



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO  
Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ  
FACULTAD METALURGIA ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO. INGENIERIA MECANICA**

**Tesis en opción al Título de Ingeniero Mecánico**

**Metodología de Cálculo de Costos para Procesos de  
Soldadura por Arco Eléctrico**

**Autor: Ernesto Caballero Velázquez**

**Tutores: MS.c. Tomás Fernández Columbié.**

**Ing. Reynaldo Pérez Ramírez**

**Lic. Marjoris Utria Jiménez**

**Moa, Junio de 2010  
“Año 52 de La revolución”**



## **Declaración de Autoridad**

**Yo:** Ernesto Caballero Velázquez

Autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Nuñez Jiménez, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

-----  
Ernesto Caballero Velázquez

-----  
MSc. Tomás Fernández Columbié

-----  
Ing. Reynaldo Pérez Ramírez

-----  
Lic. Marjoris Útria Jiménez



## **Agradecimientos:**

***A mis familiares que me apoyaron en los momentos de mi vida en que mas lo necesitaba. A mi esposa, por la exigencia y la confianza en todo este período.***

***A todos mis profesores por los conocimientos transmitidos durante el desempeño de mi carrera.***

***A mis tutores por confiar en mí en la realizacion de este trabajo, el MsC Tomás Fernández Columbie y el Ing. Reynaldo Pérez Ramírez.***

***A mis amigos que siempre creyeron en mi.***

***A los que de una forma u otra me apoyaron y ayudaron en la realizacion de este trabajo.***

***A la revolucion, y al colectivo de la ECRIN, por darme la oportunidad de convertirme en profesional.***

***A todos***

***Muchas Gracias.***



***Dedicatoria:***

***Quiero dedicar este trabajo a mi madre.***

***A mis hijos que le sirva de ejemplo.***

***A la memoria de un padre mas, Pedro Suárez.***

***A mí querida esposa.***

***A mis amigos.***

***A nuestra revolución, por las posibilidades  
que me ofrece.***



## **Resumen**

El objetivo del trabajo es establecer una metodología que permita determinar los cálculos de costo y consumo de soldadura por arco eléctrico. Considerando la gran variedad de procesos que intervienen en estos tipos de procesos, se consideró analizar 4 procesos: Soldadura por arco metálico con electrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding, SMAW (ANSI/AWS A 3.0), soldadura por arco sumergido, SAW (Submerged arc welding (ANSI/AWS A 3.0), Soldadura por arco con electrodo fusible y protección gaseosa, GMAW (Gas Metal Arc Welding (ANSI/AWS A 3.0 - 89) y Soldadura por arco con electrodo infusible y protección gaseosa, GTAW, TIG (Gas Tungsten Arc Welding, según ANSI/AWS A3.0-89), las cuales, se tuvo en cuenta diferentes parámetros como: gas de protección, tiempo y mano de obra necesarias, costos de electricidad y gastos generales, costo del metal de aporte, fundente, costos de electricidad, fuentes de potencia. Se valora la incidencia de los procesos de soldadura en el hombre y en el ambiente.



### **Abstract**

The objective of the work is a methodology that allows determining the cost calculations and welding consumption for electric arch to settle down. Whereas clause the great variety of processes that they intervene in these types of processes, was considered to analyze 4 processes: Welding for metallic arch with lined electrode (Shielded Metal Arc Welding, SMAW (ANSI/AWS A 3.0), welding for submerged arch, SAW (Submerged arc welding (ANSI/AWS A 3.0), Welding for arch with fusible electrode and gassy protection, GMAW (Gas Metal Arc Welding (ANSI/AWS A 3.0 – 89) and Welding for arch with electrode infusible and gassy protection, GTAW, TIG (Gas Tungsten Arc Welding, according to ANSI/AWS A3.0 – 89), those which, one kept in mind different parameters like: protection gas, time and necessary manpower, electricity costs and general expenses, cost of the metal of contribution, flux, electricity costs, sources of power. The incidence of the welding processes is valued in the man and in the atmosphere.



## TABLA DE CONTENIDOS

<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
1.1 Introducción.	4
1.2 Generalidades.	4
1.3 Clasificación AWS de los procesos de soldadura.	5
1.31 Soldadura por arco de metal protegido.	7
1.3.2 Electrodo recubierto.	7
1.3.3 Funciones y características del revestimiento.	8
1.3.4 Especificaciones AWS de electrodos.	8
1.4 Soldadura por arco sumergido (SAW).	8
1.4.1 Variables del proceso.	10
1.5 Soldadura por arco con electrodo fusible y protección gaseosa (GMAW).	10
1.5.1 Fundamento del proceso GMAW.	11
1.5.2 Metales de aporte.	11
1.6 Soldadura por arco con electrodo infusible y protección gaseosa (GTAW).	11
1.6.1 Electrodo.	12
1.7 Etapas para el establecimiento de una tecnología de soldadura.	12
1.7.1 Análisis Preliminar.	13
1.7.2 Elección de los metales de aporte.	17
1.7.3 Determinación del régimen de soldeo.	20
1.7.4 Llenado de los Modelos de Procedimientos de Soldadura.	20
1.7.5 Determinación de los costos de realización de la soldadura.	20
1.7.6 Establecimiento del Control de la Calidad del conjunto soldado.	21
1.7.7 Llenado de la Documentación Tecnológica.	21
1.8 Conclusiones del capítulo I.	22
<b>CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
2.1 Introducción.	23
2.2 Elementos en costos de soldadura.	23
2.2.1 Área de la sección transversal.	24



2.3	Requerimientos de materiales diversos.	30
2.4	Gas de protección.	31
2.5	Otros materiales.	32
2.6	Tiempo y mano de obra necesarias.	32
2.7	Costos de electricidad y gastos generales.	33
2.8	Métodos para determinar los costos de soldadura.	34
2.9	Requerimiento y costo del metal de aporte.	36
2.10	Costos de materiales diversos.	40
2.11	Gas de protección.	41
2.12	Costos de otros materiales.	42
2.13	Costos de mano de obra.	42
2.14	Costos de electricidad.	45
2.15	Ciclo de trabajo de las fuentes de potencia.	47
2.16	Conclusiones del capítulo II.	48

### **CAPITULO III. ANALISIS DE LOS RESULTADOS**

3.1.	Introducción.	49
3.2	Cálculo de costo y consumo de soldadura.	49
3.3.	Consideraciones en el diseño de las construcciones soldadas.	49
3.4.	Consideraciones a tener en cuenta en las fabricaciones soldadas.	51
3.5.	Rendimiento de los electrodos.	52
3.6	Propuesta de un sistema computarizado para el cálculo de costo.	53
3.6.1	Descripción del sistema.	54
3.6.2	Lenguaje que puede emplearse.	54
3.6.3	Ejemplo de datos a introducir en el programa.	55
3.7	Fórmulas para el cálculo de costo.	58
3.7.1	Procesos GMAW, FCAW y SAW.	62
3.8.	Impacto medio ambiental.	65
3.8.1	Afectaciones de los procesos de soldadura.	65
3.9	Conclusiones del capítulo III.	66

### **CONCLUSIONES**

### **RECOMENDACIONES**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**



## **INTRODUCCION**

La Industria Cubana del Níquel con 60 años de creada, a partir del año 2000 constituye la primera fuente de exportación del país y se encuentra enfrascada en un proceso de ampliación de sus capacidades y modernización de su tecnología, y con ello equipos y aparatos para su desarrollo, lo que permitirá ir incrementando su papel en la economía nacional.

Para cumplir estos lineamientos a mediano y largo plazo, se requiere que paralelamente al crecimiento progresivo de la producción se perfeccionen los parámetros y regímenes de trabajo de las instalaciones y el equipamiento tecnológico, para explotar de una forma más racional y eficiente las grandes reservas de recursos minerales existentes en los yacimientos níquelíferos de la región oriental de Cuba y se perfeccione el sistema de extracción minera; lo que garantizará la existencia de un proceso productivo continuo.

Desde tiempos inmemoriales la unión de piezas siempre ha sido una preocupación del hombre. Esta unión que inicialmente se convirtió en un asunto de supervivencia para el hombre de la antigüedad, al unir mediante fibras vegetales la piedra y el palo, se convertirá a partir de ese momento en una cuestión fundamental.

Con el desarrollo de nuevos materiales los procesos de unión han ido variando con el de cursar del tiempo, desde las primeras armas soldadas en el Egipto de la edad del bronce hace más de 3000 años, hasta las últimas soldaduras realizadas en los paneles solares de la estación espacial internacional.

La soldadura está relacionada con casi todas las actividades industriales, además de ser una importante industria en sí misma. Gracias al desarrollo de nuevas técnicas durante la primera mitad del siglo XX, la soldadura sustituyó al atornillado y al remachado en la construcción de muchas estructuras, como puentes, edificios y barcos. Es una técnica fundamental en la industria automotriz, en la aeroespacial, en la fabricación de maquinaria y en la de cualquier tipo de producto hecho con metales. El tipo de soldadura más adecuado para unir dos piezas de metal depende de las propiedades físicas de los metales, de la utilización a la que está destinada la pieza y de las instalaciones disponibles.



La tecnología y la ciencia de la soldadura han avanzado con tal rapidez en los últimos años, que sería casi imposible enumerar todos los métodos diferentes de soldadura que actualmente están en uso.

El Grupo Empresarial Cubaníquel posee varias empresas donde se aplican procesos de soldadura para la elaboración de partes y componentes destinados a la satisfacción de sus demandas. Estas empresas poseen medios para calcular los consumibles, pero en ninguna de ellas se establece una uniformidad según lo establecido por la A.W.S. Dentro de estas empresas, se destaca la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed D´Beche”, que posee un taller de estructuras metálicas con una importante carga productiva anual y requiere, conjuntamente con las demás, mejorar y estandarizar los procedimientos de cálculo de los procesos de soldadura. En tal sentido, para la presente investigación se establece como **situación problemática** la siguiente:

El cálculo de los costos de los procesos de soldadura del tipo SMAW, SAW, GMAW y CO<sub>2</sub> se realiza sobre la base de la experiencia acumulada, utilizando como criterio la media de los índices de consumo y fichas de costo elaboradas para diferentes fabricaciones metálicas; sin embargo, estos cálculos resultan ser imprecisos al no considerarse otros factores tecnológicos como las características del proceso, el tipo de soldadura y el valor de los consumibles, entre otros.

El **problema** a investigar lo constituye:

Inexistencia de una metodología para precisar el costo de consumibles de soldadura en los procesos SMAW, SAW, GMAW y CO<sub>2</sub>.

Como **objeto** de la investigación se establece:

Consumibles de soldadura.

El **Campo de la investigación** es:

Costo de los consumibles de soldadura.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis**:

La definición de los parámetros de los procesos de soldadura SMAW, SAW, GMAW y CO<sub>2</sub> permite establecer una metodología de cálculo que garantice determinar con precisión el

costo de los consumibles de dichos procesos

A partir de la hipótesis planteada, se define como **objetivo del trabajo**

Establecer una metodología de cálculo para realizar los cálculos de costo y consumo de procesos de soldadura SMAW, SAW, GMAW y CO<sub>2</sub> para evaluar las posibles alternativas y presupuestar la tecnología correspondiente.

Y se definen los **objetivos específicos** siguientes:

1. Definir las consideraciones en el diseño de las construcciones soldadas,
2. Establecer los métodos para calcular los costos de soldadura y precisar el conjunto de datos a introducir un sistema computarizado para el cálculo de costo de soldadura

Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto, se plantean las **tareas de trabajo** siguientes:

1. Establecimiento del estado del arte y sistematización de los conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
2. Análisis de los efectos de las variables empleadas para determinar los principios del funcionamiento de los procesos de soldadura al arco.
3. Estudio acerca de los métodos para calcular los costos de soldadura al arco y se presentan las fórmulas para calcular estos costos.
4. Análisis de los resultados y fundamentación acerca de los métodos para calcular los costos de soldadura al arco y se presentan las fórmulas para calcular los costos.
5. Planteamiento de las ventajas económicas de la aplicación de la metodología propuesta.

# CAPITULO I



## CAPITULO I. MARCO TEÓRICO. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

### 1.1 Introducción

En la actualidad en nuestro medio los procesos de soldadura se realizan en su mayoría en forma artesanal sin ayuda de máquinas semiautomáticas o automáticas que de ser utilizadas aumentarían las eficiencias de dichos procesos gracias a que se disminuirían los tiempos totales empleados en realizar las diversas operaciones que involucran dichos procesos y también debido a que las pérdidas del material de aporte se reducirían de manera considerable consiguiéndose con esto aminorar los costos totales de los procesos de soldadura puesto que se reducirían los gastos indirectos, los costos de mano de obra, del material de aporte (electrodos) y de energía eléctrica.

En el presente capítulo se establece como **objetivo**

- Realizar un análisis de la bibliografía existente que permita definir el estado del arte en la temática abordada y sustentar los resultados alcanzados en la investigación.

### 1.2. Generalidades

Soldar consiste en unir sólidamente 2 piezas metálicas o 2 partes de una misma pieza. Esta unión se realiza siempre elevando la temperatura de las superficies a soldar puestas en contacto sin aportación de sustancias o con aportación de una sustancia igual o semejante al material de las piezas soldadas. La soldadura no es sólo un proceso de fabricación sino también es un proceso de mantenimiento y reparación (Seferian, 1966; Burgos, 1987; Rodríguez, 1983)

La AWS (1996) considera que en la mayor parte de los métodos corrientes de soldadura, la unión de dos piezas metálicas se efectúa mediante la fusión de la zona de contacto entre ambas, efectuándose la unión al solidificar el metal. Cuando se funde una cierta cantidad de metal y después se solidifica, el metal solidificado se dice que esta "fundido".

La ciencia de la soldadura es una soldadura es ante todo un proceso de fundición del metal, análogamente a lo que se efectúan en las fundiciones, pero a una escala más reducida. En general los metales fundidos tienden a ser frágiles. Debido a ello



gran parte de las técnicas de soldadura, están enfocados a prevenir la fragilidad de la zona fundida (Stout, 1971; Oystein, 1994)

Masubuchi (1980); Existe un fenómeno que tiene lugar en la soldadura: la disolución. El material de aportación y/o los electrodos raramente tienen la misma composición química que el material base. Si se suelda dos piezas con 1% C, sin Cr, con un material de aporte que contiene un 20% Cr y carece de C. La zona fundida de metal depositado contiene parte del acero con 1% C y parte del acero con 20% Cr, de forma que, en la unión soldada, se crea un nuevo acero con menos de 1% C y menos de 20% Cr. Cada uno de los dos metales ha diluido a la otra de sus aleaciones.

El resultado del proceso de soldadura es la costura soldada.

Costura soldada: Unión localizada de metales o no metales (materiales bases), producida por calentamiento de los materiales a temperaturas adecuadas, con o sin la aplicación de presión, o por la aplicación de presión únicamente, y sin o con el empleo de material de aportación. En la soldadura por fusión la costura soldada puede estar formada por uno o varios cordones de soldadura.

Material base: Material que va a ser sometido a cualquier operación de soldeo, corte.

Material de aporte: Material que se aporta en cualquier operación o proceso de soldeo.

Metal depositado: Metal de aporte añadido durante la operación de soldeo.

Cordón de soldadura: Es el metal fundido y solidificado en el proceso de soldadura en una pasada.

Unión soldada: Es la unión permanente de dos o más elementos constructivos por soldadura.

### **1.3 Clasificación AWS de los procesos de soldadura**

La AWS (1996); ASM BOLHER (1992), The Lincon Electric Company (1994) consideran la soldadura por fusión, como proceso tecnológico, tiene semejanza con los procesos de fundición y tratamiento térmico, semejanza con el proceso de fundición debido a que la soldadura lleva al metal hasta el estado líquido (en la



soldadura por fusión), para que luego se solidifique en un molde, constituido por los bordes de los metales base que se unen, los que además, en este caso, participan también en el proceso de fusión, semejanza con el proceso de tratamiento térmico, debido a que las partes adyacentes a la zona fundida están sometidas a un proceso de calentamiento en estado sólido, que es variable de acuerdo con la distancia a que se encuentre el punto considerado al eje de la costura. Por tanto se considera que la soldadura produce un tratamiento térmico variable en el metal base, además como proceso metalúrgico tiene las siguientes particularidades:

- Ocurre a altas temperaturas de calentamiento ( $>3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- Se efectúa a una gran velocidad.
- Los volúmenes de metales calentado y fundidos son pequeños.
- La conducción del calor de la zona fundida hacia el metal base en estado sólido es muy rápida.
- En la zona fundida actúan gases y las escorias que lo rodean durante la ejecución del proceso.
- El metal de aporte utilizado en la formación de la costura puede poseer una composición química diferente al metal base.

