b>	<b>6011</b>	<b>6013</b>	<b>7018</b>	<b>7024</b>
Factores de Avance (Factibilidad de manejo)	10	8	6	5	5
Penetración	10	7	5	5	5
Angulo de Electrodo	20°	20°	20°	20°	20°
Intensidad (Amperios)	75 - 120	75 - 120	100- 140	100- 140	130-170
Corriente	CC+	CC+	CA, CC+	CC+	CA, CC+
Tipo de Junta	-	-	-	-	-
Protección Gaseosa	-	-	-	-	-

Voltaje	17-40V	17-40V	17-40V	17-40V	17-40V
Soldabilidad del metal base	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Posición de Soldadura	Todas	Todas	Todas	Todas	Plana y horizontal

Características de los Electrodo  
Fuente: Manual de Prácticas de Soldadura

Para una manera más sencilla de entender el cuadro de estudio se le ha dado un valor numérico a cada ítem de los diferentes tipos de electrodos siendo del 1 el de más baja calidad al 10 de una excelente calidad.

## 5.2. PRACTICA #2 (SMAW)

### Objetivo

Realizar una probeta con cordones de soldadura variando el régimen de soldadura (velocidad de avance, amperaje, voltaje) de los electrodos.

### Materiales

Electrodos E6010, E6011, E6013, E7018, E7024;

Diámetro del electrodo 1/8"

Platina de acero SAE 1010 de 4mm

Soldadora eléctrica

### Instrucciones del Trabajo

Realice cordones a lo largo de la probeta:

1. Colocar la probeta en posición y limpiar su superficie
2. Revisar la conexión instalado o puesto de trabajo
3. Realizar un cordón de soldadura con amperaje normal, con voltaje normal y velocidad de avance normal (A)
4. Realizar un cordón de soldadura con un bajo amperaje, con voltaje normal y velocidad de avance normal (B)
5. Realizar un cordón de soldadura con amperaje alto, con voltaje normal y velocidad de avance normal (C)
6. Realizar un cordón de soldadura con amperaje normal, con bajo voltaje y velocidad de avance normal (D)
7. Realizar un cordón de soldadura con amperaje normal, con alto voltaje y velocidad de avance normal (E)
8. Realizar un cordón de soldadura con amperaje normal, con voltaje normal y alta velocidad de avance (F)
9. Realizar un cordón de soldadura con amperaje normal, con voltaje normal y baja velocidad de avance (G)
10. Realizar el cuadro de estudio

**Electrodo E6010**

	<b>VARIABLE DE OPERACIÓN</b>	<b>COMPORTAMIENTO DEL ARCO</b>	<b>FUSION Y PENETRACION</b>	<b>METAL DEPOSITADO</b>	<b>APARIENCIA</b>
<b>A</b>	amperaje normal, voltaje normal, velocidad normal	Excesiva salpicadura y ruido de crujido	Máxima Penetración	Apariencia normal	Fusión excelente, sin solape
<b>B</b>	bajo amperaje, voltaje normal, velocidad normal	Salpicadura mínima	Escasa penetración	Apariencia normal	Fusión excelente, sin solape
<b>C</b>	amperaje alto, voltaje normal, velocidad normal	Mínima salpicadura	Bastante profunda bien definida	Mala apariencia	Sin solape mala fusión
<b>D</b>	amperaje normal, bajo voltaje, velocidad normal	Bastante salpicadura, ruido excesivo	Mala Penetración	Regular	Fusión regular
<b>E</b>	amperaje normal, alto voltaje, velocidad normal	Corte del arco con bastante ruido	Penetración no muy profunda	Irregular	Mala apariencia con solapes
<b>F</b>	amperaje normal, voltaje normal, alta velocidad	Mínima salpicadura	Penetración no muy profunda	Regular	Fusión regular
<b>G</b>	amperaje normal, voltaje normal, baja velocidad	Bastante ruido	Penetración excesiva	Irregular	Solape, porosidades

**Electrodo E6011**

	<b>VARIABLE DE OPERACIÓN</b>	<b>COMPORTAMIENTO DEL ARCO</b>	<b>FUSION Y PENETRACION</b>	<b>METAL DEPOSITADO</b>	<b>APARIENCIA</b>
<b>A</b>	amperaje normal, voltaje normal, velocidad normal	Excesiva salpicadura y ruido de crujido	Máxima Penetración	Apariencia normal	Fusión excelente, sin solape
<b>B</b>	bajo amperaje, voltaje normal, velocidad normal	Mínima salpicadura	Escasa penetración	Apariencia normal	Fusión excelente, sin solape
<b>C</b>	amperaje alto, voltaje normal, velocidad normal	Bastante ruido	Máxima Penetración	Irregular	Sin solape mala fusión
<b>D</b>	amperaje normal, bajo voltaje, velocidad normal	Bastante salpicadura, ruido excesivo	Mala Penetración	Regular	Fusión regular
<b>E</b>	amperaje normal, alto voltaje, velocidad normal	Corte del arco con ruido excesivo	Penetración poca profunda	Irregular	Mala apariencia
<b>F</b>	amperaje normal, voltaje normal, alta velocidad	Mínima salpicadura	Penetración poca profunda	Irregular	Fusión regular
<b>G</b>	amperaje normal, voltaje normal, baja velocidad	Ruido excesivo	Máxima penetración	Irregular	Solape, porosidades

**Electrodo E6013**

	<b>VARIABLE DE OPERACION</b>	<b>COMPORTAMIENTO DEL ARCO</b>	<b>FUSION Y PENETRACION</b>	<b>METAL DEPOSITADO</b>	<b>APARIENCIA</b>
<b>A</b>	amperaje normal, voltaje normal, velocidad normal	Excesiva salpicadura poco ruido	Penetración normal	Apariencia normal	Fusión excelente, sin solape
<b>B</b>	bajo amperaje, voltaje normal, velocidad normal	Mínima salpicadura	Escasa penetración	Apariencia normal	Fusión regular, sin solape
<b>C</b>	amperaje alto, voltaje normal, velocidad normal	Ruido excesivo	Máxima Penetración	Mala apariencia	Sin solape mala fusión
<b>D</b>	amperaje normal, bajo voltaje, velocidad normal	Bastante salpicadura, ruido excesivo	Mala Penetración	Irregular	Fusión regular
<b>E</b>	amperaje normal, alto voltaje, velocidad normal	Corte del arco con ruido excesivo	Penetración profunda	Mala apariencia	Mala apariencia
<b>F</b>	amperaje normal, voltaje normal, alta velocidad	Mínima salpicadura	Penetración poca profunda	Irregular	Fusión regular
<b>G</b>	amperaje normal, voltaje normal, baja velocidad	Mínima salpicadura	Máxima penetración	Irregular	Fusión regular

**Electrodo E7018**

	<b>VARIABLE DE OPERACION</b>	<b>COMPORTAMIENTO DEL ARCO</b>	<b>FUSION Y PENETRACION</b>	<b>METAL DEPOSITADO</b>	<b>APARIENCIA</b>
<b>A</b>	amperaje normal, voltaje normal, velocidad normal	Poca salpicadura ruido mínimo de crujido	Máxima Penetración	Apariencia normal	Fusión excelente, sin solape
<b>B</b>	bajo amperaje, voltaje normal, velocidad normal	Mínima salpicadura	Penetración normal	Apariencia normal	Fusión excelente, sin solape
<b>C</b>	amperaje alto, voltaje normal, velocidad normal	Bastante ruido	Máxima Penetración	Mala apariencia	Sin solape mala fusión
<b>D</b>	amperaje normal, bajo voltaje, velocidad normal	Bastante salpicadura, ruido excesivo	Mala Penetración	Regular	Fusión regular
<b>E</b>	amperaje normal, alto voltaje, velocidad normal	Corte del arco con ruido excesivo	Penetración poca profunda	Irregular	Mala apariencia
<b>F</b>	amperaje normal, voltaje normal, alta velocidad	Mínima salpicadura	Penetración poca profunda	Irregular	Fusión regular
<b>G</b>	amperaje normal, voltaje normal, baja velocidad	Ruido excesivo	Máxima penetración	Irregular	Solape, porosidades

**Electrodo E7024**

	<b>VARIABLE DE OPERACION</b>	<b>COMPORTAMIENTO DEL ARCO</b>	<b>FUSION Y PENETRACION</b>	<b>METAL DEPOSITADO</b>	<b>APARIENCIA</b>
<b>A</b>	amperaje normal, voltaje normal, velocidad normal	Excesiva salpicadura y ruido de crujido	Máxima Penetración	Apariencia normal	Fusión excelente, sin solape
<b>B</b>	bajo amperaje, voltaje normal, velocidad normal	Mínima salpicadura	Escasa penetración	Apariencia normal	Fusión excelente, sin solape
<b>C</b>	amperaje alto, voltaje normal, velocidad normal	Bastante ruido	Máxima Penetración	Irregular	Sin solape mala fusión
<b>D</b>	amperaje normal, bajo voltaje, velocidad normal	Bastante salpicadura, ruido excesivo	Mala Penetración	Regular	Fusión regular
<b>E</b>	amperaje normal, alto voltaje, velocidad normal	Corte del arco con ruido excesivo	Penetración poca profunda	Irregular	Mala apariencia
<b>F</b>	amperaje normal, voltaje normal, alta velocidad	Mínima salpicadura	Penetración poca profunda	Irregular	Fusión regular
<b>G</b>	amperaje normal, voltaje normal, baja velocidad	Ruido excesivo	Máxima penetración	Irregular	Solape, porosidades

### 5.3. PRACRICA #3 (SMAW)

#### Objetivo:

Realizar un cordón de soldadura horizontal en una platina en la posición vertical.

