



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

DETERMINACIÓN DE ELECTRODOS Y CÁLCULO DE COSTOS DESOLDADURA AL ARCO ASISTIDOS POR COMPUTADORA

Ciro Eduardo Bazán Navarro

.....Piura, 2002

FACULTAD DE INGENIERIA

Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica

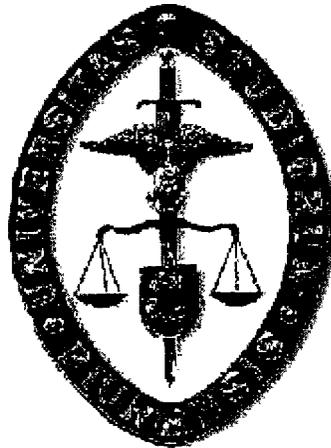


Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica



**"Determinación de electrodos y cálculo de costos de
soldadura al arco asistidos por computadora"**

Tesis que presenta el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería

Ciro Eduardo Bazán Navarro

Para optar el Título de INGENIERO MECÁNICO-ELÉCTRICO

Asesor: Ing. Jorge Yaksetig Castillo

PIURA - PERÚ

1998

***A mis padres Ciro y
Socorro, y a mi hermana
Fabiola.***

PRÓLOGO

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.

Es importante resaltar que los costos juegan un papel preponderante dentro de los procesos de soldadura debido a que estos proporcionan información necesaria para licitar trabajos, sirven en el establecimiento de tarifas de programas incentivos y para comparar las ventajas entre los diversos procesos de soldadura.

Por otra parte, los soldadores artesanales se basan en su experiencia para seleccionar los electrodos que más se adecúen a los diversos trabajos de soldadura que tengan que realizar, sin usar manuales técnicos elaborados por las empresas que se dediquen a la fabricación de éstos bajo las prescripciones dadas por entidades normativas, tales como la AWS, pudiendo traer como consecuencia el que no se obtengan las propiedades físicas y mecánicas deseadas en la soldadura propiamente dicha.

Debido a los puntos mencionados anteriormente, se ha desarrollado un estudio de las diferentes variables que intervienen en los procesos de soldadura para realizar un análisis de los costos que generan dichos procesos, además de realizar un estudio acerca de la clasificación y selección de electrodos.

Quiero terminar expresando mi más profundo agradecimiento a mi amigo Ing. Jorge Luis Ruíz Rabines, por su desinteresado y constante apoyo en el diseño del sistema propuesto en la presente tesis, ya que sin su ayuda hubiera sido muy difícil lograr las cualidades con que cuenta dicho sistema. Así mismo quiero agradecer de manera muy especial a mi asesor Ing. Jorge Yaksetig Castillo por su invaluable estímulo durante el desarrollo del presente trabajo. Además, deseo expresar mi gratitud a los Ings. Jorge Ramírez, Alvaro Tresierra y Fernando Barranzuela quienes

me proporcionaron sus oficinas y computadoras para la redacción de la tesis, a la Srta. Ana Rivera y a los Srs. Eduardo Talledo y Uri Ruíz.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio acerca de como se clasifican y seleccionan los electrodos para los distintos procesos de soldadura al arco de acuerdo a las normas emitidas por la American Welding Society.

Como segundo objetivo se busca elaborar un estudio de todos los elementos básicos que conforman los costos de soldadura al arco, realizando el cálculo de dichos costos mediante la ayuda de fórmulas sencillas.

Como aporte final se ha elaborado un software que permite seleccionar al usuario el tipo de electrodo que más se adecúe al proceso de soldadura que ha de realizar y que permite calcular los costos de soldadura al arco de una manera rápida y sencilla.

Se presentan algunos ejemplos sencillos, fórmulas, tablas y el manual del usuario al final de la tesis de tal forma que permitan comprender como usar el software.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| <u>CAPÍTULO I.- CONFORMACIÓN POR SOLDADURA</u> | 3 |
| 1.1 Generalidades | 3 |
| 1.2 Clasificación de los procesos de soldadura | 6 |
| 1.3 Procesos de soldadura al arco | 8 |
| 1.3.1 Soldadura por arco de metal protegido | 8 |
| 1.3.1.1 Definición y descripción general | 8 |
| 1.3.1.2 Principios de funcionamiento | 9 |
| 1.3.1.3 Protección del arco | 12 |
| 1.3.1.4 Capacidades y limitaciones del proceso | 14 |
| 1.3.2 Soldadura por arco de tungsteno y gas | 16 |
| 1.3.2.1 Introducción | 16 |
| 1.3.2.2 Descripción del proceso | 18 |
| 1.3.2.3 Ventajas del proceso | 19 |