La clasificación AWS se realiza en etapas sucesivas utilizando en cada una de ellas factores definitorios. En primer lugar se clasifican los procesos atendiendo al tipo de interacción que se produce entre las partes del metal base y el metal de aportación, en su caso, para dar lugar a la unión soldada.

1. Soldeo por fusión: La unión se consigue por la interacción entre el metal base y de aportación, ambos en fase líquida.
2. Soldeo en estado sólido: La unión se consigue entre las partes a unir en estado sólido.
3. Soldeo fuerte y blando: La unión se consigue por interacción entre el metal base en fase sólida y el metal de aportación fundido. La diferencia entre soldeo fuerte y blando radica en que el primero se utilizan materiales de aportación con puntos de fusión superiores a  $450^{\circ}\text{C}$ , mientras en el segundo, éstos son inferiores.



### 1.3.1 Soldadura por arco de metal protegido

La soldadura por arco de metal protegido (Shielded metal arc welding, SMAW) es un proceso de soldadura por arco en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando.

Denominaciones del proceso:

- ✓ Shielded Metal Arc Welding, SMAW (ANSI/AWS A3.0).
- ✓ Soldadura por arco metálico con electrodo revestido, 111 (EN 24063).

El calor generado funde la punta del electrodo y la superficie del metal base. De esta forma las pequeñas gotas de metal fundido que se forman sobre la punta del electrodo viajan a través de la columna del arco y junto con el metal base fundido forman el baño de soldadura. El electrodo se desplaza a una velocidad adecuada (velocidad de soldadura) fundiendo constantemente una porción del metal base y adicionando metal de aporte producto de su propia fusión. En la medida que el proceso se desarrolla el baño metálico va solidificando y formando el metal de la costura. La protección del metal a elevada temperatura de la acción del oxígeno y el nitrógeno del aire se realiza a través del revestimiento que cuando se combustiona genera gases y una escoria que cubre las gotas de metal y el baño de soldadura, creando una doble barrera protectora (Seferian, 1966; Rodríguez, 1983)

### 1.3.2. Electrodo recubiertos

Un electrodo recubierto es una varilla que tienen un núcleo metálico (alma) de composición normalmente similar a la del metal base, cuya función es conducir la energía eléctrica para la formación del arco y mediante su fusión (fundamentalmente) garantizar el metal de aporte para la formación de la costura soldada. El electrodo consta además de un revestimiento a base de sustancias químicas que cumple varias funciones y posee además un extremo no revestido que permite fijarlo en el portaelectrodo.

Estos electrodos se fabrican según AWS con longitudes normalizadas de 230 (9), 300 (12), **350 (14)** y **450 (18)** mm (pulg.), y diámetros normalizados de 1,6 (1/16), 2,4 (3/32), **3,2 (1/8)**, **4 (5/32)**, **4,8 (3/16)**, 5,6 (7/32), 6,3 (1/4) y 7,9 (5/16) mm

(pulg.). En negrita se han señalado las longitudes y diámetros más comunes. El extremo del alma sin cubrir tiene una longitud de 20 a 30 mm.

### **1.3.3 Funciones y características del revestimiento**

El revestimiento de un determinado electrodo es una combinación compleja de materiales escogidos y utilizados en proporciones tales que sirven para varias funciones. La composición química exacta del revestimiento de los electrodos comerciales constituye un secreto que se reserva el fabricante (know how); estos solo publican la composición y propiedades del metal que depositan dichos electrodos. En la composición de un revestimiento pueden estar presentes varios ingredientes entre los que se puede citar: celulosa, silicatos, carbonatos, rutilo, ferromanganeso y ferrosilicio, fluoruro de calcio, arcillas y gomas, óxidos de hierro y manganeso, elemento metálicos de aleación, polvo de hierro.

### **1.3.4 Especificaciones AWS de electrodos**

La AWS (1996) (Sociedad Americana de Soldadura) ha establecido las siguientes Especificaciones de fabricación y clasificación de los electrodos revestidos, la tabla 1.1 recoge la especificación y tipo de electrodo según la AWS.

Tabla 1.1. Especificaciones y tipo de electrodo según la AWS.

Especific AWS	Tipo de electrodo
A 5.1	Electrodos recubiertos para soldadura por arco de acero al carbono
A 5.3	Electrodos recubiertos para soldadura por arco de aluminio y sus aleaciones.
A 5.4	Electrodos recubiertos para soldadura por arco de aceros resistentes a la corrosión
A 5.5	Electrodos recubiertos para soldadura por arco de aceros de baja aleación.
A 5.6	Electrodo recubierto de cobre y sus aleaciones.
A 5.11	Electrodo recubierto de níquel y sus aleaciones.
A 5.15	Electrodos recubiertos para soldadura en hierro fundido.
A 5.13 y A 5.21	Electrodos recubiertos para el relleno superficial.

## **1.4. Soldadura por arco sumergido (SAW)**

### **Denominaciones del proceso**

- SAW - Submerged arc welding (según ANSI/AWS A 3.0)
- 112 - Soldeo por arco sumergido (según EN 24063)



AWS-A5-17-80, ASME SFA 5.17 (2006). La soldadura por arco sumergido produce la unión de los metales mediante el calor aportado por un arco eléctrico que surge entre un electrodo metálico desnudo que se alimenta continuamente de forma automatizada y el metal base. Tanto el arco como el metal fundido se encuentran sumergidos en una capa de fundente fusible granular. El metal de aporte se obtiene a partir de la fusión del propio electrodo desnudo, cuyas gotas se transfieren a través del arco, y en ocasiones a partir de una fuente adicional como una varilla o polvo metálico.

El fundente se alimenta frente y alrededor del electrodo, distribuyéndose continuamente sobre la unión. El calor generado por el arco eléctrico funde progresivamente algo del fundente, el extremo del electrodo y los bordes adyacentes de los metales base, creando un baño de metal fundido cubierto por una capa de escoria líquida. El metal del baño cerca del arco se encuentra en un estado altamente turbulento. Las burbujas de gas salen rápidamente a la superficie del baño. El fundente flota sobre el metal líquido y protege completamente a la zona de soldadura de la atmósfera.

El fundente líquido puede conducir algo de corriente entre electrodo y pieza, pero es el arco la fuente de calor predominante. La capa de fundente evita que los gases atmosféricos contaminen el baño, y purifica este disolviendo las impurezas que provienen del metal base y el electrodo, las que ascienden sobre la superficie y flotan en la escoria líquida. El fundente también puede adicionar o eliminar ciertos elementos de aleación del metal depositado. El fundente que cubre al arco desempeña un papel fundamental en tres aspectos: la garantía de una estabilidad del arco, el control de las propiedades químicas y mecánicas del metal depositado, y finalmente sobre la calidad de la soldadura que puede afectarse por el cuidado y manipulación del fundente. El fundente no fundido puede recuperarse y reutilizarse nuevamente.

En la medida que la soldadura avanza el metal depositado y el fundente líquido se enfrían y solidifican, formando el cordón de soldadura y una escoria protectora



sobre este. Es importante que esta escoria sea completamente eliminada antes del siguiente pase.

La AWS-A5-23-80, ASME SFA 5.23 (2006) brinda las especificaciones que aparecen en la tabla 1.2 para la fabricación y clasificación de los consumibles.

Tabla 1.2. Fabricación y clasificación de los consumibles.

Especific AWS	Tipo de electrodo
A 5.9	Electrodos resistentes a la corrosión al cromo y cromo - níquel.
A 5.14	Electrodos de níquel y aleaciones de níquel.
A 5.17	Electrodos de acero al carbono y fundentes para la soldadura por arco sumergido
A 5.23	Electrodos de acero de baja aleación y fundentes para la soldadura por arco sumergido

#### 1.4.1. Variables del proceso

El control de las variables de operación en la soldadura SAW es esencial si se desean obtener costuras de buena calidad y una elevada productividad. Las variables del proceso que tienen que considerarse, en un orden de importancia aproximado, son:

- Tipo de corriente y Polaridad.
- Tipo de fundente y distribución de partículas.
- Intensidad de corriente.
- Voltaje de soldadura.
- Velocidad de soldadura.
- Diámetro del alambre.
- Extensión del alambre (longitud libre).
- Ancho y alto de la capa de fundente

Estas son las variables que determinan el tamaño, la forma, la penetración del cordón de soldadura y la existencia de defectos como porosidad, mordeduras, falta de penetración, sobreespesor excesivo.

#### 1.5. Soldadura por arco con electrodo fusible y protección gaseosa (GMAW)

Denominaciones del proceso:

- GMAW - Gas Metal Arc Welding (ANSI/AWS A 3.0-89).
- MIG/MAG - Metal Inert Gas/Metal Active Gas (Términos antiguos de AWS).



- 131- Soldeo por arco con gas inerte (EN 24063).
- 135- Soldeo por arco con gas activo (EN 24063).

### 1.5.1. Fundamento del proceso GMAW

El proceso de soldadura por arco con electrodo metálico consumible y protección gaseosa (GMAW) se basa en un arco eléctrico que surge entre un alambre-electrodo desnudo que se alimenta continuamente y el metal base. Dicha proceso se realiza bajo la protección de un gas suministrado externamente, que puede ser inerte, activo o de una mezcla de ambos. Dicho gas protege a la soldadura de los efectos dañinos del O<sub>2</sub> y del N<sub>2</sub> del aire, favoreciendo además la ionización.

### 1.5.2. Metales de aporte

Los electrodos para la soldadura GMAW son alambres sólidos de sección circular, y son cubiertos por varias Especificaciones AWS, aparecen en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Especificaciones AWS de electrodos para proceso GMAW

Material Base	Especificación AWS
Acero al carbono	A 5.18
Acero de baja aleación	A 5.28
Aleaciones de aluminio	A 5.10
Aleaciones de cobre	A 5.7
Magnesio	A 5.19
Aleaciones de Níquel	A 5.14
Aceros inoxidable	A 5.9
Titanio	A 5.16

### 1.6. Soldadura por arco con electrodo infusible y protección gaseosa (GTAW)

La AWS-A5-5-21-80, ASME SFA 521 (2006) denomina el proceso como:

- **GTAW** – Gas Tungsten Arc Welding, según ANSI/AWS A3.0-89.
- **141** – Soldadura por arco con electrodo de wolframio y gas inerte, según EN 24063.
- **TIG** - Tungsten Inert Gas (Término antiguo de AWS).

Fundamento del proceso

El proceso de soldadura por arco con electrodo infusible y protección gaseosa (GTAW), utiliza como fuente de energía el arco eléctrico que se establece entre un



electrodo de tungsteno que "no se consume" y la pieza a soldar. Un chorro de gas inerte, suministrado a través de una tobera que rodea al electrodo expulsa el aire de las inmediaciones de la zona de soldadura, evitando la oxidación del electrodo, del baño de soldadura y de la zona afectada por el calor en el metal base. El material de aportación, cuando se utiliza, se aplica por medio de varillas, similar al proceso oxiacetilénico. El wolframio y el tungsteno son dos denominaciones para el mismo metal cuyo símbolo en la tabla periódica es W.

### **1.6.1. Electroodos**

La función del electrodo en este proceso es únicamente la de mantener el arco sin aportar metal al baño de fusión. Por este motivo y para evitar su desgaste es muy importante que posea una alta temperatura de fusión, además de poseer una buena capacidad de emisión de electrones. El tungsteno es el metal que posee un mayor punto de fusión ( $3410^{\circ}\text{C}$ ) y posee una buena capacidad de emisión de electrones, por lo que constituye el material primario en este tipo de electrodos.

En general, existen cinco tipos de electrodos que se clasifican en función de su composición:

- Tungsteno puro.
- Tungsteno aleado con torio.
- Tungsteno aleado con circonio.
- Tungsteno aleado con lantano.
- Tungsteno aleado con cerio.

### **1.7. Etapas para el establecimiento de una tecnología de soldadura**

El establecimiento de la tecnología de soldadura de un conjunto o ensamble soldado es una tarea de bastante complejidad que debe resolver el ingeniero mecánico. Es importante destacar que el establecimiento de una tecnología de soldadura no sigue una secuencia lineal de pasos, ya que el ingeniero debe hacer un análisis complejo, en el que una gran cantidad de las decisiones que va tomando depende de otras y viceversa. La tecnología correcta será aquella que permita fabricar el ensamble soldado de la forma más rápida, sencilla, económica y que a la vez permita obtener un producto con la calidad necesaria.



La correcta elaboración de una tecnología de soldadura transcurre por una serie de etapas que se resumen a continuación siguiendo un orden lo más lógico posible. El ingeniero debe tener claro que este no constituye en modo alguno un algoritmo lineal rígido, sino que solo representa una ayuda para la organización del trabajo, lo que es importante sobre todo para personas que comienzan en este tipo de tarea.

1.- Análisis Preliminar, el que incluye:

1.1.- Análisis de las características del conjunto soldado.

1.2.- Análisis de las condiciones del taller.

1.3.- Preselección de los procesos de soldadura.

1.4.- Preestablecimiento de la secuencia de ensamble y soldadura del conjunto, de las posiciones espaciales de soldeo, de los dispositivos y posicionadores necesarios.

2.- Establecimiento de los procedimientos de soldadura, que incluye:

2.1.- Evaluación de la soldabilidad del material y determinación de la necesidad de precalentamiento o tratamiento térmico posterior.

2.2.- Elección de los metales de aporte.

2.3.- Determinación de la geometría de la unión soldada.

2.4.- Determinación del régimen de soldeo.

2.5.- Establecimiento de la secuencia de realización de los cordones en cada unión soldada.

2.6.- Llenado de los Modelos de Procedimientos de Soldadura.

### **1.7.1. Análisis Preliminar**

El primer paso para el establecimiento de una tecnología de soldadura lo constituye el análisis preliminar, el que consta de una serie de aspectos que a continuación se listan:

1.1.- Análisis de las características del conjunto soldado:

- Tipo de conjunto soldado (ya sea estructura, recipiente a presión, tanque, elemento de máquina).

- Código o norma de fabricación (en caso de que lo tenga, seguir todo lo estipulado en este es de obligatorio cumplimiento).



- Análisis de los planos de la pieza, que incluye la configuración de la pieza, dimensiones fundamentales, peso.

1.2.- Análisis de las condiciones del taller, que incluye los equipos de soldadura, corte, e izaje de que se dispone, posicionadores y dispositivos de ensamble y soldadura, calificación del personal.

1.3.- Preselección de los procesos de soldadura considerando las características del conjunto soldado y las condiciones del taller.

Los criterios para seleccionar un proceso de soldadura son extremadamente complejos. En vista de esta complejidad, es necesario establecer las bases de dicha selección. Los factores que deben ser considerados son los siguientes:

- La capacidad de unión de los metales involucrados con los diferentes procesos.
  - La calidad o fiabilidad de la unión resultante.
  - La capacidad del proceso para unir los metales en el espesor y la posición requerida.
  - La manera más barata de unir los metales.
  - La disponibilidad del equipamiento necesario.
  - La familiaridad del personal en la realización de la unión.
  - Otros factores, como la capacidad de los ingenieros, la reacción del usuario al método.
- La capacidad de unión de los metales involucrados con los diferentes procesos debe ser la primera consideración (Vea tabla 1.4). En muchos casos el metal base puede soldarse con varios procesos de la soldadura, por lo que entonces la selección depende de otros factores. La calidad o fiabilidad de las uniones producidas por los procesos constituye la segunda base para la determinación del proceso. El ingeniero debe estar consciente de los requisitos de calidad del producto, que involucran los requisitos de servicio, las especificaciones y códigos a que está sujeto, entre otros. Es necesario entonces determinar el proceso de soldeo que proporcionará una unión de calidad (AGA, 1987; AWS-A5-17-80, ASME SFA 5.17, 2006; Eutectic-Castolin, 1980; INFRA, 1987; U.T.P, 1986)

Tabla 1.4. Selección de los procesos de soldadura.

Criterios de selección Material a soldar	Procesos de soldadura por arco				
	SMAW	GMAW	FCAW	GTAW	SAW
-Aceros al carbono, de bajo carbono.	A	A	A	A	A
-Aceros al carbono, de medio y alto carbono.	A	A	A	A	B
-Aceros de baja aleación.	A	A	A	A	A
-Aceros aleados.	A	A	A	A	B
-Aceros inoxidables	A	A	B	A	A
-Hierro fundido, maleable y nodular.	A	B	B	B	NO
-Aluminio y sus aleaciones.	C	A	NO	A	NO
Espesores a soldar en mm					
0,02 – 0,5	NO	NO	NO	B	NO
0,5 – 1,25	C	B	C	A	NO
1,25 – 2,5	B	B	C	A	NO
2,5 - 6	B	A	B	A	C
6 - 12	A	A	A	B	B
12 - 24	A	A	A	C	B
24 - 60	A	A	A	C	A
Mas de 60	A	A	A	C	A
Posiciones de soldadura	Todas	Todas	Todas	Todas	Plana y Horiz. de filete

A- Más recomendado; B- Aceptable, pero no es la mejor selección; C- Uso restringido; NO- No recomendado.