#### Materiales

Electrodos E7018

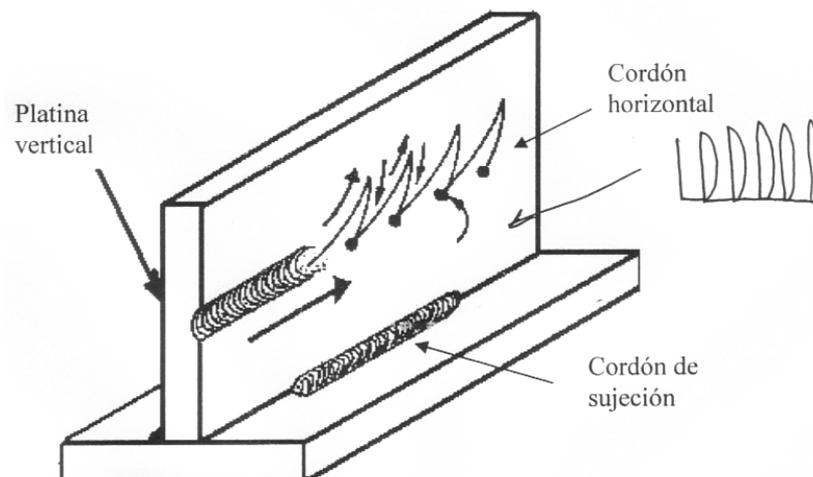
Diámetro del electrodo 1/8"

Platina de acero SAE 1010 de 4mm

Soldadora eléctrica

#### Instrucciones de Trabajo

1. Colocar la platina de acero preparada y limpia en la posición vertical sujetándola a la mesa o puesto de trabajo.
2. Regular el amperaje de acuerdo a la dimensión de la platina de prueba
3. Suelde la platina en posición vertical, sujetando la platina en posición plana con un ligero cordón.



**Figura 5.1** Cordones de soldadura en diferentes posiciones

Fuente: Manual de Soldadura de Prácticas

4. El ángulo del electrodo deberá estar aproximadamente 5 grados debajo de la perpendicular e inclinado aproximadamente 70 a 75 grados en la dirección de viaje.
5. Sostener el electrodo desarrollando una longitud de arco cota; es relativamente fácil mantener el arco pero es bastante difícil conseguir un cordón uniforme, ya que el metal fundido tiene la tendencia a derramarse, reduciendo la corriente se puede ayudar a obtener un cordón más uniforme.
6. Para obtener cordones más anchos es necesario realizar un movimiento de tejido algo más extenso. El movimiento ascendente es rápido, y el metal se deposita en el movimiento descendente.



**Figura 5.2** Tejido de soldadura  
Fuente: Manual de Soldadura

## 5.4. PRACTICA # 4 (GMAW)

### Objetivo

Realizar un cordón de soldadura horizontal en una platina en la posición horizontal.

### Materiales

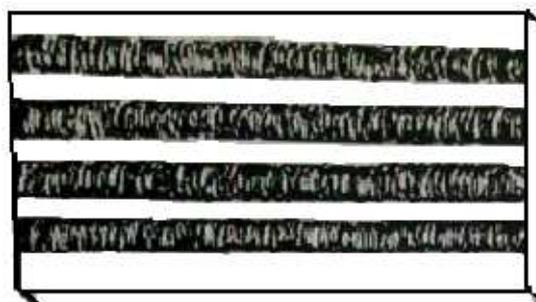
Electrodo ER 70 S - 6

Diámetro del electrodo 1.2mm

Platina de acero SAE 1010 de 4mm

Soldadora GMAW

1. Colocar la platina de acero preparada y limpia en la posición horizontal sujetándola a la mesa o puesto de trabajo.
2. Regular el amperaje de acuerdo a la dimensión de la platina de prueba
3. Suelde la platina en posición horizontal, sujetando la platina en posición plana con un ligero cordón.



**Figura 5.3** Cordón de soldadura  
Fuente: Manual de Soldadura

## 5.5. PRACTICA # 5 (GTAW)

### Objetivo

Realizar un cordón de soldadura alrededor de una probeta de 3cm de diámetro

### Materiales

Electrodo ER 312

Diámetro del electrodo de tungsteno 1/16

Probeta de acero aleado al cromo níquel 3cm de diámetro

Soldadora GTAW

1. Colocar la probeta de acero aleado preparada y limpia en la posición horizontal sujetándola a la mesa o puesto de trabajo.
2. Regular el amperaje de acuerdo a la dimensión de la probeta de prueba
3. Suelde la probeta en posición horizontal, sujetando la probeta en posición plana con un ligero cordón.
4. Calculo de la temperatura de precalentamiento

$$T^{\circ}\rho = 350\sqrt{[Ceq] - 0,25}$$

$$Ceq = Ceq_{quimico} (1 + 0,005e)$$

$$Ceq_{quimico} = \%C + \frac{\%Mn + Cr}{9} + \frac{\%Ni}{18} + \frac{7\%Mo}{90}$$

Aleación de la probeta:

C 0.03%, Si 0.5%, Mn 0,8%, Cr 6,5%, Ni 4,5%

Espesor 300mm

$$Ceq_{quimico} = 0,03\% + \frac{0,8\% + 6,5\%}{9} + \frac{4,5\%}{18} + \frac{0\%}{90}$$

$$Ceq_{quimico} = 1,061111111\%$$

$$Ceq = 1,061111111(1 + 0,005 * 300)$$

$$Ceq = 2,652777778$$

$$T^o\rho = 350\sqrt{2,652777778 - 0,25}$$

$$T^o\rho = 542$$

## CAPITULO VI

### RESULTADO DE LAS PRÁCTICAS DE SOLDADURA

#### 6.1. PRACTICA # 1 (SMAW)

- Para realizar la práctica se calibra la máquina de soldar de acuerdo al electrodo que para este caso se utiliza un E-6010

#### Condiciones de trabajo

Platina acero SAE 1010 espesor 4mm

E-6010 diámetro de 1/8"

100 amperios

Corriente continua, polo positivo

Angulo de inclinación 20°

#### Resultados de la práctica



**Figura 6.1** Platina soldada con electrodo E-6010

Fuente: Laboratorio de Soldadura

Este electrodo es de alta penetración, su desempeño y versatilidad hace que sea aplicado en tubulaciones, estructuras metálicas, estanques de reserva, tuberías de presión, cañerías, barcos.

- Para realizar la práctica se calibra la máquina de soldar de acuerdo al electrodo que para este caso se utiliza un E-6011

### Condiciones de trabajo

Platina acero SAE 1010 espesor 4mm

E-6011 diámetro de 1/8"

100 amperios

Corriente continua, polo positivo

Angulo de inclinación 20°

### Resultados de la práctica



**Figura 6.2** Platina soldada con electrodo E-6011

Fuente: Laboratorio de Soldadura

Este tipo de electrodos es indicado para la soldadura en tubos con o sin costura, condensadores, recipientes a presión, estructura de puentes, tanques y edificaciones de montajes en general

- Para realizar la práctica se calibra la máquina de soldar de acuerdo al electrodo que para este caso se utiliza un E-6013

### Condiciones de trabajo

Platina acero SAE 1010 espesor 4mm

E-6013 diámetro de 1/8".

110 amperios

Corriente continua, polo positivo

Angulo de inclinación 20°

### Resultados de la práctica



**Figura 6.3** Platina soldada con electrodo E-6013

Fuente: Laboratorio de Soldadura

Este electrodo se utiliza para aceros comunes, tiene un excelente desempeño en chapas de acero galvanizado. También se lo utiliza en cerrajería, estructuras metálicas, construcciones leves y montajes industriales

- Para realizar la práctica se calibra la máquina de soldar de acuerdo al electrodo que para este caso se utiliza un E-7018

### Condiciones de trabajo

Platina acero SAE 1010 espesor 4mm

Electrodo E-7018 diámetro de 1/8"

120 amperios

Corriente continua, polo positivo

Angulo de inclinación 20°

### Resultados de la práctica



**Figura 6.4** Platina soldada con electrodo E-7018

Fuente: Laboratorio de Soldadura

Este electrodo es reconocido por profesionales en soldadura como el electrodo de mayor confiabilidad y de gran responsabilidad en la construcción naval, esferas de GLP, estanques y plataformas

- Para realizar la práctica se calibra la máquina de soldar de acuerdo al electrodo que para este caso se utiliza un E-7024

### Condiciones de trabajo

Platina acero SAE 1010 espesor 4mm

Electrodo E-7024 diámetro de 1/8"

135 amperios

Corriente continua, polo positivo

Angulo de inclinación 20°

### Resultados de la práctica



**Figura 6.5** Platina soldada con electrodo E-7024

Fuente: Laboratorio de Soldadura

Este electrodo es usado generalmente para soldadura de acero dulce pero también permite obtener soldaduras satisfactorias con muchos aceros de baja aleación o de mediano carbono. Por lo general se usa para esperas de gas licuado, cubierta de embarcaciones, fabricación de perfiles, elementos estructurales.

## 6.2. PRACTICA # 2 (SMAW)

Para realizar la práctica se calibra la máquina de soldar de acuerdo al electrodo que para este caso se utiliza un E-6013

### Condiciones de trabajo

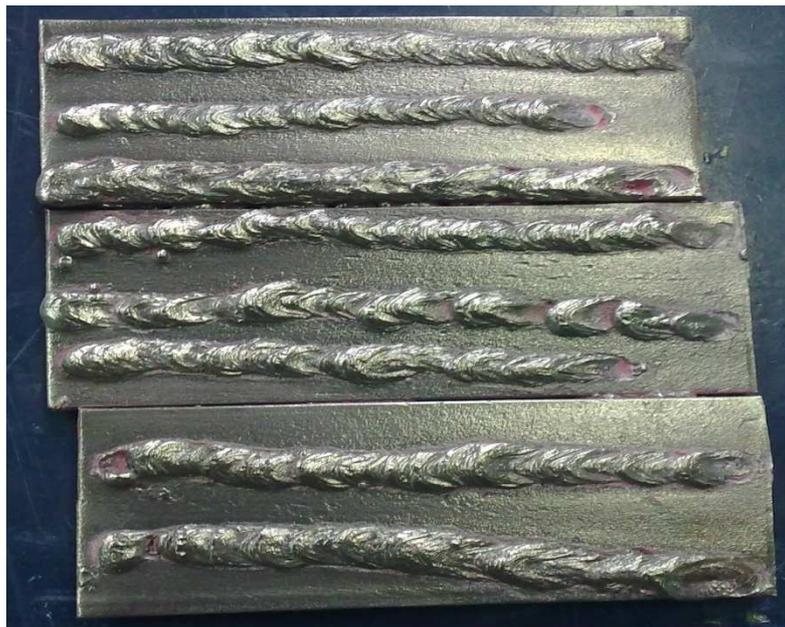
Platina acero SAE 1010 espesor 4mm

Electrodo E-6013 diámetro de 1/8"