| | |
|---|----|
| 1.3.2.4 Limitaciones del proceso | 21 |
| 1.3.3 Soldadura por arco de metal y gas | 22 |
| 1.3.3.1 Definición y antecedentes generales | 22 |
| 1.3.3.2 Usos y ventajas | 23 |
| 1.3.3.3 Limitaciones | 25 |
| 1.3.3.4 Principios de operación | 26 |
| 1.3.4 Soldadura por arco con núcleo de fundente | 30 |
| 1.3.4.1 Fundamentos del proceso | 30 |
| 1.3.4.2 Historia | 32 |
| 1.3.4.3 Características principales | 34 |
| 1.3.5 Soldadura por arco sumergido | 39 |
| 1.3.5.1 Descripción | 39 |
| 1.3.5.2 Principios de funcionamiento | 40 |
| 1.3.5.3 Métodos generales | 42 |
| 1.3.5.3.1 Soldadura semiautomática | 43 |
| 1.3.5.3.2 Soldadura automática | 43 |
| 1.3.5.3.3 Soldadura mecanizada | 44 |

CAPÍTULO II.- ELECTRODOS PARA LA SOLDADURA ELÉCTRICA POR ARCO **45**

2.1 Electrodos cubiertos para soldadura por arco de metal protegido **45**

2.2 Clasificación de los electrodos cubiertos **48**

| | |
|---|-----------|
| 2.2.1 Electrodo de acero al carbono | 50 |
| 2.2.2 Electrodo de acero de baja aleación | 52 |
| 2.2.3 Electrodo de acero resistente a la corrosión | 54 |
| 2.2.4 Electrodo de níquel y aleaciones de níquel | 58 |
| 2.2.5 Electrodo de aluminio y aleaciones de aluminio | 60 |
| 2.2.6 Electrodo de cobre y aleaciones de cobre | 61 |
| 2.2.7 Electrodo para hierro colado | 63 |
| 2.2.8 Electrodo de recubrimiento | 64 |
| 2.3 Electrodo para soldadura por arco de tungsteno y gas | 66 |
| 2.4 Clasificación y selección de los electrodos de tungsteno | 66 |
| 2.4.1 Electrodo EWP | 71 |
| 2.4.2 Electrodo EWTh | 71 |
| 2.4.3 Electrodo Ewce | 73 |
| 2.4.4 Electrodo Ewla | 73 |
| 2.4.5 Electrodo Ewzr | 74 |
| 2.4.6 Electrodo EWG | 75 |
| 2.5 Electrodo para soldadura por arco de metal y gas | 75 |
| 2.6 Selección del electrodo para soldadura por arco de metal y gas | 80 |
| 2.6.1 Composición del electrodo para GMAW | 81 |
| 2.6.2 Alambres tubulares para GMAW | 84 |
| 2.7 Electrodo con núcleo de fundente: Generalidades | 84 |
| 2.8 Clasificación y selección de los electrodos para soldadura por arco con núcleo de fundente | 89 |

| | |
|---|------------|
| 2.8.1 Electrodo de acero dulce | 89 |
| 2.8.2 Electrodo de acero de baja aleación | 98 |
| 2.8.3 Electrodo para recubrimiento | 103 |
| 2.8.4 Electrodo de acero inoxidable | 104 |
| 2.8.5 Electrodo con base en níquel | 107 |
| 2.8.6 Protección contra la humedad | 107 |
| 2.9 Electrodo para soldadura por arco sumergido | 108 |
| 2.9.1 Electrodo y fundente de acero al carbono | 109 |
| 2.9.2 Electrodo y fundente para aceros de baja aleación | 113 |
| 2.9.3 Electrodo y fundente de acero inoxidable | 114 |
| 2.9.4 Electrodo y fundente para níquel | 115 |
| | |
| <u>CAPÍTULO III.- ELEMENTOS EN COSTOS DE SOLDADURA</u> | 116 |
| | |
| 3.1 Metal de soldadura necesario para las uniones | 117 |
| 3.2 Requerimientos de materiales diversos | 125 |
| 3.2.1 Fundentes | 125 |
| 3.2.2 Gas de protección | 126 |
| 3.2.3 Otros materiales | 128 |
| 3.3 Tiempo y mano de obra necesarios | 128 |
| 3.4 Costos de electricidad y gastos generales | 130 |