El tercer factor es el espesor de los metales a ser unidos y la posición de soldadura de las uniones. Algunos procesos tienen capacidad de soldar en todas las posiciones, mientras que otros se limitan a solo unas posiciones de soldadura. Esta información se resume en la tabla 1.4. La capacidad de soldeo en posición puede no ser importante ya que muchos ensambles pueden colocarse en la posición más ventajosa para la soldadura. Hay situaciones, sin embargo, donde la posición no puede ser alterada, por ejemplo en la erección en campo de grandes conjuntos, o en la reparación de productos que no pueden moverse.

Estos tres factores estrecharán las opciones de procesos de soldadura. Después de analizarlos está presente todavía el requisito de establecer el proceso de soldeo óptimo y más económico. Se debe entonces emplear el factor de costo de

la soldadura. En este momento el ingeniero debe realizar un análisis preliminar de costo con vistas a preseleccionar los procesos de soldeo. Para esto debe tener en cuenta que los dos componentes mayores del costo de realización de la soldadura son el costo de mano de obra y el costo de los materiales usados.

La reducción del costo de mano de obra requiere que los procesos seleccionados sean más productivos y que por tanto posean mayores las razones de deposición, se relaciona con la productividad el nivel de automatización del proceso, ya que cada nivel posee un factor operador específico que influye en esto, lo que se resume en la tabla 1.5.

Tabla 1.5. Nivel de automatización de los diferentes procesos.

Proceso de soldadura	Nivel de automatización			
	Manual	Semiautomático	Mecanizado	Automático
SMAW	Más usual	No utilizado	No utilizado	Casos especiales
GMAW FCAW	No utilizado	Más usual	Utilizado	Utilizado
GTAW	Más usual	Posible, pero raro	Utilizado	Utilizado
SAW	No utilizado	Poco usado	Más usual	Utilizado

El otro factor que tiene que ver es el costo de materiales de aporte. Es importante reconocer que los metales de aporte no se utilizan en el mismo grado. El metal del aporte con más baja utilización es el electrodo recubierto. Aproximadamente solo se deposita el 65% del peso de los electrodos comprados como metal en la costura soldada. Para los procesos con electrodo no consumible la cantidad de metal del aporte comparada con la depositada se acerca al 100%. En GMAW la cantidad de metal de soldadura comprado que se deposita en la unión es de 95%, mientras que en FCAW esta cantidad se acerca al 85%.

La disponibilidad de equipamiento de soldeo también influye en la selección del proceso. Productos similares a aquéllos normalmente producidos utilizarán el mismo equipamiento. Si el nuevo artículo es suficientemente diferente de los productos existentes su producción puede requerir un equipamiento diferente. El costo y la disponibilidad del equipo son factores importantes.



### 1.7.2. Elección de los metales de aporte

AGA (1987); AWS-A5-17-80, ASME SFA 5.17 (2006); Eutectic-Castolin (1980); INFRA (1987); U.T.P (1986); ESAB (1979). El metal de aporte es "aquel metal que debe ser adicionado durante la realización de una unión soldada". La American Welding Society (AWS) es la organización que provee las especificaciones de metales de aporte en los Estados Unidos. La AWS posee en la actualidad 31 especificaciones de metales de aporte. En la tabla 1.6 se listan las especificaciones de metales de aporte destinados a la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación, mediante los principales procesos de soldadura por arco eléctrico. Las especificaciones AWS brindan la composición química específica del material, así como las propiedades mecánicas del metal depositado. La AWS no ensaya o aprueba metales de aporte, sino que solo suministra estas especificaciones; son los fabricantes de materiales de aporte quienes garantizan que su producto cumple con una determinada especificación y clasificación AWS. Es importante para el ingeniero conocer estas especificaciones ya que la mayoría de los fabricantes de metales de aporte en el mundo clasifican sus electrodos según las especificaciones AWS.

La AWS clasifica todos los metales de aporte para la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación (electrodos revestidos, alambres macizos, alambres tubulares, o el par alambre-fundente empleado en el proceso SAW) teniendo en cuenta la mínima resistencia a la tracción garantizada del metal depositado. De esta forma establece clasificaciones de metales de aporte que garantizan una mínima resistencia de: 60, 70, 80, 90, 100, 110, o 120 ksi – kilopounds per square inch; estos niveles de resistencia se corresponden en el sistema internacional de medidas a: 410, 480, 550, 620, 690, 760, 830 MPa. (1 ksi = 6,895 MPa).

Tabla 1.6. Metales de aporte para la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación.

<b>Espec AWS</b>	<b>Título</b>	<b>Proceso de soldadura<sup>(1)</sup></b>
A 5.1	Electrodos revestidos para la soldadura por arco de aceros al carbono.	SMAW
A 5.5	Electrodos revestidos para la soldadura por arco de aceros de baja aleación.	SMAW
A 5.17	Electrodos desnudos de acero al carbono y fundentes para la soldadura por arco sumergido.	SAW
A 5.18	Metales de aporte de acero al carbono para la soldadura por arco con protección gaseosa.	GMAW <sup>(2)</sup>
A 5.20	Electrodos tubulares de acero al carbono para la soldadura por arco.	FCAW
A 5.23	Electrodos desnudos de acero de baja aleación y fundentes para la soldadura por arco sumergido.	SAW
A 5.28	Metales de aporte de acero de baja aleación para la soldadura por arco con protección gaseosa.	GMAW <sup>(2)</sup>
A 5.29	Electrodos tubulares de baja aleación para la soldadura por arco.	FCAW
<p>(1) Los principales procesos de soldadura por arco eléctrico, destinados para la unión de estos aceros, se designan como sigue por la AWS:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Shielded metal arc welding (SMAW) – soldadura por arco con electrodo revestido.</li><li>- Gas metal arc welding (GMAW) – soldadura por arco con electrodo metálico consumible y gas protector.</li><li>- Flux cored arc welding (FCAW) – soldadura por arco con electrodo tubular consumible.</li><li>- Submerged arc welding (SAW) – soldadura por arco sumergido.</li></ul> <p>(2) Esta especificación cubre metales de aporte utilizados además en los procesos gas tungsten arc welding (GTAW) y plasma arc welding (PAW).</p>		

Generalmente en conjuntos soldados fabricados de aceros al carbono y de baja aleación la elección del metal de aporte se realiza sobre la base de las propiedades mecánicas, y según las siguientes recomendaciones:

- Así para las uniones soldadas con costura de ranura de penetración completa se deben seleccionar metales de aporte con un nivel de resistencia igual o superior al M.B; estos metales de aporte deben poseer una mínima resistencia a la tracción igual o superior al M.B. Generalmente es innecesario igualar la composición química, ya que la costura experimentará una mayor velocidad de enfriamiento, la cual incrementará su resistencia.
- El ingeniero a la hora de determinar la forma geométrica de una unión soldada debe, siempre que sea posible, utilizar geometrías de uniones normalizadas; el empleo de uniones normalizadas garantiza un compromiso entre mínimo consumo



de metal de aporte y facilidad en la ejecución de la soldadura. Para la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación se recomienda que el técnico utilice las Normas Cubanas que se listan a continuación (y que consulte las "uniones precalificadas" del Código AWS D1.1) (ANSI/AWS D1.1-96, 1996). Estas uniones por la experiencia de su uso han demostrado que son capaces de producir buena calidad de la soldadura cuando son empleadas junto con un buen procedimiento de soldadura.

Para proceso SMAW- NC 08-06

Para proceso SAW- NC 08-09

Para proceso GMAW- NC 08-17

El técnico debe tener en cuenta además el campo de aplicación de las costuras que se expone a continuación:

- Las costuras de ranura en semi V y en V, unilaterales, son económicas cuando la profundidad de la ranura no excede los 19 mm. Mientras que las costuras de ranura en semi V y en V, bilaterales y de penetración completa, resultan económicas cuando los espesores no exceden los 38 mm.
- Las costuras en J y U, unilaterales y bilaterales, son más económicas cuando los espesores exceden los valores mencionados anteriormente para las costuras en semi V y V. En este caso el ahorro de metal de aporte sobrepasa los costos de preparación de bordes.
- Las costuras en semi V y J, presentan una chapa con el borde recto, que dificulta la obtención de la fusión completa por lo que requieren de un procedimiento de soldadura adecuado. Tienen amplia aplicación durante la soldadura en posición horizontal, con la colocación del borde no preparado hacia abajo.
- La costura de filete es la más popular de todas ya que normalmente no requiere preparación de bordes. En algunos casos, la costura de filete puede resultar menos costosa, aún cuando necesite más metal de aporte que una costura de ranura, ya que el costo de preparación es menor. Producto de esto cuando el diseño lo permita se debe preferir su empleo.

- Las costuras de filete pueden emplearse en uniones a solapa, en T, o de esquina sin preparación de bordes. Es económico su empleo para dimensiones de catetos inferiores a 16 mm; en casos en que se necesiten catetos iguales o mayores de 16 mm se debe entonces utilizar posiblemente este tipo de costura combinada con una de ranura.

### **1.7.3. Determinación del régimen de soldeo**

Glizmanenko (1965); AWS-ASME (1983); Rodriguez (1983), en los procesos de producción de objetos mediante construcciones soldadas en la industria, la aplicación o ejecución de los procesos de soldadura están sujetos y se desarrollan de acuerdo con Códigos, Especificaciones y normas que regulan el proyecto y fabricación de las construcciones soldadas en dichos objetos. Estos códigos y especificaciones se han elaborado basado en años de experiencia de industrias específicas, o en la experiencia acumulada durante la fabricación de determinados tipos de productos, por ello sufren cambios y se actualizan continuamente a la par con los cambios tecnológicos y los cambios en las demandas para los productos cubiertos por estos.

La AWS establece cuatro posiciones de soldadura básicas: plana, horizontal, vertical y sobrecabeza. Según ASME designa las uniones con costuras de filete "F" y las uniones con costura de ranura "G".

La determinación del régimen de soldeo se establece en dependencia de la posición de soldadura y los tipos básicos de soldadura.

El Establecimiento de la secuencia de realización de los cordones en cada unión soldada en cada unión soldada se relaciona con facilitar la operación de soldeo al soldador, facilitar la no aparición de defectos, minimizar distorsiones.

### **1.7.4. Llenado de los Modelos de Procedimientos de Soldadura**

Cada procedimiento de soldeo debe plasmarse en un modelo lo resume todo y que puede ser fácilmente interpretado por el personal técnico del taller y el propio soldador.



#### **1.7.5. Determinación de los costos de realización de la soldadura**

La determinación de los costos de realización de la soldadura se debe realizar según metodología que se expone en próxima conferencia. Este aspecto es de vital importancia, ya que permite entre otras cosas seleccionar los procesos y procedimientos de soldeo más económicos, así como llevar una contabilidad adecuada, algo por lo que nuestro país está luchando.

Con el establecimiento de la secuencia definitiva de ensamble y soldadura del conjunto soldado, procesos de soldadura que finalmente se emplearán, posicionadores, dispositivos, se está en condiciones de establecer la secuencia definitiva y correcta de ensamble y soldadura del conjunto soldado, los procesos de soldadura, posicionadores y dispositivos que finalmente se emplearán.

#### **1.7.6. Establecimiento del Control de la Calidad del conjunto soldado**

El Sistema de Control de la Calidad se establece según los Códigos y Normas de fabricación del conjunto soldado, de forma que se garantice la calidad final y fiabilidad necesaria del mismo durante el servicio. Generalmente este sistema abarca desde el control de la elaboración del proyecto del producto, pasando por el control de todas las etapas de fabricación, hasta los controles finales, previos a la puesta en servicio.

#### **1.7.7. Llenado de la Documentación Tecnológica**

Finalmente se debe llenar la Documentación Tecnológica que se envía al taller para ejecutar la fabricación del conjunto. Esta documentación incluye todos los procedimientos de soldeo que se deben emplear, así como la descripción de todos los pasos para el ensamble, soldadura, tratamiento postsoldadura y control de la calidad de dicho conjunto. Para esto se empleará el modelo que la empresa tenga establecido.



### **1.8. Conclusiones del capítulo I**

- ✓ Quedan establecidos los fundamentos que caracterizan el principio de funcionamiento de los procesos de soldadura por arco eléctrico SMAW, SAW, GMAW, GTAW.
- ✓ Los términos propuestos en el presente capítulo se basan en las normas AWS para diferentes procesos de soldadura, los cuales se relacionan entre otros aspectos con cálculos de costo y consumo de soldadura.
- ✓ Los procesos de soldadura relacionados en el presente capítulo, los cuales han sido objeto de estudio se rigen por las normas de la AWS: SMAW - SAW (ANSI/AWS A3.0) y GMAW – GTAW (ANSI/AWS A3.0-89).

## **CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Introducción**

Todos los sistemas de costos incluyen los mismos elementos básicos de mano de obra, materiales y gastos generales. En la obtención de los costos de soldadura, el tiempo que se requiere en hacer una soldadura es usado para determinar el costo de la mano de obra, el cual es adicionado a los costos de materiales y gastos generales. Los costos por gastos generales son usualmente obtenidos por repartición como un porcentaje del costo de mano de obra.

En cualquier sistema que es empleado para estimar un costo de soldadura, cada uno de los elementos básicos debe ser analizado, y como muchas de las variables de operación son conocidas, éstas deben ser incluidas para obtener una estimación confiable.

En este capítulo se plantea como objetivo

1. Fundamentar las propiedades a investigar y explicar los métodos, procedimientos y condiciones en la que se realizarán los experimentos.

### **2.2 Elementos en costos de soldadura**

El procedimiento de soldadura es el punto de partida para estimar los costos de soldadura. El procedimiento puede definir las variables de soldadura y proveer las bases para la reproducibilidad y la consistencia durante la reproducción. Muchas empresas tienen estandarizados los procedimientos que son usados para varios trabajos de similar naturaleza.

#### **2.2 Metal de soldadura necesario para las uniones**

El costo del material se basa en la cantidad de metal de soldadura depositado en la unión. La excepción a lo anterior son las soldaduras autógenas cuando no se deposita metal. También se puede usar el mismo método para calcular el metal de soldadura en las uniones para el caso de aplicaciones de recubrimiento y revestimiento. El procedimiento se aplica a toda la soldadura de arco y a otros procesos de soldadura en los cuales se deposita metal.

El sistema utiliza diseño de uniones tipo o estándar. La mayoría de códigos de las firmas de soldadura presentan diseños estandarizados. En el presente capítulo se

incluirán diseños tipo o estándar que proporcionarán información acerca del área y peso calculados para esos diseños de unión en varios espesores de material. Esta información se basa en el uso de acero como metal base y como metal de soldadura. Sin embargo, la información se presenta de modo que se puedan calcular los datos para otros metales.

### **2.2.1. Área de la sección transversal**

El área de la sección transversal se relaciona con las uniones estándar y se puede modificar para distintos metales basándose en su densidad. Cada soldadura tiene una superficie de sección transversal que se puede determinar directamente por cálculos geométricos. Si se estandarizan los detalles de la soldadura, es muy sencillo calcular el área de la sección transversal. En la tabla 2.1 se ilustran las figuras y fórmulas para las distintas soldaduras. En esta figura, la nomenclatura de las letras para las distintas partes de la soldadura son las siguientes:

A: Angulo del surco o bisel.

ST: Área de la sección transversal.

D: Diámetro de las soldaduras de tapón o de punto al arco.

L: Longitud de la soldadura de ranura.

R: Radio (se usa en los biseles en J y en U).

AR: Abertura de raíz.

RF: Cara de la soldadura.

S: Tamaño del chaflán, del cordón, o de la soldadura de bisel cuando no hay penetración completa.

T: Espesor.

W: Ancho del recubrimiento.