Variación de amperaje

Variación de corriente

### Resultados de la Práctica



**Figura 6.6** Platinas con variación del régimen de soldadura

Fuente: Laboratorio de Soldadura

En esta práctica se observa que los cordones de soldadura en la mayoría de los casos tienen muchos defectos debido a la variación de voltaje, amperaje y velocidad de avance, más adelante se analiza con los resultados con un ensayo de tintas penetrantes

### 6.3. Practica # 3 (SMAW)

Para realizar la práctica se calibra la máquina de soldar de acuerdo al electrodo que para este caso se utiliza un E-7018

#### Condiciones de trabajo

Platina acero SAE 1010 espesor 4mm

Electrodo E-6013 diámetro de 1/8"

110 amperios

Corriente continua, polo positivo

Posición vertical de la platina

#### Resultados de la Práctica



**Figura 6.7** Platina soldada en posición vertical

Fuente: Laboratorio de Soldadura

Como se puede observar en la figura con este tipo de electrodo es complicado realizar una soldadura horizontal con la platina vertical, con la corriente, el voltaje y la velocidad en condiciones normales existe chorreo del material, para verificar mejor los resultados se realiza un ensayo de tintas penetrantes.

## 6.4. Practica # 4 (GMAW)

### Condiciones de trabajo

Platina acero SAE 1010 espesor 4mm

Electrodo ER 70 S – 6, diámetro 1.2mm

110 amperios

17.2 voltios

20 m/s flujo de gas

### Resultados de la Práctica



**Figura 6.8** Platinas soldadas con el proceso de soldadura GMAW

Fuente: Laboratorio de Soldadura

El alambre 70S-6 es un electrodo de acero al carbono que ofrece excelente soldabilidad con una alta cantidad de elementos desoxidantes para soldaduras. Este electrodo es usado principalmente con gas CO<sub>2</sub>.

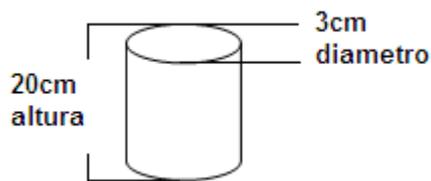
El alambre se recomienda para ser usado en aceros corrientes de baja aleación, se utiliza típicamente en recipientes a presión, soldaduras de

cañerías, fabricación de carrocerías, extintores, estructuras y recuperación de ejes

## 6.5. Practica # 5 (GTAW)

### Condiciones de trabajo

2 probetas de acero aleado al cromo níquel



Diámetro del electrodo de tungsteno 1/16"

Diámetro de la varilla de aporte 1/16"

90 amperios

11 voltios

Flujo de gas 15m/s

Antes de realizar el cordón de soldadura alrededor de la probeta se realiza un precalentamiento de la misma a una temperatura alrededor de los 456° C



**Figura 6.9** Precalentamiento de la probeta

Fuente: Laboratorio de Soldadura

Procedemos a medir la temperatura de la probeta con un termómetro de rayo laser.

El punto rojo en la probeta es el medidor de la temperatura, en el visor del termómetro nos indica el valor obtenido, en este caso 365°C



**Figura 6.10** Medicion de la temperatura de precalentamiento

Fuente: Laboratorio de Soldadura

El siguiente paso es realizar el cordón alrededor de la probeta



**Figura 6.11** Corodon de soldadura GTAW

Fuente: Laboratorio de Soldadura



**Figura 6.12** Probeta soldada

Fuente: Laboratorio de Soldadura

Varilla especial para soldar aceros de baja aleacion, aceros al manganeso, acero de herramientas, acero con tratamiento termico, de uso frecuente para soldar aceros inoxidables o aceros al carbono

## 6.6. Ensayo de tintas penetrantes para los procesos de soldadura SMAW Y GMAW

Para la obtención de resultados más precisos en las practicas de soldadura se procede a realizar el en sayo de tintas penetrantes para lo cual luego de realizar los cordones en la platina se debe dar una limpieza como por ejemplo con una grata para así observar los resultados del ensayo

### Equipo utilizado



**Figura 6.13** Equipo para ensayo de tintas penetrantes

Fuente: Laboratorio de Soldadura

Recipiente color azul:      limpiador  
Recipiente gris:            revelador  
Recipiente rojo:            penetrante

### Practica

Primero se procede a realizar una limpieza previa de la platina con el recipiente de color azul por toda el área de la platina con la soldadura



**Figura 6.14** Proceso de limpieza de la platina

Fuente: Laboratorio de Soldadura

El siguiente paso es aplicar el líquido penetrante igualmente en toda el área de la platina con la soldadura.



**Figura 6.15** Aplicación del penetrante

Fuente: Laboratorio de Soldadura



**Figura 6.16** Rocio completo del penetrante en las platinas

Fuente: Laboratorio de Soldadura

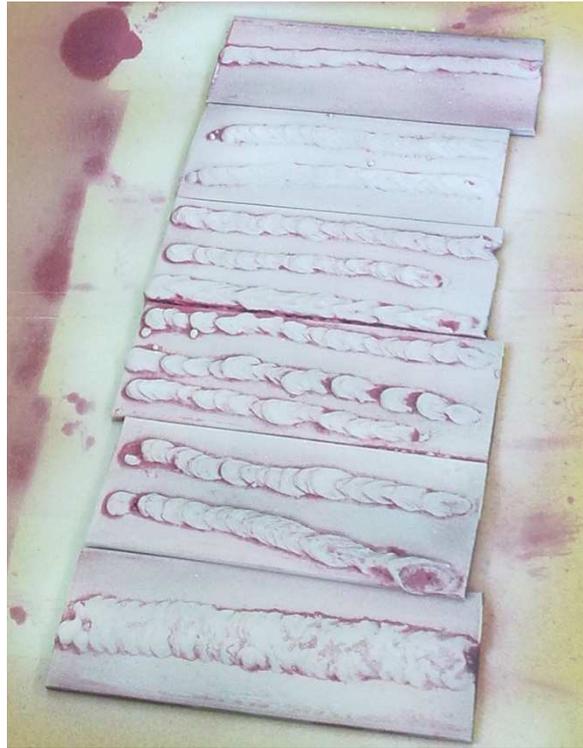
Una vez colocado el liquido penetrante se deja reposar las platinas alrededor de 10 a 15 minutos.

Luego del tiempo transcurrido se aplica en revelador



**Figura 6.17** Aplicación del revelador en las platinas

Fuente: Laboratorio de Soldadura



**Figura 6.18** Tiempo de espera luego de aplicado el revelador

Fuente: Laboratorio de Soldadura

En pocos minutos se puede observar que las platinas toman una coloración roja en las partes donde existen discontinuidades y fallas en la soldadura

### 6.6.1. Análisis de resultados después del ensayo de tintas penetrantes para la soldadura SMAW

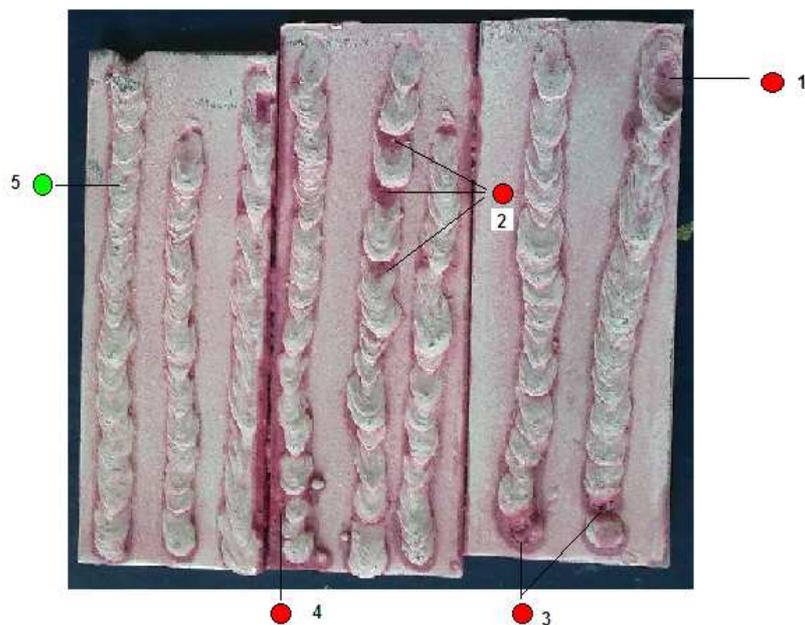


**Figura 6.19** Fallas en la soldadura SMAW

Fuente: Laboratorio de Soldadura

● El punto rojo de la platina nos indica la discontinuidad de la soldadura  
Un poro debido a que al finalizar el cordón a lo largo de la platina no se mantuvo una velocidad adecuada o un brusco corte de arco

● En el punto verde nos indica que el cordón de la parte superior no tiene discontinuidades esto quiere decir que al realizar el cordón no se obtuvo fallas



**Figura 6.20** Fallas en la soldadura SMAW

Fuente: Laboratorio de Soldadura

En esta platina se pueden encontrar los casos mas comunes de discontinuidades que existen en saoldadura

● 1 En este punto se pueden encontrar que existe un excesiva penetración debido a que el voltaje utilizado es muy alto, la velocidad de avance no es la adecuada

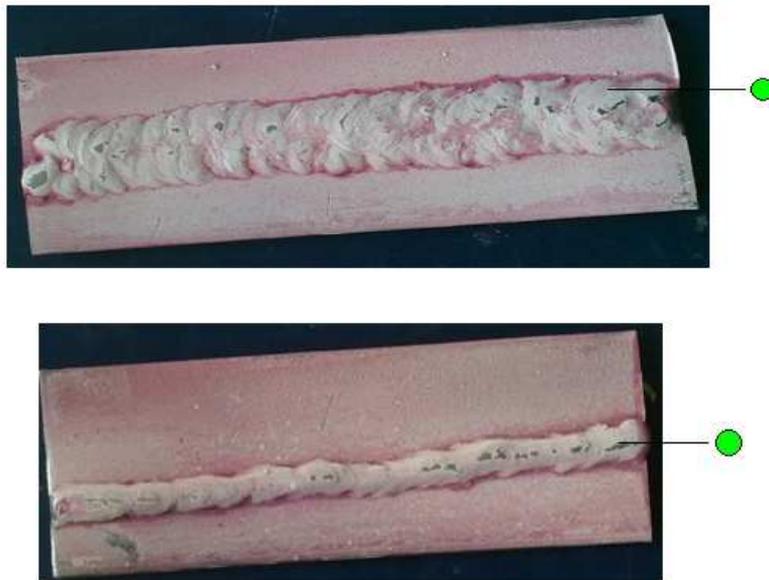
2 En el siguiente punto se puede apreciar que existe un corte de arco en la soldadura a causa que la polaridad de la corriente no es la adecuada el voltaje es demasiado alto

3 En este punto se puede observar que el arranque del arco es muy brusco produciendo cortes en el mismo y a causa de esto se tiene una penetración profunda y un cordón discontinuo.