**CAPÍTULO IV.- MÉTODOS PARA DETERMINAR LOS COSTOS
DE SOLDADURA**

| | |
|--|------------|
| 4.1 Factor operador | 133 |
| 4.1.1 Importancia del factor operador | 137 |
| 4.2 Requerimiento y costo del metal de aporte | 142 |
| 4.3 Costos de materiales diversos | 151 |
| 4.3.1 Fundente | 151 |
| 4.3.2 Gas de protección | 154 |
| 4.3.3 Costos de otros materiales | 155 |
| 4.4 Costos de mano de obra | 155 |
| 4.5 Datos estándar | 164 |
| 4.6 Costos de electricidad | 165 |
| 4.7 Costos por gastos generales | 168 |

**CAPÍTULO V.- SISTEMA PROPUESTO PARA LA
DETERMINACIÓN DEL TIPO DE ELECTRODO
A UTILIZAR Y PARA EL CÁLCULO DE LOS
COSTOS DE SOLDADURA AL ARCO**

| | |
|---|------------|
| 5.1 Objetivos | 171 |
| 5.2 Diseño del sistema propuesto | 172 |
| 5.2.1 Generalidades | 172 |

| | |
|--|------------|
| 5.2.2 Descripción del sistema propuesto | 173 |
| 5.3 Lenguaje utilizado | 174 |
| 5.4 Utilización del sistema | 176 |
| 5.4.1 Nociones generales | 176 |
| 5.4.2 Características del sistema | 177 |
| 5.4.2.1 Fácil de operar | 177 |
| 5.4.2.2 Rápido | 178 |
| 5.4.2.3 Seguro | 179 |
| 5.4.2.4 Recomendaciones | 179 |
| | |
| <u>CAPÍTULO VI.- REDUCCIÓN DE COSTOS DE SOLDADURA</u> | 181 |
| | |
| 6.1 Consideraciones a tener en cuenta en el diseño de las construcciones soldadas | 182 |
| 6.2 Consideraciones a tener en cuenta en las fabricaciones de la soldadura | 188 |
| 6.3 Consideraciones a tener en cuenta en el procedimiento de la soldadura | 189 |
| 6.4 Consideraciones para optimizar las operaciones de manufactura | 190 |
| | |
| CONCLUSIONES | |
| BIBLIOGRAFÍA | |

ANEXOS

Apéndice A: Requerimientos para instalar el sistema

Apéndice B: Manual del usuario

Apéndice C: Fórmulas y ejemplos

Apéndice D: Tablas

INTRODUCCIÓN

En el trabajo realizado se seleccionan y clasifican los electrodos de los diversos procesos de soldadura al arco de acuerdo con las normas emitidas por la American Welding Society; así como también se hace un estudio de todos los elementos básicos que conforman los costos de soldadura al arco.

El trabajo ha sido dividido en seis capítulos.

El capítulo I trata acerca de la conformación por soldadura, la clasificación de los diversos procesos de soldadura y de manera muy especial de los principios de funcionamiento de los procesos de soldadura al arco.

En el capítulo II se ha realizado un estudio acerca de la clasificación y selección de los electrodos para procesos de soldadura al arco de acuerdo a las normas que establece la American Welding Society.

En el capítulo III se ha hecho un estudio acerca de todos los elementos básicos que conforman los costos de soldadura al arco.

En el capítulo IV se ha realizado un estudio acerca de los métodos para calcular los costos de soldadura al arco y se presentan las fórmulas para calcular dichos costos

En el capítulo V se presenta información acerca del programa propuesto para determinar el tipo de electrodo y para calcular los costos de soldadura al arco.

En el capítulo VI se da una serie de recomendaciones para reducir los costos de soldadura al arco.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

La última parte de este trabajo está constituido por los apéndices, que presentan el manual del usuario del software realizado, tablas, fórmulas y algunos ejemplos para calcular costos de soldadura utilizando dicho software.

CAPÍTULO I

CONFORMACIÓN POR SOLDADURA

1.1.- 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.

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 está “fundido”.

Lo primero que hay que comprender de la ciencia de la soldadura es que 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, p.ej. fundición gris. Debido a ello gran parte de las técnicas de soldadura, están enfocados a prevenir la fragilidad de la zona fundida.

En una soldadura el metal adyacente al cordón depositado no sufre fusión pero se ve sometido a un calentamiento a altas temperaturas, lo que produce que dicha zona sea afectada térmicamente. En resumen: una soldadura supone un proceso de fundición en el material de aportación y un tratamiento térmico en los alrededores.