Tabla 2.1. Área de la sección transversal de las soldaduras

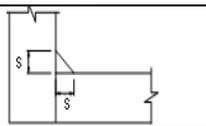
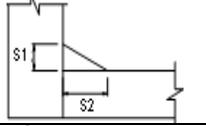
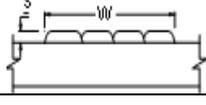
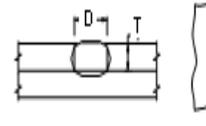
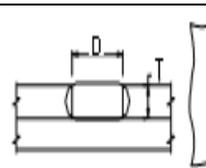
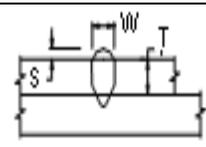
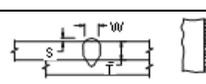
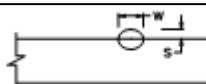
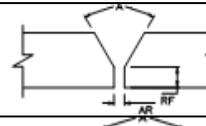
Soldadura	Diseño	Fórmula para el área de la sección transversal
Chaflán (lados iguales)		$ST = \frac{1}{2}(S)^2$
Chaflán (lados desiguales)		$ST = \frac{1}{2}(S_1.S_2)$
De revestimiento		$ST = S.W$
De Tapón		$V = \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2.T$ La fórmula obtiene el volumen de metal de soldadura por cada soldadura
De ranura		$V = \left[ \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 + (L - D)D \right]^2.T$ La fórmula obtiene el volumen de metal de soldadura por cada soldadura
De punto al arco		$V = \frac{1}{2S} \left[ \pi\left(\frac{D}{2}\right) \right]^2$ La fórmula obtiene el volumen de metal de soldadura por cada soldadura
De costura al arco		$ST = \frac{1}{2WS}$
Cordón		$ST = \frac{1}{2WS}$
Recta		$ST = AR.T$
En simple V		$ST = (T - RF)^2 \tan\left(\frac{A}{2}\right) + AR : T$
En doble V		$ST = \frac{1}{2}(T - RF)^2 \tan\left(\frac{A}{2}\right) + AR.T$

Tabla 2.1. Área de la sección transversal de las soldaduras (cont)

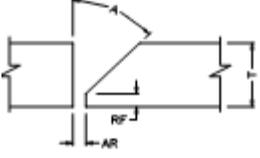
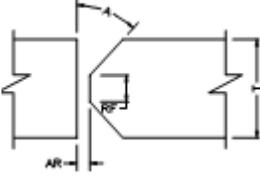
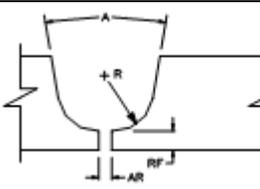
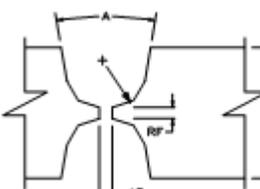
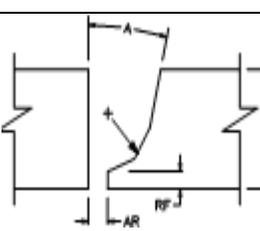
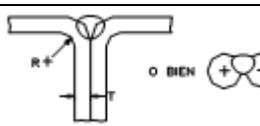
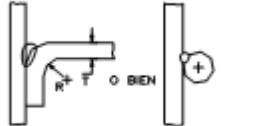
Soldadura	Diseño	Fórmula para el área de la sección transversal
Bisel sencillo		$ST = \frac{1}{2}(T - RF)^2 \tan A + ART$
Bisel doble		$ST = \frac{1}{4}(T - RF)^2 \tan A + ART$
U sencilla		$ST = (T - R - RF)^2 \tan\left(\frac{A}{2}\right) + 2R(T - R - RF) + \frac{1}{2}\pi R^2 + ART$
U doble		$ST = \frac{1}{2}(T - 2R - RF)^2 \tan\left(\frac{A}{2}\right) + 2R(T - 2R - RF) + \pi R^2 + ART$
J sencilla		$ST = \frac{1}{2}(T - R - RF)^2 \tan A + R(T - R - F) + \frac{1}{4}\pi R^2 + ART$
J doble		$ST = \frac{1}{4}(T - R - RF)^2 \tan A + R(T - R - F) + \frac{1}{4}\pi R^2 + ART$
En V doblada		$ST = \frac{(2.R + T)^2 - \pi(R + T)^2}{2}$
Bisel doblado		$ST = \frac{(2.R + T)^2 - \pi(R + T)^2}{4}$

Tabla 2.2. Área y peso del metal de depósito de soldadura.

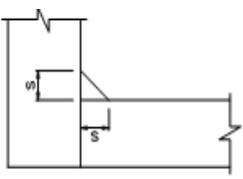
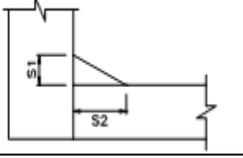
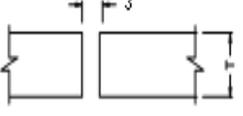
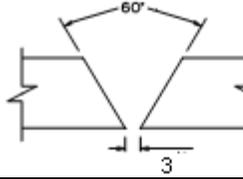
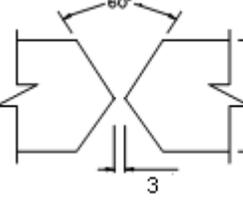
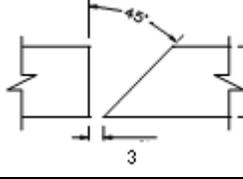
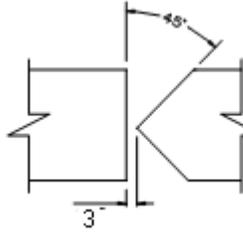
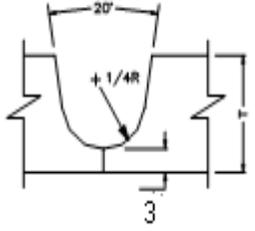
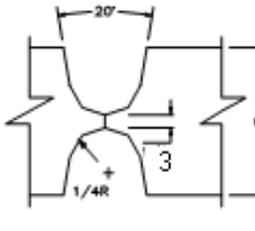
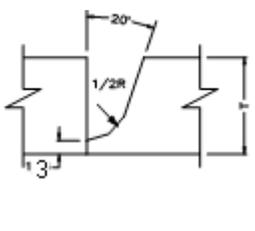
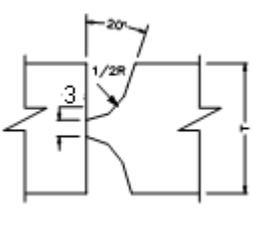
Soldadura	Diseño	T en mm	A en cm <sup>2</sup>	Depósito teórico de soldadura, kg/m	A c/ref en cm <sup>2</sup>	Depósito solda c/refuerzo,kg/m
Chañlán (lados iguales)		6	0,200	0,158	0,219	0,174
		8	0,316	0,249	0,348	0,274
		10	0,416	0,355	0,497	0,391
		11	0,619	0,486	0,684	0,537
		13	0,806	0,634	0,890	0,698
		14	1,019	0,501	1,123	0,881
		16	1,258	0,989	1,367	1,087
		19	1,813	1,430	1,994	1,509
		22	2,471	2,240	2,645	2,465
25	3,230	2,540	3,550	2,785		
Chañlán (lados desiguales)		6X10	0,303	0,239	0,335	0,262
		10X13	0,606	0,476	0,665	0,523
		13X16	1,006	0,790	1,110	0,869
		16X19	1,510	1,190	1,665	1,305
		19X25	2,419	1,900	2,660	2,090
Recta		3	0,103	0,080	0,123	0,097
		4	0,123	0,097	0,148	0,116
		5	0,148	0,116	0,174	0,140
		6	0,174	0,137	0,206	0,164
		6,5	0,200	0,157	0,239	0,188
		7	0,226	0,177	0,271	0,213
		8	0,252	0,197	0,303	0,236
V sencilla		6	0,432	0,340	0,477	0,374
		10	0,826	0,573	0,910	0,629
		13	1,329	1,050	1,465	1,151
		16	1,955	1,550	2,165	1,706
		19	2,700	2,130	2,970	2,346
		25	4,530	3,570	4,950	3,930
V doble		19	1,652	1,300	1,951	1,564
		25	2,670	2,120	3,210	1,704
		31	3,920	3,090	4,710	3,710
		37	5,410	4,270	6,490	5,120
		44	7,130	5,610	8,550	6,740
		50	9,060	7,130	10,090	8,550
		56	11,24	8,870	13,48	10,49
Bisel sencillo		6	0,406	0,321	0,445	0,353
		10	0,755	0,543	0,832	0,597
		13	1,213	0,956	1,335	1,051
		16	1,941	1,530	2,136	1,682
		19	2,419	1,910	2,660	2,100
		25	4,030	3,180	4,430	3,500
Bisel doble		16	1,135	0,895	1,361	1,073
		19	1,510	1,190	1,814	1,429
		22	1,942	1,530	2,329	1,834
		25	2,420	1,910	2,900	2,290
		31	3,530	2,780	4,230	3,330
		37	4,840	3,820	5,810	4,580
		44	6,350	5,010	7,620	6,010
		50	8,060	6,350	9,680	7,620
		62	10,10	9,540	1,450	11,45
		75	16,94	13,34	2,030	16,01

Tabla 2.3. Área y peso del metal de depósito de soldadura.

Soldadura	Diseño	T en mm	A en cm <sup>2</sup>	Depósito teórico de soldadura, kg/m	A c/ref en cm <sup>2</sup>	Depósito solda c/refuerzo,kg/m
U sencilla		12	1,052	0,828	1,155	0,911
		19	2,000	1,580	2,200	1,736
		22	2,530	2,000	2,780	2,195
		25	3,090	2,440	3,400	2,680
		32	4,330	3,410	4,760	3,750
		38	5,710	4,500	6,280	4,950
		41	7,230	5,700	7,950	6,270
		50	8,880	6,980	9,770	7,680
		62	12,65	9,980	13,92	10,96
75	15,97	9,960	18,67	14,70		
U doble		25	2,550	2,010	3,060	2,420
		31	3,500	2,760	4,210	3,310
		37	4,520	3,540	5,430	4,280
		44	5,610	4,430	7,740	5,310
		50	7,430	5,850	8,910	7,020
		62	8,010	6,320	9,610	7,580
		75	9,320	7,340	11,17	8,810
		87	10,70	8,430	12,90	10,11
		102	12,12	9,560	14,55	11,47
		120	15,41	12,15	18,50	14,55
		19,04	15,01	22,85	18,02	
		22,31	17,58	26,59	21,10	
J sencilla		12	1,161	0,916	1,277	1,007
		19	1,684	1,330	1,852	1,460
		25	2,540	2,080	2,900	2,290
		31	3,740	2,950	4,120	3,250
		37	4,990	3,940	5,490	4,350
		44	6,380	5,030	7,020	5,550
		50	7,930	6,250	8,720	6,870
		56	9,620	7,560	10,58	2,450
62	11,45	9,020	12,59	9,920		
V doble		25	2,323	1,830	2,790	2,196
		31	2,820	2,220	3,380	2,670
		37	3,800	3,000	4,560	3,600
		44	4,700	3,700	5,640	4,440
		50	5,650	4,450	6,770	5,340
		62	6,630	5,230	7,970	6,280
		75	7,680	6,060	9,220	7,270
		87	8,780	6,920	10,53	8,300
		102	9,900	7,810	11,88	9,370
				12,32	9,710	14,78
		14,92	11,75	17,91	14,10	

La información que aparece en la figura 2.3 se puede aplicar de distintos modos. El cordón de soldadura puede ser usado para hacer un cordón de respaldo o un cordón de sello para los metales más delgados para las soldaduras de brida, de borde y en esquina. La cantidad de metal requerido para el cordón de soldadura puede a veces ser agregado a las soldaduras de gran penetración para reforzar la raíz.

Cuando se usan soldaduras de diferente configuración en su diseño, se calcula el área de la sección transversal mediante fórmulas geométricas. Estas fórmulas para cada soldadura dan los valores teóricos de superficie de sección transversal con una superficie a ras. El refuerzo de la soldadura no se incluye en estos valores. Sin embargo, para fines prácticos, se debe agregar refuerzo a toda soldadura.

En la figura 2.3 se muestran los diseños estandarizados de soldadura. En esta figura dichos diseños se relacionan con los espesores del material. Para cada tipo de soldadura se muestra el área teórica de la sección transversal en centímetros cuadrados, en su nivel normal de espesores. Además, el peso teórico del depósito de soldadura se muestra con relación al diseño y el espesor. El peso se basa en una unión de 1m de longitud, y el consumo de metal (acero) de soldadura está en 1kg por metro lineal de soldadura. Esto se calcula mediante la ecuación (2.1).

$$Pd = ST \cdot 0,785100 \quad (2.1)$$

Donde:

Pd - Peso del depósito; kg/m

ST- Área de la sección transversal; cm<sup>2</sup>

0,785 – Peso específico del material; kg/cm<sup>3</sup>

Estos datos pueden servir para cualquier metal empleando su peso específico dividido entre 10. Para hacer más prácticos los datos se agrega un factor de refuerzo. A las soldaduras de bisel simple se añade un valor del 10% y para las de doble bisel 20%. También se aumenta como refuerzo un 10% a las soldaduras de chaflán. Son cantidades arbitrarias, pero para la mayoría de cálculos son bastante exactas.

Para mayor exactitud sería mejor hacer soldaduras típicas, calcular su sección transversal y medir el refuerzo. Esto sería exacto para una soldadura en particular, pero como el refuerzo varía, podría no valer la pena el esfuerzo. La cantidad de refuerzo en una soldadura se debe mantener al mínimo porque aumenta la cantidad de soldadura necesaria.

La figura 2.3, por tanto, incluye dos columnas adicionales. Una de la sección transversal de las soldaduras en centímetros cuadrados en los distintos espesores del material, ya

con el refuerzo agregado. La columna final da el peso del depósito de soldadura, con refuerzo, en kilogramos por metro de soldadura.

Otra ventaja de los datos presentados en la figura 2.3 es su utilidad para visualizar cómo se relacionan los costos de soldadura con los diseños de unión. Ilustran la cantidad de metal de soldadura necesaria aumento del área de la sección transversal o peso del metal necesario de soldadura cuando se aumenta el tamaño de una soldadura de chaflán. Se pueden hacer otras comparaciones como la diferencia en el área de la sección transversal del metal de soldadura necesario entre una soldadura de bisel y otra de bisel en V, o entre una soldadura de bisel sencillo o de bisel por los dos lados (doble bisel). Los datos pueden ser la base para un sistema de cálculo de costos estándar cuando se usen las soldaduras estándar que se muestran. Si los diseños de las soldaduras son distintos de los que aparecen en los diagramas hay que calcular nuevamente los datos para que indiquen esos cambios.

### **2.3. Requerimientos de materiales diversos**

Los fundentes pueden ser utilizados en soldadura al arco sumergido y soldadura eléctrica en baño de escoria (electroslag) o usados en operaciones de soldadura fuerte y soldadura blanda. Emplearemos sólo los fundentes utilizados en la soldadura por arco sumergido.

Estos son materiales minerales fusibles granulados, los cuales están esencialmente libres de sustancias que pudieran crear grandes cantidades de gases durante la soldadura. Estos fundentes se hacen a una variedad de especificaciones químicas que desarrollan características de ejecución particulares. El fundente tiene cierto número de funciones a realizar, incluyendo la de prevenir la contaminación atmosférica y realizar una acción limpiadora desoxidante del metal fundido en la soldadura del cráter. Algunos fundentes especiales realizan la función adicional de contribuir con elementos de aleación al depósito de soldadura, desarrollando por tanto características específicas del metal – soldadura de resistencia más elevada o aun resistencia a la abrasión. La elección del fundente depende del procedimiento de la soldadura a emplear, del tipo de unión, y de la composición de material a soldar.

## **2.4. Gas de protección**

El gas puede servir de protección de la soldadura al arco y soldadura fuerte, o de combustible y oxígeno para soldadura de oxigás.

Podemos decir que la función primaria del gas protector es la de impedir que la atmósfera entre en contacto con el metal de soldadura fundido. Esto es necesario porque la mayor parte de los metales, al calentarse hasta su punto de fusión en aire, presentan una marcada tendencia a formar óxidos y, en menor grado, nitruros. Además, el oxígeno reacciona con el carbono del acero fundido para formar monóxido y dióxido de carbono. Estos diversos productos de reacción pueden causar deficiencias en la soldadura, como escoria atrapada, porosidad y pérdida de ductilidad del metal de soldadura. Además de proporcionar un entorno protector, el gas protector y la tasa de flujo tienen un efecto importante sobre lo siguiente:

- Características del arco.
- Modalidad de transferencia del metal.
- Penetración y perfil de la franja de soldadura.
- Velocidad de soldadura.
- Acción limpiadora.
- Propiedades mecánicas del metal de soldadura.

Entre los diversos tipos de gases protectores normalmente y sus mezclas. El argón y el helio utilizados tenemos: Argón, helio, CO<sub>2</sub> son gases inertes. Estos dos y sus mezclas se emplean para soldar metales no ferrosos y aceros inoxidable, al carbono y de baja aleación.