4 En el punto siguiente se tiene un corte de arco con salpicaduras alrededor del cordón

● 5 En este punto el cordón se encuentra en condiciones aceptables

### 6.6.2. Análisis de resultados después del ensayo de tintas penetrantes para la soldadura GMAW



**Figura 6.21** Analisis de fallas en la soldadura GMAW

Fuente: Laboratorio de Soldadura

● En los dos cordones se puede observar que sus condiciones son excelentes sin ningún tipo de discontinuidad

## 6.7. Ensayo de ultrasonido para el proceso de soldadura GTAW

### Equipo Utilizado



**Figura 6.22** Equipo para el ensayo de ultrasonido

Fuente: Laboratorio de Soldadura

Antes de realizar la practica se procede a la calibracion del equipo, de acuerdo al material a ser sometido al ensayo



**Figura 6.23** Medicion de la probeta

Fuente: Laboratorio de Soldadura

En la primera prueba realizada a la probeta se puede observar en la pantalla la onda de color verde que arroja los resultados del ensayo

La onda indica que la probeta con la soldadura GTAW no pasa el ensayo de ultrasonido ya que la longitud de la onda 20 cm, esta medida es igual a la de una sola probeta y esto es debido a que antes de realizar la soldadura la probeta tenía que tener un bisel por lo que se procede a realizarlo en una probeta nueva para soldar y hacer el ensayo por segunda vez.



**Figura 6.24** Segunda medicion de la probeta

Fuente: Laboratorio de Soldadura

En la segunda prueba se ultrasonido se observa que la longitud de la onda alcanza una media de 39cm, esto indica que la probeta pasa el ensayo de ultrasonido

## CAPITULO VII

### 7.1. COSTOS DE SOLDADURA

Cada trabajo de soldadura presenta al diseñador y calculista sus propias características y dificultades, por lo cual, el modelo de costos que se desarrolla, se propone un rango de generalidad amplio que permite abarcar cualquier tipo de aplicación.

Por otro lado, se intenta enfocar el problema con un equilibrio justo entre la exactitud y la simplicidad, es decir proponiendo fórmulas de costos de fácil aplicación, aun cuando ello signifique eliminar términos de incidencia leve en el resultado buscado.

Tabla 7. 1

FORMULAS Base de Cálculo: metro lineal (ml)	
<b>Costo Electrodo</b>	$\frac{(\$)}{\text{m.l.}} = \frac{\text{Pmd (kg./ml)} \times \text{Valor Electrodo (\$/kg)}}{\text{Eficiencia Deposición (\%)}}$
<b>Costo M.O. y G. Grales.</b>	$\frac{(\$)}{\text{m.l.}} = \frac{\text{Pmd (kg./ml)} \times \text{Valor M.O. y G.G. (\$/hr)}}{\text{Velocidad Deposición (kg./hr)} \times \text{F. Operación (\%)}}$
<b>Costos Gas</b>	$\frac{(\$)}{\text{m.l.}} = \frac{\text{Pmd (kg./ml)} \times \text{flujo Gas (m}^3\text{/hr)} \times \text{Valor Gas (\$/m}^3\text{)}}{\text{Velocidad Deposición (kg./hr)}}$
<b>Costo Fundente</b>	$\frac{(\$)}{\text{m.l.}} = \text{Pmd (kg./ml)} \times \text{F. Uso (\%)} \times \text{Valor Fundente (\$/kg.)}$

Formulas para calculo de costos

Fuente: Manual de Indura

#### 7.1.1. PESO DEL METAL DEPOSITADO

Cantidad del metal de aporte necesario para completar una unión soldada.

Relación para determinar el peso del metal depositado

$$Pmd = \text{area seccional} \times \text{longitud} \times \text{densidad aporte}$$

Tabla 7. 2

Unión de Soldadura							
Espesor (E)		METAL DEPOSITADO (kg/ml) (Acero)					
pulg.	mm.						
1/8	3.2	0.045	0.098				
1/4	6.4	0.177	0.190	0.380		0.358	
3/8	9.5	0.396		0.638		0.605	
1/2	12.5	0.708		1.168		1.066	
5/8	16	1.103		1.731		1.707	1.089
3/4	19	1.592		2.380	1.049	2.130	1.449
1	25	2.839		3.987	2.578	3.554	2.322
1 1/4	32				3.768		3.380
1 1/2	37.5				5.193		4.648
2	51				8.680		7.736
2 1/2	63.5				13.674		11.617
3	76				18.432		16.253

Relacion del metal depositado

Fuente: Manual de Indura

### 7.1.2. EFICIENCIA DE APORTACION

Relación entre el metal efectivamente depositado y la cantidad en peso de electrodos requeridos para efectuar ese depósito.

Tabla 7. 3

Proceso	Eficiencia Deposición (%)
Electrodo Manual	60 - 70
MIG Sólido	90
MIG Tubular c/protección	83
MIG Tubular s/protección	79
TIG	95
Arco Sumergido	98

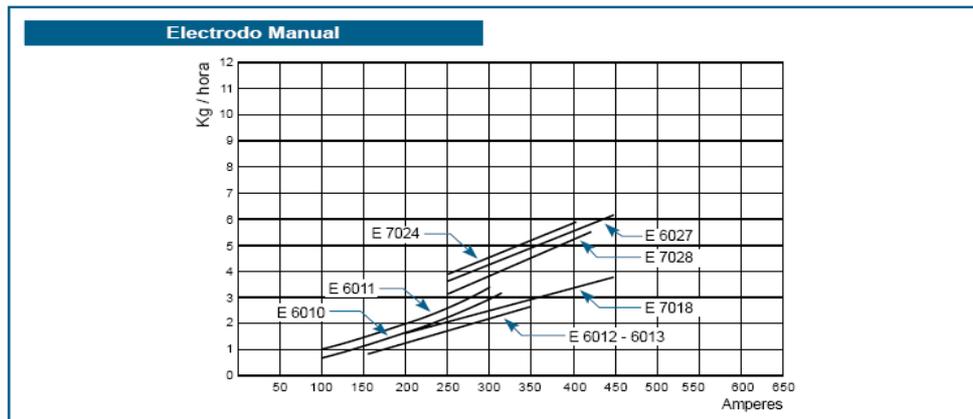
Eficiencia de Aportación

Fuente: Manual de Indura

### 7.1.3. VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN

Cantidad de material de aporte depositado en una unidad de tiempo

Tabla 7. 4



Velocidad de deposición

Fuente: Manual de Soldadura

### 7.1.4. FACTOR DE OPERACIÓN

Es la relación entre el tiempo en que ha existido el arco y el tiempo real o tiempo total pagado.

Tabla 7. 5

Proceso	Factor de Operación (%)
Electrodo Manual	5 - 30
MIG Sólido	10 - 60
MIG Tubular	10 - 60
TIG	5 - 20
Arco Sumergido	50 - 100

Factor de Operación

Fuente: Manual de Indura

### 7.1.5. FLUJO DE GAS

Cantidad de gas necesario para protección por unidad de tiempo.

Tabla 7. 6

Proceso	Flujo Gas (m <sup>3</sup> /hr)
MIG Sólido	0.8 - 1.2
MIG Tubular	1.0 - 1.4
TIG	0.5 - 1.0

Flujo de Gas

Fuente: Manual de Indura

### 7.1.6. FACTOR DE USO DE FUNDENTE

Cantidad de fundente efectivamente empleado por kg. De alambre depositado.

Tabla 7. 7

Proceso	Factor de Uso Fundente (%)
Arco Sumergido	80 - 100

Factor uso del fundente

Fuente: Manual de Indura

### 7.1.7. COMPOSICIÓN DEL COSTO DE SOLDADURA

Los principales componentes del costo de soldadura son:

- 1) Costos de consumibles (electrodo, fundente, gases de protección, electricidad).
- 2) Costo de mano de obra
- 3) Gastos generales

### 7.1.8. COSTOS CONSUMIBLES

Al considerar que existen numerosos procesos de soldadura y cada uno tiene rendimientos diferentes, la cantidad total de consumibles que deben ser adquiridos varía considerablemente entre uno y dos.

El ítem 1 y 2 representan los costos directos de soldadura. Sin embargo, los gastos generales incluyen numerosos ítems que son indirectamente asociados con la soldadura como por ejemplo: depreciación, mantención, capacitación de personal, supervisión técnica, etc.