Las diferencias físicas entre el argón y el helio son la densidad, la conductividad térmica y las características del arco. El helio requiere tasas de flujo unas dos o tres veces mayores que las usadas con argón para proporcionar una protección equivalente. El helio tiene una mayor conductividad térmica que el argón y produce un plasma de arco en el cual la energía del arco está distribuida de manera más uniforme. Por otro lado el helio tiene un potencial de ionización más alto que el argón y, en consecuencia, un voltaje de arco más alto si todas las demás variables son iguales. El resultado es que

los arcos protegidos con helio producen más salpicaduras y tienen franjas con superficies más ásperas que los protegidos con argón.

Por otra parte cabe mencionar al dióxido de carbono como gas de protección. El CO<sub>2</sub> es un gas reactivo que debido a su mayor velocidad de soldadura, a la mayor penetración en la unión y a su bajo costo ha sido promovido su uso como gas protector ya sea en forma pura o mezclado con helio o con argón. Para elegir el tipo de gas de soldadura más adecuado se debe tener en cuenta el tipo de metal a soldar, el tipo de junta, la posición de soldadura, el costo del gas.

## **2.5 Otros materiales**

Dentro de estos materiales se pueden considerar planchas de refuerzo, componentes que permitan disminuir las salpicaduras al momento de soldar, férulas o boquillas de cerámica, pernos utilizados en la “soldadura por pernos”. Estos materiales van a incrementar los costos de soldadura y serán considerados dentro del software elaborado para calcular dichos costos como: “costos adicionales”.

## **2.6 Tiempo y mano de obra necesarias**

Los costos de mano de obra se basan en los tiempos que toma llevar a cabo todos los pasos en la fabricación de una construcción soldada. Estos tiempos pueden ser agrupados dentro de tiempo de arco, tiempo de manipulación y diversos tiempos en el lugar de trabajo. Los tiempos de arco dependen de factores controlados por la fuente de poder y de los equipos asociados, tales como velocidad de alimentación del electrodo o del alambre de relleno, voltaje de arco, corriente de soldadura, velocidad de avance, tipo de energía para soldar y polaridad. Existen muchas variables independientes que afectan la rapidez con que la soldadura es realizada, procesos de soldadura, diseño de juntas, dimensiones de la soldadura, tipo y diámetro del electrodo, y posición de la soldadura son algunas de estas variables.

El tiempo de manipulación incluye operaciones en el lugar de trabajo, como son: recoger las piezas, colocarlas en una instalación fija, sujetarlas y posicionarlas antes y durante la soldadura y finalmente mover lo soldado a otra posición. El tiempo de manipulación puede ser calculado en una estimación con razonable exactitud sólo para aquellas operaciones que son repetitivas. Las variaciones en el tiempo de manipulación

de naturaleza no repetitiva son mejor incluidos en los diversos tiempos en el lugar de trabajo. La introducción de la ingeniería industrial puede ser necesaria cuando se analice el tiempo de manipulación.

Los diversos tiempos en el lugar de trabajo incluyen muchos tiempos no repetitivos y no periódicos que no pueden ser fácilmente medidos pero que deben ser costeados. Estos pueden incluir elementos tales como estampado de piezas, aplicación de compuestos antisalpicaduras, reposicionamiento de la pieza entre los pases de la soldadura y algunos incrementos de tiempo no directamente involucrados en hacer soldadura.

## **2.7 Costos de electricidad y gastos generales**

El costo de la energía eléctrica usada es determinado por la cantidad de corriente de soldadura, voltaje de soldadura, eficiencia de la fuente de poder y el costo de la energía en W/h. El consumo de energía cuando la máquina está parada es despreciable pues es un pequeño porcentaje del total de la energía consumida por la máquina de soldar.

Los gastos generales son el costo de muchos elementos u operaciones en la fábrica y en la oficina no directamente asignable al trabajo o a las construcciones soldadas.

Estos costos son repartidos a proporción entre todos los trabajos que se estén haciendo en la planta o en un departamento. Las principales categorías pueden incluir algo o todo de lo siguiente:

1. Salarios de los ejecutivos de la planta, supervisores, inspectores, personal de mantenimiento, y otros que no pueden ser directamente cargados al trabajo individual o a las construcciones soldadas.
2. Margen de beneficios para los empleados, tales como seguros de vida y servicio médico, seguridad social y fondo de contribuciones para pensiones de jubilación.
3. Renta y depreciación de la planta, facilidades.
4. Costos de depreciación o de arrendamiento de los equipos de la planta incluyendo máquinas de soldar, equipo de manipulación, grúas aéreas y todo otro equipo que no esté cargado directamente al trabajo o a una construcción soldada específica.
6. Todos los impuestos de la planta, estado real, equipo y planilla de pagos.
7. Luz, agua y otros servicios utilizados en las operaciones de la planta.



8. Pequeñas herramientas, como son llaves de tuerca, martillos de cincelar y portaelectrodos.
9. Equipos de seguridad y contra incendios.
10. Departamentos de prueba incluyendo laboratorios de química, de metalurgia y de procesamiento de datos.

Todas las empresas tienen algún sistema para manejar y determinar los costos por gastos generales. La asignación de los costos por gastos generales es usualmente una función del departamento de contabilidad. La distribución de los costos por gastos generales puede variar con el sistema en uso. Los sistemas comúnmente prorratan los costos por gastos generales en concordancia con el costo de la mano de obra directa, los cuales deben ser exactos. Este sistema es práctico y aplicable a plantas con intensas operaciones de trabajo.

## **2.8 Métodos para determinar los costos de soldadura**

### 1.- Factor operador

Cuando se realiza una construcción soldada hay dos tiempos que se deben tomar en cuenta, estos son el tiempo en el que el operador está efectivamente depositando material y los tiempos accesorios. Al primero se le conoce como duración de arco, y viene a ser el tiempo en que el soldador está depositando metal en la junta. Entre los tiempos accesorios se tiene: tiempo de ensamble, de posicionamiento y de preparación de la junta. Cuando retira un montaje de su posición o limpia una soldadura, él está necesariamente ejecutando “reiteradas” operaciones. Cuando cambia electrodos, cuando se mueve de un lugar a otro o cuando se detiene a tomar alguna bebida, él no está soldando. Las horas totales trabajadas son siempre mayores que las horas empleadas únicamente en soldar, y la relación entre las horas pasadas soldando y las horas totales trabajadas es conocida como factor operador. El factor operador o ciclo de trabajo en la soldadura al arco es la razón entre la duración de arco y un período especificado de tiempo, que puede ser un minuto, una hora, una jornada, o algún otro espacio de tiempo. Elevar la duración de arco incrementa la cantidad de metal de aporte depositado, por tanto, incrementa la eficiencia de la operación de soldadura. Sin embargo otras operaciones que un soldador o un operador de máquina tiene que

desempeñar tales como limpiar piezas, cargar accesorios o soldar por puntos, pueden bajar el factor operador.

Un elevado factor operador no indica necesariamente bajo costo porque el procedimiento de soldadura puede requerir de una gran duración de arco. Si es que por ejemplo, se especifica un pequeño electrodo cuando uno de mayor tamaño pudo ser usado, o un gran bisel cuando uno más pequeño pudo ser suficiente.

Se debe realizar todo esfuerzo para incrementar el factor operador. La calificación de los soldadores determinan la apariencia y la calidad de la soldadura; por tanto, todo obstáculo que trabe al soldador deberá ser removido. El trabajo deberá ser proyectado y dirigido a minimizar el esfuerzo físico y a asegurar la máxima comodidad y seguridad.

El pasar de la posición vertical o sobrecabeza a la posición plana, por ejemplo, puede significar incrementar la velocidad de soldadura. Una simple pasada de soldadura sobre planchas puede ser hecha a máxima velocidad cuando la junta está en una posición plana con el eje de soldadura en bisel inclinado. Unos 10° de inclinación puede incrementar las velocidades de soldadura encima del 50%. Los valores para los factores operadores se recogen en la tabla 2.4

Tabla 2.5. Factores operadores para varios métodos de soldadura.

Método de soldadura	Rango del factor operador (%)
Manual	5 - 30
Semiautomático	10 - 60
A máquina	40 - 90
Automático	50 - 95

El factor operador puede elevarse con el uso de y accesorios, y con procesos semiautomáticos y automáticos de soldadura donde el soldador o el operador de la máquina no desempeñan otras tareas, tales como cincelado y cambio de electrodos. En la ausencia de estudios o de datos confiables, el factor operador puede ser estimado de la tabla 2.5 anteriormente mostrada. Los actuales factores operadores dependen del tipo y tamaño de la soldadura, la posición de la soldadura, adecuación de los accesorios, localización de la soldadura y otras condiciones de operación. Estos pueden variar de planta a planta o incluso de pieza a pieza si la cantidad de soldadura es

significativamente diferente. Una buena determinación de factores operadores es por estudios de tiempo o por la instalación de grabadores de tiempo.

Puede ser económico establecer un soldador con un ayudante para preparar el trabajo para la soldadura. Toda operación que un soldador tiene que realizar, además de la soldadura propiamente dicha, aumentan el tiempo total de soldadura y de este modo reducen el factor operador.

No es inusual para un soldador el emplear 50% del tiempo de preparación del trabajo para la soldadura. Si se establece un ayudante y se adquieren accesorios adicionales, la producción puede ser duplicada. El ayudante descargará y cargará algún accesorio al mismo tiempo que el soldador suelda otros accesorios. Con múltiples pasadas de soldadura, el ayudante puede remover óxido o escoria al mismo tiempo que el soldador coloca una pasada sobre otra soldadura o en otra ubicación en la misma junta.

## 2.9 Requerimiento y costo del metal de aporte

El peso total del metal de soldadura depositado en la unión, o el necesario para producir la construcción soldada, se puede calcular por tablas.

El peso del metal de aporte que se compra para ejecutar la soldadura o la construcción soldada es mayor que el peso del depósito del metal. Esto se aplica en la mayoría de procesos al arco, pero no para todos. Esto significa que se debe comprar más metal de aporte que lo que se deposita debido a las pérdidas en los extremos no quemados, las pérdidas en el recubrimiento o escoria, las pérdidas por salpicadura. Esto se puede demostrar por la ecuación (2.2). Esas pérdidas a veces se representan como una proporción y se denominan eficiencia de depósito, rendimiento del metal de aporte, o relación de recuperación.

$$P_{man} = \left( \frac{P_{msd}}{1 - P_{te}} \right) \quad (2.2)$$

Donde

$P_{man}$  - Peso de metal de aporte necesario; kg

$P_{msd}$  - Peso del metal de soldadura depositado; kg

$P_{te}$  - Pérdida total de electrodos.

La eficacia del depósito es la relación del peso de soldadura depositado en la unión dividido entre el peso neto del metal de aporte que se consume, sin los extremos no quemados. Como se muestra en la ecuación (2.3), el rendimiento del metal de aporte es la relación del peso depositado del metal de soldadura dividido entre el peso bruto del metal de aporte que se usa. Así, el rendimiento se relaciona con la cantidad de metal de aporte que se compra. El rendimiento de metal de aporte puede variar desde 50 hasta 100% para distintos tipos de electrodos y metales de aporte. Rendimiento es la palabra más adecuada porque sólo hay extremos no quemados con los electrodos recubiertos.

$$P_{man} = \left( \frac{P_{msd}}{r_{ms}} \right) \quad (2.3)$$

Siendo

$r_{ms}$  - rendimiento del metal de soldadura; %

El costo del metal de aporte se puede calcular de distintas maneras. La más común se basa en el costo por metro de soldadura, como se puede ver en la ecuación (2.3). El precio del electrodo se puede reducir comprando en lotes de gran tamaño.

$$C_e = \left( \frac{P_e \cdot M_{sd}}{R_{ma}} \right) \quad (2.4)$$

Donde

$C_e$  - Costo del electrodo; \$/m

$P_e$  - Precio del electrodo; \$/kg

$M_{sd}$  - Metal de soldadura depositado; kg/m

$R_{ma}$  - Rendimiento del metal de aporte; (%)

En esta fórmula se puede tomar el rendimiento de la tabla 2.6, son cifras promedio para la mayoría de cálculos.

Tabla 2.6. Rendimiento del metal de aporte para varios tipos de electrodos

Tipo de electrodo y proceso	Rendimiento (%)
Electrodo recubierto para:	
Arco metálico sumergido, manual	55 a 65
Arco metálico sumergido, manual	60 a 70
Arco metálico sumergido, automático	65 a 75
Electrodo desnudo macizo para:	
Arco sumergido	65 a 75
Arco metálico en gas	90 a 95
Uso en alambre en frío	100
Electrodo tubular con núcleo de fundente para:	
Arco con núcleo de fundente	0 a 85
Uso en alambre en frío	100

Hay otro método para calcular la cantidad de metal de soldadura necesario cuando se usen procesos de alambre continuo. Es adecuado para la soldadura en un solo paso. Se necesitan tres cálculos sencillos, pero el resultado final es el costo del electrodo por metro de soldadura.

El primer paso es determinar la cantidad de electrodo usado, expresada como kg por hora, aplicando la ecuación (2.5).

$$P_{mn} = \left( \frac{V_{aa} \cdot 60}{L_a} \right) \quad (2.5)$$

Donde

$P_{mn}$  - Peso del metal necesario; kg/h

$V_{aa}$  - Velocidad de alimentación del alambre; m/min

60 - Minutos en una hora.

$L_a$  - longitud del alambre; kg (m/kg)

Los kilogramos por hora del electrodo que usa no toman en cuenta el rendimiento o factor de velocidad de depósito porque se está midiendo realmente el material consumido. El factor 60 son los minutos en una hora, que convierte minutos a horas. El peso por longitud del electrodo de alambre es una propiedad física del alambre basada en su tamaño y la densidad del metal del alambre (tabla 4.3). La velocidad de alimentación del alambre en metros por minuto es la misma que la velocidad de fusión de un electrodo de alambre. No es una velocidad verdadera de depósito porque no se consideran las pérdidas por salpicadura.

La velocidad de alimentación del alambre se puede determinar por medio de diagramas que la relacionan con la corriente de soldar que depende del tamaño del electrodo, su composición y el proceso de soldadura. En esta sección se muestran tablas que contienen datos para alimentadores de alambre.

Para emplear esa fórmula es esencial conocer la corriente de soldadura o medir la velocidad de alimentación del alambre. En algunos casos se especifica tal velocidad en el procedimiento de soldadura. Para trabajos muy exactos, es mejor medir dicha velocidad. Esto se puede hacer sencillamente ajustando el alimentador del alambre, haciendo una soldadura de prueba para determinar que el procedimiento de soldadura sea satisfactorio, y entonces sin soldar, dejar alimentar el electrodo de alambre a través del cañón y medir el alambre alimentado por minuto.

Como puede ser una gran cantidad de alambre, se puede simplificar midiendo la alimentación durante 5 segundos y multiplicando la cantidad de alambre alimentado por 12 para relacionarlo a un minuto. Hay instrumentos para llevar a cabo esta operación.

La segunda parte de este cálculo es determinar o medir la velocidad de soldadura y expresarla como metros por hora. Normalmente, los procedimientos de soldadura dan la velocidad del recorrido en metros o pulgadas por minuto. Si este dato no está en el procedimiento de soldadura, se deben efectuar pruebas para determinar la velocidad del recorrido al hacer la soldadura necesaria. Esta se convierte entonces a metros por hora aplicando la ecuación (2.5). El 60 representa los minutos en una hora.

La tercera parte del cálculo es determinar el peso del metal de soldadura por metro de soldadura, como lo demuestra la ecuación (2.6). La información anterior entonces se tendrá que multiplicar por el precio del electrodo (\$/kg) para obtener el costo del electrodo en \$/m.

$$V_{r_{m/h}} = V_{r_{m/min}} \cdot 60 \quad (2.6)$$

Donde

$V_{r_{m/h}}$  - Velocidad de recorrido; m/h

$V_{r_{m/min}}$  - Velocidad de recorrido; m/min

$$P_{man} = \left( \frac{V_d}{V_r} \right) \cdot 60 \quad (2.7)$$

Donde

$P_{man}$  - Peso del metal de aporte necesario; kg/m

$V_d$  - Velocidad de depósito; kg/h

$V_r$  - Velocidad de recorrido; m/h

En este sistema también se puede usar para la soldadura de arco con núcleo de fundente, pero en este caso es más difícil calcular la longitud del electrodo de alambre por metro, porque cada tipo de alambre con núcleo de fundente tiene distintas cantidades de material central de densidades diferentes. La longitud por kilogramo del electrodo de acero con núcleo de fundente se puede usar para los cálculos normales. Para mayor exactitud se deben correr pruebas reales para determinar el número de metros de alambre que pesan un kilogramo.

## 2.10 Costos de materiales diversos

### Fundente

Cuando se usa fundente hay que agregar su costo al de los materiales usados. El costo del fundente en la soldadura de arco sumergido y en la soldadura electroslog, y aun en la soldadura de oxígeno y gas, se puede relacionar con el peso del metal de soldadura depositado y calcularse mediante la ecuación (2.8).

$$C_f = P_f \cdot P_d \cdot R_f \quad (2.8)$$

Donde

$C_f$  - Costo del fundente; \$/m

$P_f$  - Precio del fundente; \$/kg

$P_d$  - Peso del depósito; kg/m

$R_f$  - Relación de fundente.

En la tabla 2.7 se relaciona la longitud por kilogramo de electrodo de alambre con núcleo de fundente.

En el proceso de soldadura con arco sumergido generalmente se utiliza un kilogramo de fundente por cada kilogramo de electrodo depositado. Esto constituye una relación de 1

de fundente - acero. Esta relación puede cambiar con cada uno de los procedimientos de soldadura y los distintos tipos de fundente.

Para calcular los costos se puede usar la relación de fundente; sin embargo, para mayor exactitud, se deben correr pruebas con cada fundente que se use. La relación de fundente puede ser de hasta 1,5.

### 2.11 Gas de protección

Cuando se usa gas de protección su costo se debe agregar a los materiales. El costo del gas se relaciona con el tiempo necesario para ejecutar la soldadura. El gas de protección generalmente se usa a un flujo especificado y se mide en metros cúbicos por hora. La cantidad de gas de protección usada sería el producto del tiempo necesario para ejecutar la soldadura multiplicada por el caudal de salida del gas. Entonces, el costo del gas se puede calcular de dos modos. Generalmente, el costo del gas se basa en el costo por metro de la soldadura, y se calcula usando la ecuación (2.9).

$$C_g = \left( \frac{P_g \cdot C}{V_{rs}} \right) \quad (2.9)$$

Siendo

$C_g$  - Costo del gas; \$/m

$P_g$  - Precio del gas; \$/m<sup>3</sup>

$C$  - Caudal; m<sup>3</sup>/h

$V_{rs}$  - Velocidad del recorrido de la soldadura; m/h

El caudal de salida del gas se especifica en el procedimiento de soldadura o se puede medir con un medidor de flujo. El precio del gas se da en el taller de soldadura.

Al calcular el costo de hacer una soldadura de punto, una soldadura pequeña, o para una parte estrecha, se usa el costo de gas por minuto de operación. Este se basa en el tiempo necesario para ejecutar la soldadura y se puede calcular mediante la ecuación (2.10).

$$C_g = \left( \frac{P_g \cdot C \cdot T_s}{60} \right) \quad (2.10)$$

Siendo

$C_g$  - Costo del gas; \$/min

$P_g$  - Precio del gas; \$/ m<sup>3</sup>

$C$  - Caudal; m<sup>3</sup>/h

$T_s$  - Tiempo de soldadura; min

## **2.12 Costos de otros materiales**

Para obtener un costo total de una soldadura en particular se deben incluir otros renglones. Comprenden el costo de sujeción y pernos en la soldadura de arco con pernos. En la soldadura de pernos se debe tomar en cuenta el costo de cada perno, aun cuando los pernos no sean estrictamente de metal de aporte se relacionan con el número de soldaduras efectuadas y se pueden efectuar de este modo.

## **2.13 Costos de mano de obra**

El costo de mano de obra necesaria para hacer una soldadura es quizá el principal factor unitario en el costo total de una soldadura. En la sección 4.2 se proporcionó el peso del depósito de metal para distintas soldaduras de diferentes tamaños. Con esta información se determina el costo de los metales de aporte necesarios. La cantidad de depósito de soldadura, o la de metal de aporte necesario es una base para determinar la cantidad de tiempo indispensable para ejecutar una soldadura o una construcción soldada. El tiempo normalmente es la base para el pago de los soldadores, porque se les paga con una tarifa por horas. Los datos que se proporcionan más adelante se pueden usar para determinar el costo de soldadura cuando a los soldadores se les paga con tarifa por horas.

A los soldadores a veces se les paga sobre la base de las soldaduras ejecutadas. Esto puede ser mediante una tarifa por metro para distintos tamaños de soldadura, o el número de piezas soldadas por hora.

Este tipo de paga se usa normalmente en sistemas de incentivos. Para establecer los costos sobre esta base puede ser necesario determinar el tiempo requerido para hacer soldaduras de distintos tipos o, a la inversa, la velocidad de ejecución de ciertas soldaduras. En algunos casos se estudia el tiempo que necesitará la soldadura en determinado trabajo o una construcción soldada. En otros casos, los costos se calculan con datos estándar, los que frecuentemente se basan en el peso del metal depositado.

Para elaborar el costo de las soldaduras los datos se pueden utilizar en diversas formas de acuerdo con los sistemas de pago y de contabilidad que se empleen. La base para calcular con exactitud el costo de la soldadura es un procedimiento de soldadura. Puede no estar disponible el procedimiento de soldadura, al tiempo de establecer los costos tipo o calcular los costos, por tanto, hay que emplear tablas de procedimientos para soldar.

La base para calcular el costo de mano de obra en peso por metro aparece en la ecuación (2.11). El factor operador que se muestra es el mismo que el ciclo de la jornada, que es el porcentaje del tiempo de arco contra el tiempo total pagado.

$$C_{mo} = \left( \frac{T_{ps}}{V_r.F_o} \right) \quad (2.11)$$

Donde

$C_{mo}$  - Costo mano de obra; \$/m

$T_{ps}$  - Tarifa pago al soldador; \$/h

$F_o$  - Factor operador; (%)

La tarifa de pago por hora al soldador es un factor que se debe determinar y estar de acuerdo con los sistemas de contabilidad de cada empresa. Lo mismo se debe hacer para determinar los costos de maquinado y otros costos directos de mano de obra en la planta.

Las velocidades del recorrido se relacionan con el trabajo de soldadura, el tipo de soldadura, y el proceso de soldadura empleado. Son relativamente fáciles de calcular cuando se hacen soldaduras de un solo paso, pero son más difíciles con soldaduras de pasos múltiples y es por esta razón que se utiliza un sistema distinto para las soldaduras grandes en pasos múltiples.

El ciclo de jornada o el factor operador también se debe analizar porque varía considerablemente de trabajo a trabajo y de proceso a proceso. El proceso de arco metálico con gas de protección es el que tiene menor factor operador, mientras que en la soldadura semiautomática es mucho mayor, a veces el doble. El tipo de trabajo es el que determina el factor operador. En el trabajo de construcción, en el que se hacen

pequeñas soldaduras en lugares dispersos, el factor operador es muy económico. El trabajo pesado de producción, en el que se hacen grandes soldaduras en construcciones soldadas grandes, puede tener factores operadores muchos mayores. A veces se emplea el estudio de tiempos para calcular el factor operador basándose en trabajos semejantes al que se está calculando el costo. A veces se usan registradores automáticos de tiempo para determinar con exactitud el factor operador en trabajos repetitivos. Los resultados de éste cálculo dan los costos de mano de obra por metro de unión soldada. Este se puede sumar al costo por metro en materiales, metales de aporte.

La disposición del trabajo, el uso de posicionadores y soportes, si el trabajo es bajo techo o a la intemperie, todo lo anterior influye en el factor operador. En la construcción tendería a quedar en el extremo inferior del nivel, y la producción pesada quedaría en el extremo superior. El factor operador variará de planta a planta, y también de pieza a pieza si la cantidad de soldadura es muy distinta. El factor operador es mayor para los procesos de alambre de electrodo continuo porque el operador no necesita parar cada vez que se consume un electrodo cubierto. El cincelado, los cambios de electrodo y el movimiento de una unión a la siguiente, reducen el factor operador.

Cuando no se disponga de un catálogo de procedimientos de soldadura, o si la velocidad del recorrido implica más de un paso, se usa la ecuación (2.12).

$$C_{mo} = \left( \frac{S_s \cdot P_d}{V_d \cdot F_o} \right) \quad (2.12)$$

Donde

$C_{mo}$  - Costo de mano de obra; \$/m

$S_s$  - Sueldo del soldador; \$/h

$P_d$  - Peso del depósito; kg/m

$V_d$  - velocidad del depósito; kg/h

El nuevo factor introducido por esta fórmula es la velocidad de deposición o depósito en kilogramos por hora. La velocidad de depósito es el peso del metal de aporte depositado en una cantidad de tiempo. Se expresa en kilogramos por hora.

La velocidad de depósito tiene un gran efecto sobre los costos de soldadura. A mayor velocidad de depósito generalmente se necesita menos tiempo para completar una soldadura. Esto, sin embargo, se debe tomar con reservas, porque algunos procesos de alta velocidad de depósito no se pueden usar para trabajos pequeños. Para obtener resultados exactos es necesario calcular las velocidades de depósito para procedimientos específicos de soldadura. Esto se puede hacer pesando el metal de aporte que se usó, y el metal de aporte que se depositó y también el rendimiento o utilización del metal de aporte. También se puede calcular la velocidad de depósito. La relación entre la velocidad de fusión y el peso del metal de aporte fundido se puede determinar mediante la ecuación (2.13).

$$V_d = \left( \frac{V_f \cdot 60}{L_{ep} \cdot R_{mr}} \right) \quad (2.13)$$

Siendo

$V_d$  - Velocidad de depósito; kg/h

$V_f$  - Velocidad de fusión; m/min

$L_{ep}$  - longitud del electrodo por peso; m/kg

$R_{mr}$  - Rendimiento del metal del relleno; (%)

## 2.14 Costos de electricidad

A veces el costo de la energía eléctrica se considera parte de los gastos generales. Por otro lado, cuando es necesario comparar procesos competitivos de manufactura o de soldadura se sugiere incluir el costo de la energía eléctrica como costo directo en los cálculos. En ciertas plantas, a la energía eléctrica se le considera como gasto directo y se carga junto con cada uno de los trabajos. Este es en más frecuencia el caso de la soldadura de campo, y no el de los talleres de soldadura de grandes construcciones. En este caso se usa la ecuación (2.14).

$$C_{ee} = \left( \frac{Te \cdot V \cdot A \cdot P_{md}}{1000 \cdot V_d \cdot F_o \cdot E_{fe}} \right) \quad (2.14)$$

Donde

$C_{ee}$  - Costo de energía eléctrica; \$/m

$V$  - Volts

A - Amperios

$P_{md}$  - Peso del metal depositado; kg/m

$V_d$  - Velocidad de depósito; kg/h

$E_{fe}$  - Eficacia de la fuente de energía.

La tarifa local de energía eléctrica se basa en la cantidad cobrada a la empresa por la OBE. Si se incurre en gastos generales por tiempo, factor de potencia, éstos se deben incluir. Los voltios y los amperios son los valores que se usan al ejecutar las soldaduras.

El peso del metal es el peso del metal de soldadura que se deposita. La velocidad de depósito es la que se usa para una soldadura en especial, así como el factor operador. El factor final es la eficiencia de la fuente de potencia.

Los soportes especiales para apuntalar y sujetar se pueden considerar como costo indirecto de mano de obra y se clasifican como gasto general. Estos renglones se considerarán como inversiones de capital y se deprecian en un periodo de cinco años más o menos.

También se suman estos costos a los gastos generales del departamento de soldadura, o de la planta en general. Cuando se calcula esta información, se agrega a los gastos generales, al costo de la mano de obra y del metal de aporte para obtener el costo total de la soldadura.

Para soldadura en un solo paso se debe consultar la ecuación (2.15). El ciclo de jornada o factor operador no se modifican.

$$Gi_{\$/m} = \left( \frac{Gi_{\$/h}}{Vr.Fo} \right) \quad (2.15)$$

Donde

$Gi_{\$/m}$  - Gasto indirecto; \$/m

$Gi_{\$/h}$  - gasto indirecto; \$/h

Para soldadura en pasos múltiples se deberá consultar la ecuación (2.16).

$$Gi = \left( \frac{Fgi.Pdms}{Vd.Fo} \right) \quad (2.16)$$

**Donde**

$G_i$  - gasto indirecto; \$/m

$P_{dms}$  - Peso del depósito del metal de soldadura; kg/m

**2.15 Ciclo de trabajo de las fuentes de potencia**

El ciclo de trabajo o factor de marcha de las fuentes de potencia (duty cycle) se refiere al porcentaje de tiempo que puede trabajar la máquina cuando se usa determinado valor de intensidad de corriente (corriente nominal) sin que ocurran daños en sus devanados y componentes producto de un excesivo calentamiento. Todas las fuentes de energía para soldadura tienen su propio ciclo de trabajo característico, el cual constituye el factor más importante que determina el tipo de servicio para el que ha sido diseñada la fuente. El ciclo de trabajo, según AWS, está basado en un periodo de 10 minutos, los cuales se van a repartir en periodos de trabajo y descanso. Ecuación 2.17

$$C_t = \frac{T_a}{P_{tb}} \cdot 100 \quad (2.17)$$

Donde

$C_t$  - Ciclo de trabajo; %

$T_a$  - Tiempo de arco; min

$P_{tb}$  - Período de tiempo base (10 min)

Período de tiempo = tiempo de arco + tiempo de descanso = 10 min.

Usualmente las fuentes de potencia traen indicado por el fabricante, como característica fundamental, un valor de ciclo de trabajo para un valor de corriente y voltaje nominal ( $I_n$ ,  $V_n$ ) para el que han sido diseñadas; esto indica que la fuente puede trabajar a ese valor máximo de intensidad y voltaje de corriente el porcentaje de tiempo dado en base a 10 min.



## **2.16 Conclusiones del capítulo II**

- ✓ Quedó establecida la metodología de cálculo para los costos de soldadura de los procesos por arco eléctrico como son SMAW, SAW, GMAW, GTAW, según nominaciones de la American Welding Society (AWS).
- ✓ Las tablas que se recogen en este capítulo permiten determinar las diferentes secciones transversales de las juntas de soldadura considerando la preparación de los bordes, en correspondencia con el espesor del metal base.
- ✓ Para determinar las normas de tiempo de los procesos de soldadura se debe tener en cuenta entre otros elementos: electrodos, fundentes, mano de obra, gas de protección, máquina de soldar, consumo eléctrico.

# CAPITULO II

# CAPITULO III



## **CAPITULO III. ANALISIS DE LOS RESULTADOS**

### **3.1 Introducción**

Las operaciones de soldadura al arco utilizan metales de aportación que dependen de muchos factores económicos que están relacionados con la cantidad de metal de aporte consumido al realizar una soldadura. Todo esfuerzo debe ser hecho para reducir la cantidad de metal de relleno requerido por cada junta soldada, conforme con los requerimientos de calidad. El análisis de las áreas de las juntas de soldar diseñadas, la fabricación de soldadura, procedimientos de soldadura y la preparación de las piezas a soldar pueden proveer oportunidades para minimizar costos.

#### **El objetivo del capítulo es**

1. Realizar la valoración crítica de los resultados y a través de ella, explicar los fundamentos científicos que dan solución al problema planteado a partir de la interpretación de las regularidades observadas.

### **3.2 Cálculo de costo y consumo de soldadura**

Es posible con información de carácter general, calcular costos y consumos para un trabajo efectuado con cualquier proceso de soldadura por arco, pudiendo de esta manera evaluar alternativas de diseño, de procedimiento o proceso y presupuestar el trabajo correspondiente. El nudo de estos cálculos está en determinar, con la precisión que requiera el caso, la sección de la junta a rellenar, que será la que permita establecer la cantidad de material de aporte necesario.

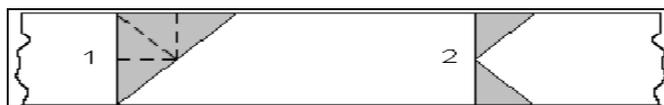
### **3.3. Consideraciones en el diseño de las construcciones soldadas**

Es habitual que quien tiene que efectuar o presupuestar un trabajo de soldadura de unión de un recipiente, una estructura o una construcción en particular, se vea en el problema de calcular cuanto material de aporte (varillas, alambres, fundentes, electrodos) necesita y muchas veces también el costo total de dicho trabajo

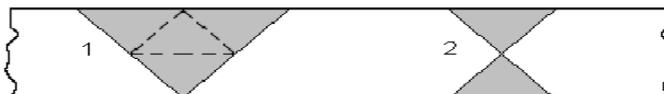
1. Minimizar las áreas de las secciones transversales de las juntas soldadas, conforme con los requerimientos de calidad, utilizando aberturas de raíz angostas, pequeños ángulos de bisel y si es práctico soldaduras de doble bisel en vez de soldaduras de bisel simple (ver figura 6.1). Cambiando un ángulo de bisel en V de

90° a 60° puede reducirse el metal de aportación necesario en 40%. Pedir diversos ángulos de bisel y aberturas de raíz de las juntas para diferentes sistemas de aleación y procesos de soldadura. Estas dimensiones deben ser consideradas en la fase de diseño.