En la siguiente tabla indica los requerimientos de consumibles de soldadura:

Tabla 7. 8

Proceso	Eficiencia de Deposición (%)	Pérdida de Electrodo Kg		Consumibles/ 100 Metal depositado		
		Pérdida por Colillas %	Eficiencia Electrodo	Electrodo (kg)	Fundente (kg)	Gas (m <sup>3</sup> )
Electrodo Manual Celulósico	60	12	48	155	-	-
Electrodo Manual Rutilico	70-80	12	68-50	145-170	-	-
Electrodo Manual Bajo Hidrógeno	72	12	60	160-170	-	-
Mig (Cortocircuito)	93	2	91	110	-	17-42
Mig (Spray)	95	2	93	108	-	7-11
Tubular c/protección	83	1	82	122	-	4-20
Tubular s/protección	80	1	79	126	-	-
Arco Sumergido	99	1	98	102	85-100	-

Requerimientos de Consumibles de Soldadura

Fuente: Manual de Indura

El único consumible cuyo costo no ha sido considerado es la energía eléctrica. Para todos los procesos de soldadura por fusión, puede ser considerado aproximadamente como 4,9 KW hr/kg. de soldadura de acero depositado. Esto toma en cuenta la pérdida de energía en el equipo, como también el máximo de carga KVA, y es por lo tanto un valor promedio.

Sin embargo, el costo de energía se puede determinar a través de la siguiente relación.

$$KW \text{ hora} = \text{Voltios} \times \text{Amperios} \times \text{Factor de potencia} \times \text{Tiempo en horas} / 1000$$

### 7.1.9. COSTO MANO DE OBRA

Con excepciones de ciertas aplicaciones semiautomáticas y automáticas, el costo de mano de obra, hoy en día, representa la proporción más significativa del costo total de soldadura.

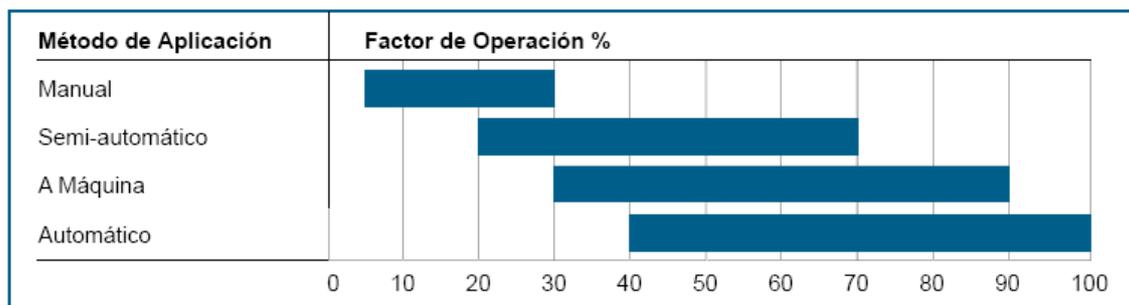
El costo de mano de obra para producir una estructura soldada, depende de la cantidad de soldadura necesaria, velocidad de deposición, factor de operación y

valor de mano de obra.

El factor de operación está definido como la razón entre el tiempo real de arco y tiempo total que se paga al operador expresado en porcentaje. Así el intervalo de factores de operación, dependerá del proceso de soldadura y su aplicación.

El diseño de la unión decide la cantidad de soldadura y a menudo la intensidad de energía que se debe emplear al soldar. Sin embargo, los dos principales ítems que controlan los costos de mano de obra son velocidad de deposición y factor de operación.

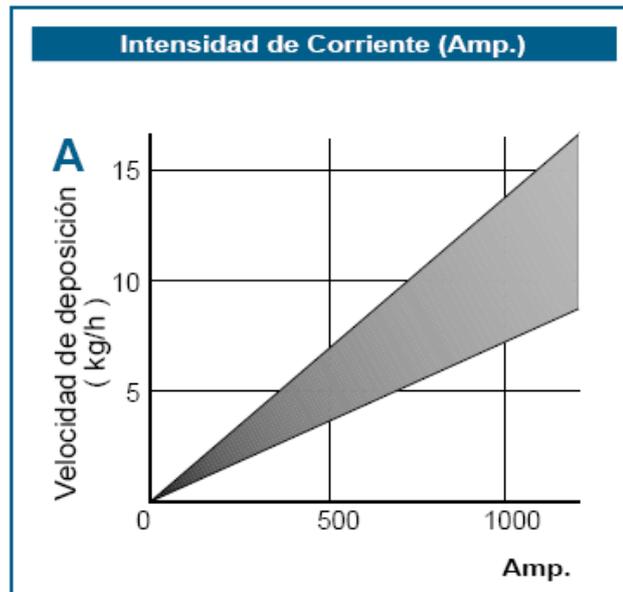
**Tabla 7. 9**



Factor de Operación

Fuente: Manual de Indura

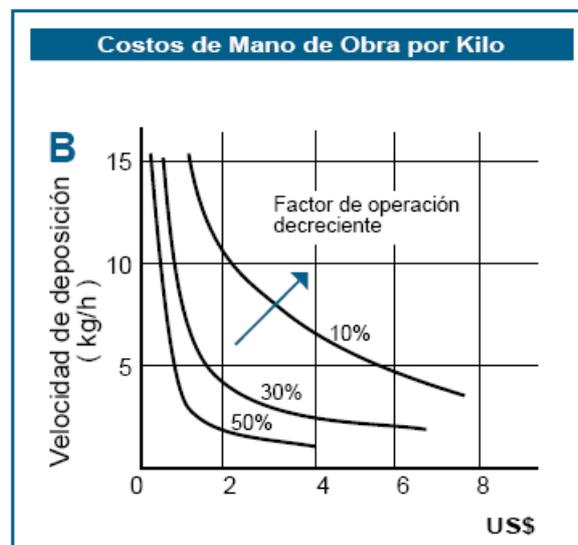
La figura A muestra que la cantidad de deposición aumenta a medida que es elevada la corriente de soldadura. Esto se aplica generalmente a todos los procesos de soldadura al arco.



**Figura 7.1** Cantidad de deposición aumenta a medida que es elevada la corriente de soldadura

Fuente: Manual de Indura

La figura B muestra que cantidades altas de deposición, los costos de mano de obra por kilo de metal depositado tienden a disminuir.



**Figura 7.2** Velocidad de deposición

Fuente: Manual de Indura

## 7.2. EJEMPLO DE CALCULO DE COSTOS

Calculo de los costos de soldadura para un electrodo E-7018 en una platina de acero SAE 1010 de 20 cm de longitud y 4mm de diámetro

### *Calculo del costo del electrodo*

$$C_e = \frac{Pmd(Kg/ml) * Valor electrodo (\$/Kg)}{Eficiencia Deposicion \%}$$

Para determinar el peso del metal depositado (Pmd) se verifica en la tabla 7.2 donde indica la relación del metal depositado para el electrodo E-7018 de diámetro 1/8, tiene una equivalencia de 0,098 Kg/ml

El valor del electrodo depende del costo por cada kilo y en este caso para un E-7018 es de \$6,50, en cada kilo hay 18 electrodos por lo tanto cada electrodo tiene un valor de \$0,36

Para la eficiencia de deposición se observa en la tabla 7.3 para un electrodo manual es de aproximadamente 70%

Los valores se aplica en la formula general y se obtiene:

$$C_e = 0,098 Kg/ml * 0,36 \$/Kg = 0,0356$$

$$C_e = 0,0588 \$/ml$$

### *Costo Mano de Obra*

$$C_{mo} = Pmd Kg/ml * Valor M.O. \$/hr * Velocidad deposicion Kg/hr * F.operacion \%$$

En la tabla 7.9 se puede observar que el valor de la mano de obra para la soldadura manual es de 30%

Para la velocidad de deposición se observa en la tabla 7.4. que es de 1Kg/h

Para el valor de mano de obra (VMO) en la figura 7.2 muestra que tiene un valor aproximado de 3\$/h

Estos valores se aplica en la formula general y se obtiene:

$$C_{mo} = 0,098 \text{ Kg/ml} * 4 \$/\text{hr} * 1 \text{ Kghr} * 0,30$$

$$C_{mo} = 1,306 \$/\text{ml}$$

Para tener un costo total se suman estos dos valores y se tiene que:

$$C_t = 0,058 + 1,306$$

$$C_t = 1.364 \$/\text{ml}$$

## CAPITULO VIII

### 8.1. CONCLUSIONES

- Esta guía tiene como fin la adecuada utilización de los procesos de soldadura.
- El proceso de soldadura SMAW es uno de los procesos mas utilizados en la industria nacional
- El proceso de soldadura GMAW es mucho mas rápido que el proceso de soldadura SMAW proporcionando mayor cantidad de metal depositado en la junta
- El proceso de soldadura GMAW no se aconseja ser aplicado en zonas donde las condiciones ambientales no son las adecuadas como alta velocidad de viento zonas lluviosas
- El proceso de soldadura GMAW es mucho mas económico que los procesos de soldadura SMAW y GTAW ya que los costos de los materiales consumibles y su bajo rendimiento de los mismos elevan el costos de soldadura
- Si se desea hacer un ensayo de radiografía industrial en el laboratorio de ensayos no destructivos de la Escuela Politécnica Nacional de una probeta tener en cuenta que esta no sea de una diámetro mayor a los 2.5cm.
- Para un adecuado en el proceso de soldadura SMAW los electrodos deben estar en un sitio donde no exista humedad.

- Los electrodos para soldadura SMAW son de fácil reconocimiento debido a que estos poseen un color diferente para cada uno de ellos dependiendo de la aleación.
  
- Para realizar los procesos de soldadura SMAW GMAW y GTAW se necesitan que las personas tengan un nivel alto de técnica y bastante experiencia para la industria
  
- Esta guía sirve como herramienta de consulta para estudiantes profesores y personas que deseen conocer los procesos de soldadura.