2. Precisar el tamaño de las soldaduras de bisel. La sobresoldadura es una práctica muy común originada por la creencia que adicionar metal de aporte puede aumentar la resistencia de los filetes soldados. El efecto de la sobresoldadura es claramente visto en la figura 6.2 donde una soldadura hecha adecuadamente es comparada con otra que ha sido sobresoldada. Si una soldadura específica de 6 mm se incrementa en tamaño sólo 50%, más del doble de la cantidad de metal de aporte es utilizada. La sobresoldadura, que incrementa el costo de la soldadura, no puede ser prevista cuando el costo estimado es preparado. A continuación presentamos en las figuras 3.1 y 3.2 los requerimientos adicionales de metal de soldadura por escasa preparación y los requerimientos adicionales de metal de soldadura para filetes sobresoldados respectivamente.



Garganta de bisel simple (1) y garganta de bisel doble (2)



Garganta en simple "V" (1) y garganta en doble "V"

Figura 3.1. Efecto del diseño de la junta sobre los requerimientos de metal de aporte.

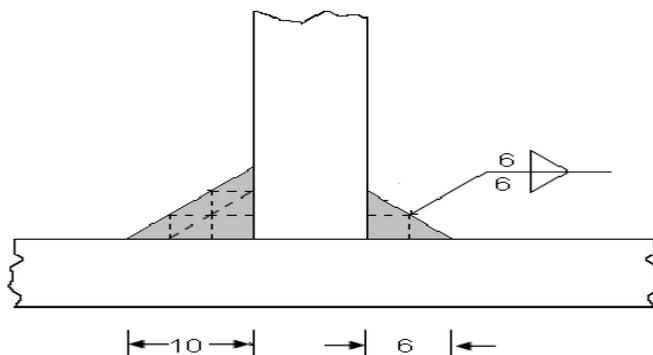


Figura 3.2. Efectos de la soldadura sobre los requerimientos de metal de aporte para una soldadura de bisel



3. Diseñar para tener fácil acceso a todas las soldaduras. Dificiles condiciones para hacer una soldadura incrementan los costos y pueden contribuir a tener una deficiente calidad.
4. Si una alternativa es asequible, seleccionar bien los metales de aportación. Los metales que requieren complejos procesos de soldadura hacen más cara la soldadura.
- 5.- Emplear los símbolos propios de la soldadura con notación específica del tamaño de la soldadura.
6. Eliminar las juntas soldadas siempre que sea posible. Usar perfiles laminados, usar pequeñas piezas de acero fundido para superficies complejas y usar planchas conformadas o dobladas en la medida que sea posible.
7. Emplear soldaduras de chaflán con precaución. Si el tamaño es duplicado entonces la resistencia se duplica, pero el área de la sección transversal y el peso aumentan cuatro veces.
8. Las soldaduras intermitentes de chaflán deben ser estudiadas.

Algunas veces es posible reducir el tamaño del chaflán, hacer la soldadura sin interrupciones y proteger el metal de soldadura.

### **3.4. Consideraciones a tener en cuenta en las fabricaciones soldadas**

1. Proveer el equipo propio para los procesos especificados en el procedimiento de la soldadura, incluida la ventilación propia.
2. Proveer los correctos materiales de soldadura especificados en los procedimientos de soldadura.
3. Proveer exactamente el equipo de piezas usando accesorios donde sea posible e inspeccionando el equipo antes de soldar.
4. La sobresoldadura debe ser cuidadosamente controlada. Esta incrementa el costo del metal de aporte a depositar y la mano de obra, y puede ser causa de rechazo de la soldadura en una inspección.
5. Evitar excesivo reforzamiento de las soldaduras porque éste utiliza metal de aporte y mano de obra innecesarios.

6. Usar equipos de posicionamiento cuando sea posible. El posicionamiento de las construcciones soldadas para soldar en posición plana incrementa grandemente la eficiencia y reduce los costos.
7. Utilizar herramientas mecánicas para remover escoria y para dar el acabado final a las superficies soldadas.
8. Fomentar el uso del propio amperaje y voltaje regulados para maximizar la eficiencia. El exceso de corriente o de voltaje de soldadura puede causar elevadas pérdidas por salpicadura; la baja corriente de soldadura ocasiona ineficientes velocidades de deposición.
9. En el caso de soldadura al arco metálico de protección, los extremos no quemados perdidos aumentan significativamente el costo del electrodo. Fomentar la soldadura con electrodos con un mínimo práctico en la longitud de los extremos no quemados.

### **3.5. Rendimiento de los electrodos**

El electrodo recubierto tiene un rendimiento mínimo, esto es, tiene mayores pérdidas. Estas pérdidas están constituidas por las pérdidas de los extremos no quemados, la pérdida por recubrimiento o escoria y la pérdida por salpicadura. Considerando que se pierden extremos de 5 cm, el electrodo de 35 cm tiene una pérdida por extremo no quemado de 14%; el electrodo de 45 cm (18 pulgadas) tiene una pérdida de 11%, y el electrodo de 71 cm (28 pulgadas) tiene una pérdida de 7% por extremos no quemados. Desafortunadamente, los electrodos no siempre se funden con extremos de 50 mm (2"). La pérdida por recubrimiento o escoria de un electrodo cubierto puede ir desde 10 hasta 50%.

Los recubrimientos más delgados de un electrodo E 6010 quedan en el extremo inferior de la escala, y se aproximan al 10%, mientras que el recubrimiento de un electrodo tipo E 7028 se acercará al 50%. Esto se aplica aun cuando se incorpore polvo de hierro al recubrimiento. Para resultados exactos, mídase ese factor para los electrodos que se vayan a usar. La pérdida por salpicadura depende de la técnica de soldadura, pero normalmente fluctúa entre 5 a 15%. Así, es fácil ver porque los electrodos recubiertos tienen tan bajo rendimiento.

El electrodo macizo y desnudo, o varilla de aporte tiene el mayor rendimiento porque las pérdidas son mínimas. Normalmente, en los procesos de electrodos de alambre continuo, el carrete completo o bobina de electrodo se consume haciendo soldaduras. Se descartan los extremos del alambre, pero normalmente esto es insignificante comparado con el peso total. La pérdida por salpicadura se relaciona con el proceso y la técnica de soldadura. En los procesos de arco sumergido y electroslag, se deposita prácticamente todo el metal en la soldadura. No hay salpicadura y, por tanto, la eficacia del depósito o rendimiento se acerca al 100%.

En la soldadura por arco metálico con gas hay una pérdida por salpicadura, que aproximadamente es de 5% del electrodo fundido, lo cuál da una eficacia de depósito o rendimiento del 95%. En el caso de un proceso de alambre frío, arco de tungsteno con gas, arco de plasma y arco de carbono, se usa el alambre completamente frío y se tiene rendimiento del 100%.

El electrodo de núcleo de fundente tiene unas pérdidas ligeramente mayores debido a los ingredientes de fundente dentro del alambre tubular, que se consumen y se pierden como escoria. Los materiales fundentes en el núcleo representan de un 10 a un 20% del peso del electrodo. Cada uno de los tipos y tamaños tienen distintas relaciones de peso de núcleo de acero.

### **3.6 Propuesta de un sistema computarizado para el cálculo de costo**

El sistema debe constar de un paquete de programas de computadora y de una serie de normas que facilitan el manejo y control de la información referente a la selección de electrodos y a los costos de soldadura al arco.

El programa debe ser de fácil manejo y acceso, asistiendo al usuario con mensajes de ayuda y advertencias de posibles errores a fin de evitar, en el momento oportuno, ingresar datos erróneos al sistema.

Debe estar estructurado en dos módulos: Selección de Electrodos y Cálculo de Costos de Soldadura. En este punto es importante aclarar que el módulo referente a selección de electrodos ha sido elaborado tomando como base de datos el "Manual de electrodos INFRA – UTP" el cual anexamos a este trabajo.



### **3.6.1 Descripción del sistema**

Seleccionar de manera precisa e tipo de electrodo y llevar un control adecuado de los costos de soldadura de un determinado proceso, el sistema constará de dos módulos básicos.

El primer módulo, incluirá a todos los programas necesarios para lograr consultas de alto nivel referidas a los distintos tipos de electrodos que se usan en los distintos tipos de procesos de soldadura.

El segundo módulo debe contener, las pantallas necesarias para ingresar y seleccionar datos de manera tal que se pueda obtener los cálculos de costos de soldadura referidos a distintos procesos de soldadura al arco, los cuales aparecen en el capítulo II del presente trabajo.

Además contener los programas que permiten la generación de reportes.

Los módulos deben diseñarse siguiendo el orden lógico que se pueda seguir la información durante el proceso general de soldadura. En general, no será necesario, que el ingreso de datos siga el orden propuesto inicialmente por el sistema.

### **3.6.2 Lenguaje que puede emplearse**

Para el desarrollo de la programación del sistema se puede elegir el lenguaje de alto nivel DELPHIS, para Windows, considerado por la crítica especializada como un manejador de base de datos muy potente.

El DELPHIS, realiza la mayoría de las funciones de gestión de base de datos. Se puede utilizar para ordenar, organizar o presentar la información. Su fácil manejo hace que sea una excelente herramienta tanto para aquellas personas que son nuevas en el uso de las bases de datos como para aquellas personas que tienen mucha experiencia con las mismas. Con este lenguaje se pueden construir aplicaciones y reportes, consultar a través de tablas.

El DELPHIS, cuenta con su propio KIT Compilador que permite crear archivos ejecutables, eliminando la gran desventaja de muchos de los lenguajes de alto nivel: Su lenta ejecución (por ser lenguajes interpretados). En cambio El DELPHIS,



permite compilar los programas y de esta manera resulta con una velocidad de ejecución decenas de veces mayor que la de los lenguajes interpretados. El desarrollo de programas en DELPHIS, se realiza en un ambiente propio del lenguaje de Windows. La diferencia en la velocidad de ejecución la podemos ver ejecutando los programas en ambiente DELPHIS, y luego realizando la ejecución del programa compilado.

Además de la gran ventaja que tienen los programas compilados en la rapidez de ejecución, existe la posibilidad de usar funciones y comandos adicionales. Además permite el uso del mouse para realizar la selección de objetos o simplemente como un reemplazo de la tecla ENTER.

### **3.6.3 Ejemplo de datos a introducir en el programa**

Los siguientes ejemplos son para mostrar datos para introducir al programa para calcular el costo de costos de soldadura al arco.

Ejemplo 1: La figura señala la preparación de una plancha a soldar. Se desea conocer si resulta más barato soldarla con el proceso de soldadura por arco de metal protegido (SMAW) o con el proceso semiautomático GMAW. Use los siguientes datos.

#### **a) Soldadura manual por arco de metal protegido (SMAW)**

Electrodo E 7018, diámetro: mm.

La densidad del alma del electrodo es de:  $\text{kg/cm}^3$

La longitud de cada electrodo es de: mm.

El método de aplicación es manual.

La eficiencia de deposición es de: %.

El factor operador es de: %.

El precio del electrodo recubierto es (según empresa) \$/kg.

La tarifa de pago al soldador es de: \$/hr.

La velocidad de recorrido es de: m/hr.

La velocidad de fusión es de: m/min.

El factor de gasto indirecto es de: \$/hr.

El porcentaje de refuerzo es de: %.



La Tarifa de energía eléctrica es de: \$/kwh.

El voltaje de soldadura es: voltios.

La corriente de soldadura es: amp.

El rendimiento de la máquina de soldar es: %

La longitud soldada es de: mm.

El número de pasadas es:

### **b) Soldadura por arco de metal y gas (GMAW)**

Electrodo desnudo, diámetro: cm.

La densidad del alambre es: kg/cm<sup>3</sup>

La eficiencia de deposición es de: %.

El método de aplicación es semiautomático.

El factor operador es: %.

La velocidad de fusión es de: m/min.

El precio del gas de protección es de: \$/m<sup>3</sup>

La velocidad del flujo del gas es de: m/hr.

La velocidad de recorrido es: m/hr.

El precio del electrodo es: (según empresa) \$/kg.

La longitud soldada es de: mm.

El sueldo del soldador es de: \$/hora.

La tarifa eléctrica es de: \$/kwh.

El factor de gasto indirecto es de: \$/hr.

El voltaje de soldadura es de: voltios.

La corriente de soldadura es de: Amp

El rendimiento de la máquina de soldar es de: %.

El porcentaje de refuerzo es de: %.

El número de pasadas es:

Al elaborar el programa deben introducirse los diferentes tipos de juntas a la que se le quiera determinar los cálculos de costo y consumo, el diseño de la junta a emplear y que puede ser introducido en el programa aparecen en el capítulo II del presente trabajo.

En la figura 3.3 aparecen los datos de la Junta a soldar, la cual se introduce en el programa.

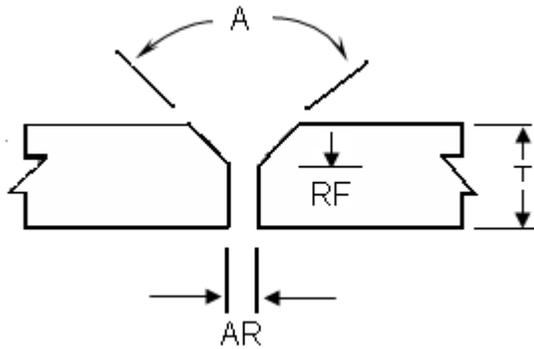


Figura 3.3. Junta a soldar.

Datos de la junta

$A = 60^\circ$   $AR = 2 \text{ mm}$ .

$T = 20 \text{ mm}$   $RF = 0 \text{ mm}$

Ejemplo 2: Se desea comparar los costos de realizar la soldadura que muestra la figura utilizando los procesos GTAW (con metal de aporte) y SAW. Tome como datos la siguiente información:

#### a) Proceso de soldadura GTAW

Utiliza metal de aporte adicional.

El método de aplicación es automático.

El diámetro del metal de aporte es de: mm

La densidad del metal de aporte es de:  $\text{kg/cm}^3$

La vida útil del electrodo de Tungsteno es de: horas de soldadura.

El porcentaje de refuerzo es de: %.

El rendimiento del metal de aporte es: %.

El precio del metal de aporte es: \$/kg.

El sueldo del soldador es: \$/hora.

El número de pasadas es:

La duración del arco es de: min.

El precio del gas es de: \$/hora.

La velocidad del flujo del gas es de:  $\text{m}^3/\text{min}$ .

La velocidad de recorrido es de: m/hr.



El factor de gasto indirecto es de: \$/hora.

El factor operador es de: %.

La tarifa eléctrica es de: \$/kwh.

El rendimiento de la máquina es de: %.

El voltaje de soldadura es de: voltios.

La corriente de soldadura es de: Amp.

La velocidad de fusión es de: m/min.

### **b) Proceso SAW**

El método de aplicación es a máquina.

La densidad del electrodo es:  $\text{kg/cm}^3$ .

El diámetro del electrodo es de:

El rendimiento del electrodo es de: %.

El factor operador es de: %.

La velocidad de fusión es de: m/min.

La velocidad de recorrido es de: m/hr.

El precio del fundente es de: \$/kg.

El precio del electrodo es de \$/kg.

El sueldo del soldador es de \$/hora.

El factor de gasto indirecto es de \$/hora.

El porcentaje de refuerzo es de: %.

El número de pasadas es:

La tarifa eléctrica es de: \$/kwh.

El voltaje de soldadura es: voltios.

La corriente de soldadura es de: Amp.

El rendimiento de la máquina de soldar es de: %.

### **3.7 Fórmulas para el cálculo de costo**

Proceso SMAW

Las fórmulas que se presentan a continuación se emplean para las siguientes juntas: De tapón, de ranura o de punto al arco.



### Peso del depósito

$$Pd = \rho.V.\left(\frac{100 + \%ref}{100}\right) \quad (3.1)$$

Donde:

$Pd$  - Peso del depósito; kg.

$\rho$  - Densidad del metal de aporte en  $\text{kg}/\text{cm}^3$ .

$V$  - Volumen de la junta en  $\text{cm}^3$ .

$\% ref$  - Porcentaje de refuerzo.

### Peso del metal de aporte necesario

$$Pman = \left(\frac{Pd.100}{\eta}\right) \quad (3.2)$$

Donde:

$Pman$  - Peso del metal de aporte necesario; kg.

$\eta$  - Rendimiento del metal de aporte en %.

### Costo del electrodo

$$Ce = P / E.Pman.N / S \quad (3.3)$$

Donde:

$Ce$  - Costo del electrodo; \$.

$N/S$  - Número de soldaduras.

$P/E$  - Precio del electrodo; \$/kg.

### Sección transversal del electrodo

$$Ste = \left(\frac{\pi.D^2}{4}\right) \quad (3.4)$$

Donde:

$Ste$  - Sección transversal del electrodo;  $\text{cm}^2$ .

$D$  - Diámetro del electrodo; cm.

### Número de varillas necesarias para soldar

$$N / V = \left(\frac{Pman}{Ste.2,54.Le.\rho}\right) \quad (3.5)$$



Donde

$N/V$  - Número de varillas necesarias para soldar.

$Le$  - Longitud del electrodo; mm

### **Peso del metal de aporte necesario**

$$P_{man} = 6000.V_f.\rho.Ste \quad (3.6)$$

**Donde**

$V_f$  - Velocidad de fusión del electrodo; m/min.

$$V_d = \left( \frac{P_{man}.100}{\eta} \right) \quad (3.7)$$

Donde

$V_d$  - Velocidad de deposición del electrodo; kg/hr.

### **Costo de mano de obra**

$$C_{mo} = \left( \frac{T_s.P_d.N / S.100}{V_d.F_o} \right) \quad (3.8)$$

**Donde:**

$C_{mo}$  - Costo de mano de obra; \$.

$T_s$  - Tarifa de pago al soldador; \$/hr.

$F_o$  - Factor operador; %.

### **Costo por gastos indirectos**

$$C_{gi} = \left( \frac{F_{gi}.P_d.N / S.100}{V_d.F_o} \right) \quad (3.9)$$

**Donde:**

$C_{gi}$  - Costo por gastos indirectos; \$.

$F_{gi}$  - Factor de gasto indirecto; \$/hr.

### **Costo de energía eléctrica**

$$C_{ee} = \left[ \frac{T_e.V.I.P_d.N / S.10}{V_d.F_o.\eta m} \right] \quad (3.10)$$



Donde:

$C_{ee}$  - Costo de energía eléctrica en \$.

$T_e$  - Tarifa eléctrica en \$/hr.

$V$  - Tensión de soldadura en voltios.

$I$  - Corriente de soldadura en amperios.

$\eta_m$  - Rendimiento de la máquina de soldar en %.

Las fórmulas que presentamos a continuación son para el resto de juntas que aparecen en la tabla 2.1 del capítulo II de la tesis.

### Para 1 pasada de soldadura

$$Pd = Stj \cdot \rho \cdot (100 + \% ref) \quad (3.11)$$

Donde:

$Pd$  - Peso del depósito en kg/m.

$Stj$  - Sección transversal de la junta en  $cm^2$

### Peso del metal de aporte necesario

$$P_{man} = \left( \frac{Pd \cdot 100}{\eta} \right) \quad (3.12)$$

$P_{man}$  - Peso del metal de aporte necesario en kg/m.

### Cantidad de electrodos

$$C_e = PE \cdot P_{man} \cdot L / S \quad (3.13)$$

Donde:

$L / S$  - Longitud soldada en m.

### Número de varillas

$$NV = \left( \frac{P_{man}}{St_e \cdot L_e \cdot \rho} \right) \quad (3.14)$$

$$C_{mo} = \left( \frac{T_s \cdot L / S \cdot 100}{V_r \cdot F_o} \right)$$

Donde

$V_r$  - Velocidad de recorrido o velocidad de avance; m/hr.



### Costos gastos indirectos

$$C_{gi} = \left( \frac{F_{gi}.L / S.100}{Vr.Fo} \right) \quad (3.15)$$

### Costo energía eléctrica

$$C_{ee} = \left( \frac{Te.V.I.Pd.L / S.10}{Vd.Fo.\eta m} \right) \quad (3.16)$$

### Para varias pasadas

$$C_e = Pd.N / P \quad (3.17)$$

#### Donde:

$N / P$  - Número de pasadas de soldadura.

### Número de varillas

$$NV = \left( \frac{P_{man}.N / P}{St.Le.\rho} \right) \quad (3.18)$$

### Costo mano de obra

$$C_{mo} = \left( \frac{Ts.Pd.L / S.N / P.100}{Vd.Fo} \right) \quad (3.19)$$

### Costo gastos indirectos

$$C_{gi} = \left( \frac{F_{gi}.Pd.L / S.N / P.100}{Vd.Fo} \right) \quad (3.20)$$

### 3.7.1 Procesos GMAW, FCAW y SAW

Las fórmulas que se presentan a continuación se emplean para las siguientes juntas: De tapón, de ranura o de punto al arco.

$$La = \left( \frac{1}{100.\rho.St} \right) \quad (3.21)$$

#### Donde:

$La$  - Longitud del alambre por unidad de longitud (m/kg).

### Peso del metal de aporte necesario

$$P_{man} = \left( \frac{Vf.60}{La} \right) \quad (3.22)$$



### Velocidad de depósito

$$Vd = \left( \frac{Pman.100}{\eta} \right) \quad (3.23)$$

### Cantidad de electrodos

$$Ce = Pe.Pman.N / S \quad (3.24)$$

### Cantidad de gas

$$Cg = \left( \frac{Pg.Cgp.Da.N / S}{60} \right) \quad (3.25)$$

### Donde:

$Cg$  - Costo del gas de protección en \$.

$Pg$  - Precio del gas de protección en \$/m<sup>3</sup>

$Cgp$  - Caudal de salida del gas protector en m<sup>3</sup> /hr.

Las fórmulas que presentamos a continuación son para el resto de juntas que aparecen en la tabla 2.1 del capítulo II de la tesis.

### Peso del depósito

$$Pd = St.\rho.(100 + \%ref) \quad (3.26)$$

### Costo del gas

$$Cg = \left( \frac{Pg.Cg.L / S}{Vr} \right) \quad (3.27)$$

### Costo mano de obra

$$Cmo = \left( \frac{Ts.Ls.100}{Vr.Fo} \right) \quad (3.28)$$

### Costo gastos indirectos

$$Cgi = \left( \frac{Fgi.Ls.100}{Vr.Fo} \right) \quad (3.29)$$

### Proceso GTAW

Las fórmulas que se presentan a continuación se emplean para las siguientes juntas: de tapón, de ranura o de punto al arco.



### Longitud del alambre

$$La = \left( \frac{1}{100 \cdot \rho \cdot St} \right) \quad (3.30)$$

#### Donde:

$La$  - Longitud del alambre por unidad de longitud (m/kg).

### Peso del metal de aporte necesario

$$Pman = \left( \frac{Vf \cdot 60}{La} \right) \quad (3.31)$$

#### Donde:

$Pman$  - Peso del metal de aporte necesario en kg/hr.

### Velocidad de depósito

$$Vd = \left( \frac{Pman \cdot 100}{\eta} \right) \quad (3.32)$$

### Costo material de aporte

$$Cma = Pma \cdot Pman \cdot Ns \quad (3.32)$$

#### Donde:

$Cma$  - Costo del material de aporte en \$.

$Pma$  - Precio del metal de aporte en \$/kg.

### Costo del gas de protección

$$Cg = \left( \frac{Pg \cdot Csgp \cdot Da \cdot Ns}{60} \right) \quad (3.33)$$

#### Donde:

$Cg$  - Costo del gas de protección en \$.

$Pg$  - Precio del gas de protección en \$/m<sup>3</sup>.

$Csgp$  - Caudal de salida del gas protector en m<sup>3</sup>/hr.

$Da$  - Tiempo (en minutos) que permanece encendido el arco al rellenar una junta.

### 3.8. Impacto económico de la aplicación de la metodología propuesta

La metodología propuesta constituye una herramienta importante en la toma de decisiones sobre el análisis y selección de posibles alternativas para el presupuesto de tecnologías de soldadura. Si bien la no existencia de tal metodología presupone la aplicación de métodos empíricos que dan solución parcial a la problemática de la evaluación de los costos a partir de la estimación de las partidas de los gastos directos e indirectos, tal evaluación resulta ser imprecisa.

La Resolución Económica del V Congreso del Partido plantea:

“La planificación transita de un modelo excesivamente centralizado, sustentado en bases materiales, a otro - aún en proceso de implantación- a partir de la valoración y balances financieros de los recursos externos y otras definiciones y coordinaciones...”. Como consecuencia, se ha intensificado la aplicación del uso de la informática y la contabilidad como instrumentos de dirección.

La crisis económica por la que atraviesa el mundo conjuntamente con las limitaciones propias de la economía cubana recrudescida con el bloqueo económico, exigen de la búsqueda de alternativas que garanticen una mejor organización y planificación de la actividad económica en el sentido de la minimización de los costos de producción. Bajos estas premisas, la metodología de cálculo propuesta garantiza:

1. Diseñar la tecnología y establecer los recursos necesarios para los procesos de soldadura,
2. Definir la cantidad de material necesaria para cada proceso,
3. Reducir los tiempos operacionales en los procesos,
4. Optimizar el consumo de energía eléctrica y combustibles
5. Aprovechar el equipamiento y alargar la vida útil de los mismos
6. Disminuir los riesgos de realización de inversiones imprevistas
7. Mejora el proceso de planificación, gestión y gerencia de datos relacionados con los costos de procesos de soldadura

8. Perfeccionar la actividad de la contabilidad en el sentido de la recopilación, clasificación, registro, distribución e información de los costos incurridos en los procesos de soldadura.

### **3.9. Impacto ambiental**

El desarrollo sostenible de la humanidad constituye una constante preocupación para la sociedad. La existencia de una metodología de cálculo de procesos de soldadura constituye, sin dudas, un singular aporte al desarrollo sostenible de la sociedad. En tal sentido, al precisar la cantidad de material, las operaciones tecnológicas y el valor de los consumibles, se logra minimizar la cantidad de recursos y destinar solamente aquellos que resultan indispensables para el proceso.

Esto contribuye al necesario aprovechamiento racional de los recursos materiales y humanos y al optimizar la tecnología, se disminuye la emisión de gases tóxicos al ambiente, los tiempos operacionales con la consiguiente exposición de los operarios a las altas temperaturas, radiaciones y los gases, así como el consumo de energía del equipamiento.

Las altas temperaturas de calentamiento durante los procesos de soldadura son potencialmente perjudiciales para el proceso y para el medio ambiente, ya que aceleran rápidamente los procesos de fusión del metal de aporte, metal base, revestimiento y fundentes, teniendo lugar durante este proceso la evaporación, salpicaduras, y oxidación de los materiales y elementos que participan en las reacciones químicas de la zona fundida.

Los trabajos de soldadura son bastante perjudiciales al hombre y al medio ambiente, debido a la incidencia de las radiaciones, gases y altas temperaturas generados por el proceso. Los efectos contaminantes derivados de los procesos de soldadura son mucho más agresivos a la salud cuando las piezas a soldar están recubiertas de sustancias como: aceites, pinturas y otras; que se evaporan



durante el proceso e inciden en el hombre junto a los gases de la soldadura y los del local, si en el mismo se realiza cualquier otra actividad que emita sustancias al medio.

Las temperaturas extremas que pueden alcanzarse en los procesos de soldadura de acuerdo a las temperaturas de fusión de los metales, entre 260 °C ( 500 F) y más de 2 760 °C (5 000 F), con:

1. La llama de gas puede alcanzar los 3037 °C (5 500 F)
2. La llama del arco del plasma puede alcanzar 30537 °C (55 000 F).

Factores contaminantes del puesto de trabajo del soldador:

1. Las radiaciones: luz visible, infrarrojas, ultravioletas, gammas y rayos X.
2. Sustancias químicas en las emisiones de gases y vapores en forma de humos, que son los representantes del riesgo oculto.
3. Elevadas temperaturas.

Las radiaciones visibles, ultravioletas e infrarrojos pueden surgir directamente de la fuente de soldadura o reflejarse en otras superficies. Las fuentes de estos tipos de rayos incluyen la llama del combustible, el arco de soldadura o corte, el rayo láser, el baño de soldadura fundido, el fundente fundido, la escoria fundida, los metales blanco y rojo calientes. Además las radiaciones infrarrojas y ultravioletas pueden causar cambios químicos en la atmósfera circundante con produciendo gases muy tóxicos como: ozono, dióxido de nitrógeno presentes en el aire. Los rayos X y gammas se producen por el equipo que se utiliza para las pruebas no destructivas de la soldadura. Los rayos X también se producen por el haz de electrones.

Los vapores y gases en forma de humos son producidos por las elevadas temperaturas que además de fundir el metal lo evaporan. Este vapor se condensa en pequeñas partículas de metal oxidado que salen en forma de humo de la soldadura. Dependiendo del tipo de soldadura, podrán estar presentes óxidos de Aluminio, Cadmio, Cromo, Cobre, Hierro, Plomo, Manganeso, Níquel, Titanio, Vanadio. Los gases, como el Ozono, Dióxido de Nitrógeno y Monóxido de



Carbono, se generan por la descomposición de los revestimientos de electrodos y la acción de los rayos ultravioleta. Los humos, partículas de metales tóxicos que se producen durante los trabajos de soldadura, generalmente tienen diferentes composiciones.

### **3.9 Conclusiones del capítulo III**

- ✓ Se establecen y ejemplifican procedimientos de cálculo a considerar para cada uno de los procesos de soldadura considerando los parámetros que se tienen en cuenta para determinar los consumibles de soldadura.
- ✓ Se establece un algoritmo de cálculo el cual puede ser empleado en la elaboración de un software que permita hacer más rápido los cálculos de costo y consumo de soldadura.
- ✓ Las diferentes fórmulas desarrolladas para cada uno de los procesos consideran deposición de depósito para una y varias pasadas durante el proceso de soldeo.



### **Conclusiones Generales**

1. Se definieron los parámetros de los procesos de soldadura SMAW, SAW, GMAW y CO<sub>2</sub> permiten establecer una metodología de cálculo con precisión de los costos de los consumibles en los procesos de soldadura.
2. Se elaboró una metodología de cálculo de costos y consumo de procesos de soldadura SMAW, SAW, GMAW y CO<sub>2</sub> que constituyen, además, la base para determinar otros procesos.
3. La metodología de cálculo propuesta tiene una importante repercusión en los factores tecnológico, económico y ambiental al permitir evaluar las posibles alternativas y presupuestar la tecnología correspondiente utilizando el mínimo de recursos.



## **Recomendaciones**

1. Extender la metodología de cálculo propuesta a otras empresas del territorio que contemplen dentro de sus labores la soldadura por arco eléctrico.
2. Diseñar un software a los procesos determinados en el presente trabajo con los elementos propuestos como son tipos de juntas, metodología de cálculo y electrodos empleados en los procesos de soldadura por arco eléctrico.
3. Realizar, considerando la metodología propuesta, el cálculo de costo y consumo de soldadura a otros procesos de soldadura.
4. Proponer a la Empresa mecánica del níquel Comandante "Gustavo Machín Hoed de Beche", por la solicitud del presente trabajo, la elaboración del software en conjunto con el ISMMM.



## **Bibliografías**

1. AGA: manual de soldadura y corte, Venezuela, 1987.
2. ASME Bolher and pressure vessel code. Sección II, Parte C. 1992.
3. American Welding Society (AWS) "Welding Handbook". 8va Edición. 1996.
4. ANSI/AWS D1.1-96 Structural Welding Code: Steel. The American Welding Society, 1996.
5. AWS-A5-17-80, ASME SFA 5.17: Carbon steel electrodes and fluxes for submerged arc welding, 2006
6. AWS-A5-5-21-80, ASME SFA 521: Specifications for composite surfacing welding rods and electrodes, 2006
7. AWS-A5-23-80, ASME SFA 5.23: Low alloy steel electrodes and fluxes for sumerged arc welding, 2006
8. AWS-ASME: Section II Material Specifications, Part C- Welding Rods, Electrodes and Filler Metals, Ed. ASME, New York, 1983.
9. Burgos Solas, J. Tecnología de soldadura. Ed. Pueblo y Educación. 1987.
10. Eutectic-Castolin: Conferencias Técnicas, 1980
11. ESAB: Lo que todo representante y distribuidor de ESAB debe saber, folleto, Suecia, 1979.
12. Glizmanenko, D.L. Soldadura y corte a gas. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1965. 256 p.
13. INFRA: Curso de capacitación y entrenamiento sobre soldadura, folleto, México, 1987.
14. Masubuchi K. Análisis de estructuras soldadas. Pergamon Press, Elmsford, N. Y. 1980.
15. Oystein Grong, Modelación Metalúrgica de la soldadura. 2da Ed. P 509 – 526. Instituto de Materiales, Londres, Inglaterra. 1994.
16. Rodríguez, H. Metalurgia de la Soldadura. Edit Pueblo y Educación 1983. 613 pp.
17. Seferian, D. Metalurgia de la soldadura. Ed. Revolucionaria. 1966. 397 pp.
18. Stout, R. D. and Doty, W. D. Weldability of Steels. Welding Research Council, 1971.



19. The Lincon Electric Company. The procedure handbook of arc welding. 13<sup>a</sup>.  
Edición. 1994.
20. U.T.P: Arco Sumergido, folleto, Cuba, 1986.