## 8.2. RECOMENDACIONES

- Utilizar adecuadamente el equipo de seguridad personal antes de realizar cualquier proceso de soldadura
- Verificar el estado del equipo de soldadura como la conexión al tomacorriente conexión a tierra y estado del porta electrodos
- No hacer cambios de polaridad en el equipo mientras este esté en funcionamiento o encendido
- No trabajar sobre áreas mojadas o colocar material inflamable cerca donde se está realizando la soldadura
- Procurar realizar la soldadura en lugares abiertos, si existe extractor de olores encenderlos para no inhalar los gases producidos por la misma
- Utilizar adecuadamente las herramientas de trabajo

### 8.3. BIBLIOGRAFIA

- AAENDE, (2002), *“Aplicación del Ensayo no Destructivo en Aceros”*, Argentina
- API 1104, (1990) *“Standard for Welding Pipelines and Related Facilities”*, Edición 15, Estados Unidos.
- BOHLER W. (2005), *“Welding Wide”* Ed Böhler Schweisstechnik, Austria
- GERDAU A. (2002), *“Compendio de normas para Productos de Acero”*, Primera Edición, México.
- GOMEZ R, (1994) *“Soldadura de los Aceros”*, Tercera Edición, España
- HORWITZ H. (2001) *“Enciclopedia de la Soldadura”*, Ediciones PC 2001, Argentina.
- INTECAP (2002), *“Soldadura al Arco Eléctrico”*, Ed. Intecap, México.
- IRVING B, (1999), *“Shielding gases are the key to innovations in welding”*, Ed Welding Journal, Australia
- THE LINCONL ELECTRIC COMPANY, (1995) *“The procedure Handbook of Arc Welding”*, Estados Unidos
- TPUT, (2005), *“Welding Filler Metals”*, Ed. Böhler Schweisstechnik, Alemania
- <http://www.infra.com.mx>
- <http://www.itw-welding-spain.com>
- <http://www.metalizacion.com.mx>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

## TABLA COMPARATIVA DE DUREZA

Brinell	Vickers	Rockwell		Resistencia a la tracción x 1000 psi	Brinell	Vickers	Rockwell		Resistencia a la tracción x 1000 psi
		C	B				C	B	
898				440	223	223	20	97	110
857				420	217	217	18	96	107
817				401	212	212	17	96	104
780	1150	70		384	207	207	16	95	101
745	1050	68		368	202	202	15	94	99
712	960	66		352	197	197	13	93	97
682	885	64		337	192	192	12	92	95
653	820	62		324	187	187	10	91	93
627	765	60		311	183	183	9	90	91
601	717	58		298	179	179	8	89	89
578	675	57		287	174	174	7	88	87
555	633	55	120	276	170	170	6	87	85
534	598	53	119	266	166	166	4	86	83
514	567	52	119	256	163	163	3	85	82
495	540	50	117	247	159	159	2	84	80
477	515	49	117	238	156	156	1	83	78
461	494	47	116	229	153	153		82	76
444	472	46	115	220	149	149		81	75
429	454	45	115	212	146	146		80	74
415	437	44	114	204	143	143		79	72
401	420	42	113	196	140	140		78	71
388	404	41	112	189	137	137		77	70
375	389	40	112	182	134	134		76	68
363	375	38	110	176	131	131		74	66
352	363	37	110	170	128	128		73	65
341	350	36	109	165	126	126		72	64
331	339	35	109	160	124	124		71	63
321	327	34	108	155	121	121		70	62
311	316	33	108	150	118	118		69	61
302	305	32	107	146	116	116		68	60
293	296	31	106	142	114	114		67	59
285	287	30	105	138	112	112		66	58
277	279	29	104	134	109	109		65	56
269	270	28	104	131	107	107		64	56
262	263	26	103	128	105	105		62	54
255	256	25	102	125	103	103		61	53
248	248	24	102	122	101	101		60	52
241	241	23	100	119	99	99		59	51
235	235	22	99	116	97	97		57	50
229	229	21	98	113	95	95		56	49

## ANEXO 2

## CUADRO DE ACEROS AL CARBONO

Número SAE	C	Mn	P Max.	S Max.	Número AISI
—	0.06 max	0.35 max	0.040	0.050	C1005
1006	0.08 max	0.25-0.40	0.040	0.050	C1006
1008	0.10 max	0.25-0.50	0.040	0.050	C1008
1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.040	0.050	C1010
—	0.10-0.15	0.30-0.60	0.040	0.050	C1012
—	0.11-0.16	0.50-0.80	0.040	0.050	C1013
1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.040	0.050	C1015
1016	0.13-0.18	0.60-0.90	0.040	0.050	C1016
1017	0.15-0.20	0.30-0.60	0.040	0.050	C1017
1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050	C1018
1019	0.15-0.20	0.70-1.00	0.040	0.050	C1019
1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.040	0.050	C1020
—	0.18-0.23	0.60-0.90	0.040	0.050	C1021
1022	0.18-0.23	0.70-1.00	0.040	0.050	C1022
—	0.20-0.25	0.30-0.60	0.040	0.050	C1023
1024	0.19-0.25	1.35-1.65	0.040	0.050	C1024
1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.040	0.050	C1025
—	0.22-0.28	0.60-0.90	0.040	0.050	C1026
1027	0.22-0.29	1.20-1.50	0.040	0.050	C1027
—	0.25-0.31	0.60-0.90	0.040	0.050	C1029
1030	0.20-0.34	0.60-0.90	0.040	0.050	C1030
1033	0.30-0.36	0.70-1.00	0.040	0.050	C1033
1034	0.32-0.38	0.50-0.80	0.040	0.050	C1034
1035	0.32-0.38	0.60-0.90	0.040	0.050	C1035
1036	0.30-0.37	1.20-1.50	0.040	0.050	C1036
1038	0.35-0.42	0.60-0.90	0.040	0.050	C1038
—	0.37-0.44	0.70-1.00	0.040	0.050	C1039
1040	0.37-0.44	0.60-0.90	0.040	0.050	C1040
1041	0.36-0.44	1.35-1.65	0.040	0.050	C1041
1042	0.40-0.47	0.60-0.90	0.040	0.050	C1042
1043	0.40-0.47	0.70-1.00	0.040	0.050	C1043
1045	0.43-0.50	0.60-0.90	0.040	0.050	C1045
1046	0.43-0.50	0.70-1.00	0.040	0.050	C1046
1050	0.48-0.55	0.60-0.90	0.040	0.050	C1050
—	0.45-0.56	0.85-1.15	0.040	0.050	C1051
1052	0.47-0.55	1.20-1.50	0.040	0.050	C1052
—	0.50-0.60	0.50-0.80	0.040	0.050	C1054
1055	0.50-0.60	0.60-0.90	0.040	0.050	C1055
—	0.50-0.61	0.85-1.15	0.040	0.050	C1057
—	0.55-0.65	0.50-0.80	0.040	0.050	C1059
1060	0.55-0.65	0.60-0.90	0.040	0.050	C1060
—	0.54-0.65	0.75-1.05	0.040	0.050	C1061
1062	0.54-0.65	0.85-1.15	0.040	0.050	C1062
1064	0.60-0.70	0.50-0.80	0.040	0.050	C1064
1065	0.60-0.70	0.60-0.90	0.040	0.050	C1065
1066	0.60-0.71	0.85-1.15	0.040	0.050	C1066
—	0.65-0.75	0.40-0.70	0.040	0.050	C1069
1070	0.65-0.75	0.60-0.90	0.040	0.050	C1070
—	0.65-0.76	0.75-1.05	0.040	0.050	C1071
1074	0.70-0.80	0.50-0.80	0.040	0.050	C1074

## ANEXO 3

## CUADRO DE ACEROS ALEADOS

Número AISI	C	Mn	P Max.	S Max.	Si	Ni	Cr	Otros	Número SAF
1320	0.18-0.23	1.60-1.90	0.040	0.040	0.20-0.35				1320
1321	0.18-0.23	1.60-1.90	0.050	0.540	0.20-0.35	—	—	—	—
1330	0.28-0.33	1.60-1.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	—	1330
1335	0.33-0.38	1.60-1.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	—	1335
1340	0.38-0.43	1.60-1.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	—	1340
2317	0.15-0.20	0.40-0.60	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	—	2317
2330	0.28-0.33	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	—	2330
2335	0.33-0.38	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	—	—
2340	0.33-0.43	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	—	2340
2345	0.43-0.48	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	—	2345
E2512	0.09-0.14	0.40-0.60	0.025	0.025	0.20-0.35	4.75-5.25	—	—	2512
2512	0.12-0.1	0.40-0.60	0.040	0.040	0.20-0.35	4.75-5.25	—	—	2515
E2517	0.15-0.20	0.45-0.60	0.025	0.025	0.20-0.35	4.75-5.25	—	—	2517
3115	0.13-0.18	0.40-0.60	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.55-0.75	—	3115
3120	0.17-0.22	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.55-0.75	—	3120
3130	0.28-0.33	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.55-0.75	—	3130
3135	0.33-0.38	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.55-0.75	—	3135
3140	0.38-0.43	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.55-0.75	—	3140
3141	0.38-0.43	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.70-0.90	—	3141
3145	0.43-0.48	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.70-0.90	—	3145
3150	0.48-0.53	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	1.10-1.40	0.70-0.90	—	3150
E3310	0.08-0.13	0.50-0.60	0.025	0.025	0.20-0.35	3.25-3.75	1.40-1.75	—	3310
E3316	0.14-0.19	0.45-0.60	0.025	0.025	0.20-0.35	3.25-3.75	1.40-1.75	—	3316
								<b>Mo</b>	
4117	0.15-0.20	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4017
4023	0.20-0.25	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4023
4024	0.20-0.25	0.70-0.90	0.040	0.035-0.050	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4024
4027	0.25-0.30	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4027
4028	0.25-0.30	0.70-0.90	0.040	0.035-0.050	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4028
4032	0.30-0.35	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4032
4037	0.35-0.40	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4037
4042	0.40-0.45	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4042
4047	0.45-0.50	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4047
4053	0.50-0.50	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4053
4063	0.60-0.67	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	4063
4068	0.63-0.70	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	—	0.20-0.30	463
—	0.17-0.22	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.40-0.60	0.20-0.30	4119
—	0.23-0.28	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.40-0.60	0.20-0.30	4125
4130	0.28-0.33	0.40-0.60	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	4130
E4132	0.30-0.35	0.40-0.60	0.025	0.025	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.18-0.25	—
E4135	0.33-0.38	0.70-0.90	0.025	0.025	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.18-0.25	—
4137	0.35-0.40	0.70-0.90	0.025	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	4137
E4137	0.35-0.40	0.70-0.90	0.025	0.025	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.18-0.25	—
4140	0.38-0.43	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.18-0.25	4140

Número AISI	C	Mn	P Max.	S Max.	Si	Ni	Cr	Otros	Número SAE
4142	0.40-0.45	0.75-1.001	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	Mo 0.15-0.25	
4145	0.43-0.48	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	4145
4147	0.45-0.50	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	—
4150	0.48-0.53	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25	4150
4317	0.15-0.20	0.45-0.65	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	0.40-0.60	0.20-0.30	4317
4320	0.17-0.22	0.45-0.65	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	0.40-0.60	0.20-0.30	4320
4327	0.35-0.40	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30	—
4340	0.38-0.43	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30	4340
4608	0.06-0.11	0.25-0.45	0.040	0.040	0.20 Max	1.40-1.75	—	0.15-0.25	4608
4615	0.13-0.18	0.45-0.65	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.30	4615
—	0.15-0.20	0.45-0.65	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.30	4617
E4617	0.15-0.20	0.45-0.65	0.025	0.025	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.27	—
4620	0.17-0.22	0.45-0.65	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.30	4620
X4620	0.18-0.23	0.50-0.70	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.30 X	4620
E4620	0.17-0.22	0.45-0.65	0.025	0.025	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.27	—
4621	0.18-0.23	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.30	4621
4640	0.38-0.43	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.30	4640
E4640	0.38-0.43	0.60-0.80	0.025	0.025	0.20-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.27	—
4812	0.10-0.15	0.40-0.60	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	0.20-0.30	4812
4815	0.13-0.18	0.40-0.60	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	0.20-0.30	4815
4817	0.15-0.20	0.40-0.60	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	0.20-0.30	4817
4820	0.18-0.23	0.50-0.70	0.040	0.040	0.20-0.35	3.25-3.75	—	0.20-0.30	4820
5045	0.43-0.48	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.55-0.75	—	5045
5046	0.43-0.58	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.55-0.75	—	5046
—	0.13-0.18	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.70-0.90	—	5115
5120	0.17-0.22	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.70-0.90	—	5120
5130	0.28-0.33	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	—	5130
5132	0.30-0.35	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.05	—	5132
5135	0.33-0.38	0.60-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.05	—	5135
5140	0.38-0.43	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.70-0.90	—	5140
5145	0.43-0.48	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.70-0.90	—	5145
5147	0.45-0.52	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.90-1.20	—	5147
5150	0.48-0.53	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.70-0.90	—	5150
5152	0.48-0.55	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.90-1.20	—	5152
E50100	0.95-1.10	0.25-0.45	0.025	0.025	0.20-0.35	—	0.40-0.60	—	50100
E51100	0.95-1.10	0.25-0.45	0.025	0.025	0.20-0.35	—	0.90-1.15	—	51100
E52100	0.95-1.10	0.25-0.45	0.025	0.025	0.20-0.35	—	1.30-1.60	—	52100
								V	
6120	0.17-0.22	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.70-0.90	0.10 Min	—
6145	0.43-0.48	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.15 Min	—
6150	0.48-0.53	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.15 Min	—
6152	0.48-0.55	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	—	0.80-1.10	0.10 Min	—

Número AISI	C	Mn	P Max.	S Max.	Si	Ni	Cr	Mo	Número SAE
8615	0.15-0.18	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.50-0.60	0.15-0.25	8615
8617	0.15-0.20	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8617
8620	0.18-0.23	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8620
8622	0.20-0.25	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8622
8625	0.23-0.28	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8625
8627	0.25-0.30	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8627
8630	0.28-0.33	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8630
8632	0.30-0.35	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8632
8635	0.33-0.38	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8635
8637	0.35-0.40	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8637
8640	0.38-0.43	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8640
8641	0.38-0.43	0.75-1.00	0.040	0.040-0.60	0.20-0.35	0.40-0.87	0.40-0.60	0.15-0.25	8641
8642	0.40-0.45	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8642
8645	0.43-0.48	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8645
8647	0.45-0.50	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8417
8650	0.48-0.53	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8650
8653	0.50-0.56	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8653
8655	0.50-0.60	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8655
8660	0.50-0.65	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8660
8720	0.18-0.23	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	8720
8735	0.33-0.38	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	8735
8740	0.38-0.43	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	8740
8742	0.48-0.45	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	—
8745	0.43-0.48	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	8745
8747	0.45-0.50	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	—
8750	0.48-0.53	0.75-1.00	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	8750
—	0.58-0.60	0.50-0.60	0.040	0.040	1.20-1.60	—	0.50-0.80	—	9254
9255	0.58-0.60	0.70-0.95	0.040	0.040	1.80-2.20	—	—	—	9255
9260	0.55-0.65	0.70-1.00	0.040	0.040	1.80-2.20	—	—	—	9260
9261	0.55-0.65	0.75-1.00	0.040	0.040	1.80-2.20	—	0.10-0.25	—	9261
9262	0.55-0.65	0.75-1.00	0.040	0.040	1.80-2.20	—	0.250-0.400	—	9262
E9310	0.08-0.13	0.45-0.65	0.025	0.025	0.20-0.35	3.00-3.50	1.00-1.40	0.80-0.15	9310
E9315	0.13-0.18	0.45-0.65	0.025	0.025	0.20-0.35	3.00-3.50	1.00-1.40	0.80-0.15	9315
E9317	0.15-0.20	0.45-0.65	0.025	0.025	0.20-0.35	3.00-3.50	1.00-1.40	0.80-0.15	9317
9437	0.35-0.40	0.90-1.20	0.040	0.040	0.20-0.35	0.30-0.60	0.30-0.50	0.80-0.15	9437
9440	0.38-0.43	0.90-1.20	0.040	0.040	0.20-0.35	0.30-0.60	0.30-0.50	0.80-0.15	9440
9442	0.40-0.45	1.00-1.30	0.040	0.040	0.20-0.35	0.30-0.60	0.30-0.50	0.80-0.15	9442
9445	0.43-0.48	1.00-1.30	0.040	0.040	0.20-0.35	0.30-0.60	0.30-0.50	0.80-0.15	9445
9447	0.45-0.50	0.50-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.10-0.25	0.15-0.25	9447
9763	0.60-0.67	0.50-0.80	0.040	0.040	0.20-0.35	0.40-0.70	0.10-0.25	0.15-0.25	9763
9840	0.38-0.43	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.85-1.15	0.70-0.90	0.20-0.30	9840
9845	0.43-0.48	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.85-1.15	0.70-0.90	0.20-0.30	9840
9850	0.48-0.53	0.70-0.90	0.040	0.040	0.20-0.35	0.85-1.15	0.70-0.90	0.20-0.30	9850

## ANEXO 4

**TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO PARA  
DIFERENTES ACEROS**

<b>Aceros</b>	<b>Designación</b>	<b>% Carbono</b>	<b>Precalentamiento Recomendado</b>
ACEROS AL CARBONO	Aceros al Carbono	Bajo 0,20	Sobre 90°C
	Aceros al Carbono	0,20-0,30	90°C - 150°C
	Aceros al Carbono	0,30 - 0,45	150°C - 260°C
	Aceros al Carbono	0,45 - 0,80	260°C - 420°C
ACEROS CARBONO-MOLIBDENO	Aceros Carbono-Molibdeno	0,10 - 0,20	150°C - 260°C
	Aceros Carbono-Molibdeno	0,20 - 0,30	200°C - 320°C
	Aceros Carbono-Molibdeno	0,30 - 0,35	260°C - 420°C
ACEROS AL MANGANESO	Aceros al Mn Medio	0,20 - 0,25	150°C - 260°C
	SAET 1330	0,30	200°C - 320°C
	SAET 1340	0,40	260°C - 420°C
	SAET 1350	0,50	320°C - 480°C
	Ac. Mn. 12% (HADFIELD)	1,25	No requiere
ACEROS DE ALTA RESISTENCIA	Aceros Molibdeno-Manganeso	0,20	150°C - 260°C
	Aceros T1	0,10 - 0,20	90°C - 200°C
	Aceros Alta Resistencia ARMCO	0,12 Máx.	Sobre 90°C
	Aceros Mayari R	0,12 Máx.	Sobre 150°C
	Aceros DUR-CAP	0,25 Máx.	90°C - 200°C
	Aceros YOLOY	0,05 - 0,35	90°C - 320°C
	Aceros Cr-Cu-Ni	0,12 Máx.	90°C - 200°C
	Aceros CROMO-MANGANESO	0,40	200°C - 320°C
	Aceros Hi	0,12 Máx.	90°C - 260°C

<b>Aceros</b>	<b>Designación</b>	<b>% Carbono</b>	<b>Precalentamiento Recomendado</b>
ACEROS AL NIQUEL	SAE 2015	0,10—0,20	Sobre 150°C
	SAE 2115	0,10—0,20	90°C - 150°C
	Acero Niquel 2 1/2%	0,10—0,20	90°C - 200°C
	SAE 2315	0,15	90°C - 260°C
	SAE 2330	0,20	90°C - 260°C
	SAE 2340	0,30	150°C - 320°C
ACEROS CROMO-NIQUEL	SAE 3115	0,15	90°C - 200°C
	SAE 3125	0,25	150°C - 260°C
	SAE 3130	0,30	2000°C - 370°C
	SAE 3140	0,40	260°C - 430°C
	SAE 3150	0,50	320°C - 480°C
	SAE 3215	0,15	150°C - 260°C
	SAE 3230	0,30	260°C - 370°C
	SAE 3240	0,40	370°C - 540°C
	SAE 3250	0,50	480°C - 600°C
	SAE 3315	0,15	260°C - 370°C
	SAE 3325	0,25	480°C - 600°C
	SAE 3435	0,35	480°C - 600°C
	SAE 3450	0,50	480°C - 600°C
ACEROS AL MOLIBDENO	SAE 4140	0,40	320°C - 430°C
	SAE 4340	0,40	370°C - 480°C
	SAE 4615	0,15	200°C - 320°C
	SAE 4630	0,30	260°C - 370°C
	SAE 4640	0,40	320°C - 430°C
	SAE 4820	0,20	320°C - 430°C
ACEROS CROMO-MOLIBDENO	Aceros 2% Cr - 1/2% Mo	Sobre 0,15	200°C - 320°C
	Aceros 2% Cr - 1/2% Mo	0,15 - 0,25	260°C - 430°C
	Aceros 2% Cr - 1% Mo	Sobre 0,15	260°C - 370°C
	Aceros 2% Cr - 1% Mo	0,15 - 0,25	320°C - 430°C
	Aceros 5% Cr - 1/2% Mo	Sobre 0,15	260°C - 430°C
	Aceros 5% Cr - 1/2% Mo	0,15 - 0,25	320°C - 480°C
ACEROS AL CROMO	12 - 14% Cr tipo 410	0,10	150°C - 260°C
	16 - 18% Cr tipo 430	0,10	150°C - 260°C
	23 - 30% Cr tipo 446	0,10	150°C - 260°C
ACEROS INOXIDABLES CROMO - NIQUEL	18% Cr - 8% Ni tipo 304	0,07	Estos aceros no requieren de precalentamiento
	25 - 12 tipo 309	0,07	
	25 - 20 tipo 310	0,10	
	18 - 8 Cb tipo 347	0,07	
	18 - 9 Mo tipo 316	0,07	
	18 - 8 Mo tipo 317	0,07	

## ANEXO 5

**CONVERSION DE TEMPERATURA FAHRENHEIT A  
CENTIGRADO**

459,4 a 0			0 a 100					
C	T	F	C	T	F	C	T	F
-273	-459,4		-17,7	0	32	9,9	50	122,0
-268	-450		-17,2	1	33,8	10,4	51	123,8
-262	-440		-16,6	2	35,6	11,1	52	125,6
-257	-430		-16,1	3	37,4	11,5	53	127,4
-251	-420		-15,5	4	39,2	12,1	54	129,2
-246	-410		-15,0	5	41,0	12,6	55	131,0
-240	-400		-14,4	6	42,8	13,2	56	132,8
-234	-390		-13,9	7	44,6	13,7	57	134,6
-229	-380		-13,3	8	46,4	14,3	58	136,4
-223	-370		-12,7	9	48,2	14,8	59	138,2
-218	-360		-12,2	10	50,0	15,6	60	140,0
-212	-350		-11,6	11	51,8	16,1	61	141,8
-207	-340		-11,1	12	53,6	16,6	62	143,6
-201	-330		-10,5	13	55,4	17,1	63	145,4
-196	-320		-10,0	14	57,2	17,7	64	147,2
-190	-310		-9,4	15	59,0	18,2	65	149,0
-184	-300		-8,8	16	60,8	18,8	66	150,8
-179	-290		-8,3	17	62,6	19,3	67	152,6
-173	-280		-7,7	18	64,4	19,9	68	154,4
-169	-273	-459,4	-7,2	19	66,2	20,4	69	156,2
-168	-270	-454	-6,6	20	68,0	21,0	70	158,0
-162	-260	-436	-6,1	21	69,8	21,5	71	159,8
-157	-250	-418	-5,5	22	71,6	22,2	72	161,6
-151	-240	-400	-5,0	23	73,4	22,7	73	163,4
-146	-230	-382	-4,4	24	75,2	23,3	74	165,2
-140	-220	-364	-3,9	25	77,0	23,8	75	167,0
-134	-210	-346	-3,3	26	78,8	24,4	76	168,8
-129	-200	-328	-2,8	27	80,6	25,0	77	170,6
-123	-190	-310	-2,2	28	82,4	25,5	78	172,4
-118	-180	-292	-1,6	29	84,2	26,2	79	174,2
-112	-170	-274	-1,1	30	86,0	26,8	80	176,0
-107	-160	-256	-0,6	31	87,8	27,3	81	177,8
-101	-150	-238	0	32	89,6	27,7	82	179,6
-96	-140	-220	0,5	33	91,4	28,2	83	181,4
-90	-130	-202	1,1	34	93,2	28,8	84	183,2
-84	-120	-184	1,6	35	95,0	29,3	85	185,0
-79	-110	-166	2,2	36	96,8	29,9	86	186,8
-73	-100	-148	2,7	37	98,6	30,4	87	188,6
-68	-90	-130	3,3	38	100,4	31,0	88	190,4
-62	-80	-112	3,8	39	102,2	31,5	89	192,2
-57	-70	-94	4,4	40	104,0	32,1	90	194,0
-51	-60	-76	4,9	41	105,8	32,6	91	195,8
-46	-50	-58	5,5	42	107,6	33,3	92	197,6
-40	-40	-40	6,0	43	109,4	33,8	93	199,4
-34	-30	-22	6,6	44	111,2	34,4	94	201,2
-29	-20	-4	7,1	45	113,0	34,9	95	203,0
-23	-10	14	7,7	46	114,8	35,5	96	204,8
-17,7	0	32	8,2	47	116,6	36,1	97	206,6
		8,8	48	118,4	36,6	98	208,4	
		9,3	49	120,2	37,1	99	210,2	
					37,7	100	212,0	

100 a 1000						1000 a 2000					
C	T	F	C	T	F	C	T	F	C	T	F
38	100	212	260	500	932	538	1000	1832	815	1050	2732
43	110	230	265	510	950	543	1010	1850	820	1510	2750
49	120	248	271	520	968	549	1020	1868	827	1520	2768
54	130	266	276	530	986	554	1030	1886	831	1530	2786
60	140	284	282	540	1004	560	1040	1904	838	1540	2804
65	150	302	288	550	1022	565	1050	1922	842	1550	2822
71	160	320	293	560	1040	571	1060	1940	849	1560	2840
76	170	338	299	570	1058	576	1070	1958	853	1570	2858
83	180	356	304	580	1076	582	1080	1976	860	1580	2876
88	190	374	310	590	1094	587	1090	1994	864	1590	2894
93	200	392	315	600	1112	593	1100	2012	871	1600	2912
99	210	410	321	610	1130	598	1110	2030	876	1610	2930
100	212	413	326	620	1148	604	1120	2048	882	1620	2948
104	220	428	332	630	1166	609	1130	2066	887	1630	2966
110	230	446	338	640	1184	615	1140	2084	893	1640	2984
115	240	464	343	650	1202	620	1150	2102	898	1650	3002
121	250	482	349	660	1220	626	1160	2120	904	1660	3020
127	260	500	354	670	1238	631	1170	2138	909	1670	3038
132	270	518	360	680	1256	637	1180	2156	915	1680	3056
138	280	536	365	690	1274	642	1190	2174	920	1690	3074
143	290	554	371	700	1292	648	1200	2192	926	1700	3092
149	300	572	376	710	1310	653	1210	2210	931	1710	3110
154	310	590	382	720	1328	659	1220	2228	937	1720	3128
160	320	608	387	730	1346	664	1230	2246	942	1730	3146
165	330	626	393	740	1364	670	1240	2264	948	1740	3164
171	340	644	399	750	1382	675	1250	2282	953	1750	3182
177	350	662	404	760	1400	681	1260	2300	959	1760	3200
182	360	680	410	770	1418	686	1270	2318	964	1770	3218
188	370	698	415	780	1436	692	1280	2336	970	1780	3236
193	380	716	421	790	1454	697	1290	2354	975	1790	3254
199	390	734	426	800	1472	704	1300	2372	981	1800	3272
204	400	752	432	810	1490	708	1310	2390	986	1810	3290
210	410	770	438	820	1508	715	1320	2408	992	1820	3308
215	420	788	443	830	1526	719	1330	2426	997	1830	3326
221	430	806	449	840	1544	726	1340	2444	1003	1840	3344
226	440	824	454	850	1562	734	1350	2462	1008	1850	3362
232	450	842	460	860	1580	737	1360	2480	1014	1860	3380
238	460	860	465	870	1598	741	1370	2498	1019	1870	3398
243	470	878	471	880	1616	748	1380	2516	1025	1880	3416
249	480	896	476	890	1634	752	1390	2534	1030	1890	3434
254	490	914	482	900	1652	760	1400	2552	1036	1900	3452
			487	910	1670	765	1410	2570	1041	1910	3470
			493	920	1688	771	1420	2588	1047	1920	3488
			498	930	1706	776	1430	2606	1052	1930	3506
			504	940	1724	782	1440	2624	1058	1940	3524
			510	950	1742	787	1450	2642	1063	1950	3542
			515	960	1760	793	1460	2660	1069	1960	3560
			520	970	1778	798	1470	2678	1074	1970	3578
			526	980	1796	804	1480	2696	1080	1980	3596
			532	990	1814	809	1490	2714	1085	1990	3614
			538	1000	1832				1093	2000	3632

2000 a 2750											
C	T	F	C	T	F	C	T	F	C	T	F
1093	2000	3632	1198	2190	3974	1303	2380	4316	1409	2570	4658
1098	2010	3650	1204	2200	3992	1308	2390	4334	1415	2580	4676
1104	2020	3668	1209	2210	4010	1315	2400	4352	1420	2590	4694
1109	2030	3686	1215	2220	4028	1320	2410	4370	1427	2600	4712
1115	2040	3704	1220	2230	4046	1326	2420	4388	1432	2610	4730
1120	2050	3722	1226	2240	4064	1331	2430	4406	1438	2620	4748
1126	2060	3740	1231	2250	4082	1337	2440	4424	1443	2630	4766
1131	2070	3758	1237	2260	4100	1342	2450	4442	1449	2640	4784
1137	2080	3776	1242	2270	4118	1348	2460	4460	1454	2650	4802
1142	2090	3794	1248	2280	4136	1353	2470	4478	1460	2660	4820
1149	2100	3812	1253	2290	4154	1359	2480	4496	1465	2670	4838
1154	2110	3830	1259	2300	4172	1364	2490	4514	1471	2680	4856
1160	2120	3848	1264	2310	4190	1371	2500	4532	1476	2690	4874
1165	2130	3866	1270	2320	4208	1376	2510	4550	1483	2700	4892
1171	2140	3884	1275	2330	4226	1382	2520	4568	1488	2710	4910
1176	2150	3902	1281	2340	4244	1387	2530	4586	1494	2720	4928
1182	2160	3920	1286	2350	4262	1393	2540	4604	1499	2730	4946
1187	2170	3938	1292	2360	4280	1398	2550	4622	1505	2740	4964
1193	2180	3956	1297	2370	4298	1404	2560	4640	1510	2750	4982