Cuando los metales se calientan hasta ponerse al rojo (820°C) se producen 2 efectos perjudiciales:

- Tendencia a combinarse con O₂ (oxidación)
- Absorción de gases, O₂, N₂, H₂ (que al ser absorbido por el metal lo fragilizan, estos gases pueden ser tolerados en pequeñísimas cantidades).

Por eso interesa métodos de soldadura que no calienten el metal (p.ej. la ultrasónica o la unión con adhesivo), o que calientan el metal tan rápido que no hay lugar a la producción de los indeseables efectos (p.ej. soldadura por inducción o por láser) o que suelden el metal sin gases atmosféricos.

Existe también 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. Supongamos p.ej. que soldamos 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.

Ahora bien:

- ¿Qué ocurre con este nuevo metal diluido?
- ¿ Es lo bastante resistente para mantener la unión?
- ¿ Es frágil?
- ¿ Se corroerá?
- ¿ Cuánta dilución ha tenido lugar, que metal se ha obtenido?

Todas estas preguntas no pueden ser contestadas con sólo observar la forma del cordón de soldadura, sino que debemos recurrir a la metalurgia para poder resolverlas.

1.2.- Clasificación de los procesos de soldadura

A continuación vamos a clasificar los diversos procesos de soldadura:

a.- Heterogénea o de Aleación:

a.1.- Soldadura Blanda

a.2.- Soldadura Fuerte:

a.2.1.- Amarilla

a.2.2.- Con Plata

b.- Homogénea (Autógenas):

b.1.- Por Presión

b.1.1.- En Frío

b.1.2.- En Caliente (Forja)

b.2.- Por Fusión

b.2.1.- Con Gases al Soplete

b.2.1.1.- Oxiacetilénica

b.2.1.2.- Oxhídrica

b.2.1.3.- Oxipropánica

b.2.1.4.- Oxiacetogénica

b.2.2.- Eléctrica al Arco

b.2.2.1.- Con Electrodo Revestidos (SMAW)

b.2.2.2.- Con Electrodo Desnudos (SAW y FCAW)

b.2.2.3.- Con Gases Protectores (GTAW y GMAW)

b.3.- Por Presión y Fusión

b.3.1.- Aluminotérmica

b.3.2.- Por Resistencia Eléctrica

b.3.2.1.- Por Puntos

b.3.2.2.- Por Costura

b.3.2.3.- A Tope

c.- Especiales

c.1.- Por Rozamiento

c.2.- Por Ultrasonido

c.3.- Por Radiación Electrónica

c.4.- Por Explosión

c.5.- Con Láser

c.6.- Con Plasma

c.7.- Por Electrodeposición

Los procesos de soldadura también se pueden clasificar de acuerdo al método de aplicación en:

-Manual

-Semiautomática

-Automática

1.3.- Procesos de soldadura al arco

De todos los procesos de soldadura anteriormente mencionados nos van a interesar únicamente los procesos de soldadura al arco, por lo que se ha creído conveniente realizar una descripción general de los principios de funcionamiento de cada proceso así como de sus principales ventajas y limitaciones.

1.3.1.- Soldadura por arco de metal protegido

1.3.1.1.-Definición y descripción general

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.

El núcleo del electrodo cubierto consiste en una varilla de metal sólida de material estirado o colado, o bien una varilla fabricada encerrando metal en polvo en una funda metálica. La varilla del núcleo conduce la corriente eléctrica al arco y suministra metal de aporte a la unión. Las funciones principales de la cobertura del electrodo son estabilizar el arco y proteger el metal derretido de la atmósfera por medio

de los gases que se crean cuando el recubrimiento se descompone por el calor del arco.

La protección empleada, junto con otros ingredientes de la cobertura y del alambre del núcleo, controlan en gran medida las propiedades mecánicas, la composición química y la estructura metalúrgica del metal de soldadura, así como las características de arco del electrodo. La composición de la cobertura del electrodo varía dependiendo del tipo de electrodo.

1.3.1.2.- Principios de funcionamiento

La soldadura por arco de metal protegido es por mucho el más ampliamente utilizado de los procesos de soldadura por arco. Aprovecha el calor del arco para derretir el metal base y la punta de un electrodo consumible cubierto. El electrodo y la pieza forman parte de un circuito eléctrico que se ilustra en la figura 1.1. Este circuito comienza con la fuente de potencia eléctrica e incluye los cables de soldadura, un portaelectrodos, una conexión con la pieza de trabajo, la pieza a soldar y un electrodo de soldadura por arco. Uno de los dos cables de la fuente de potencia se conecta a la pieza; el otro se conecta al portaelectrodos.

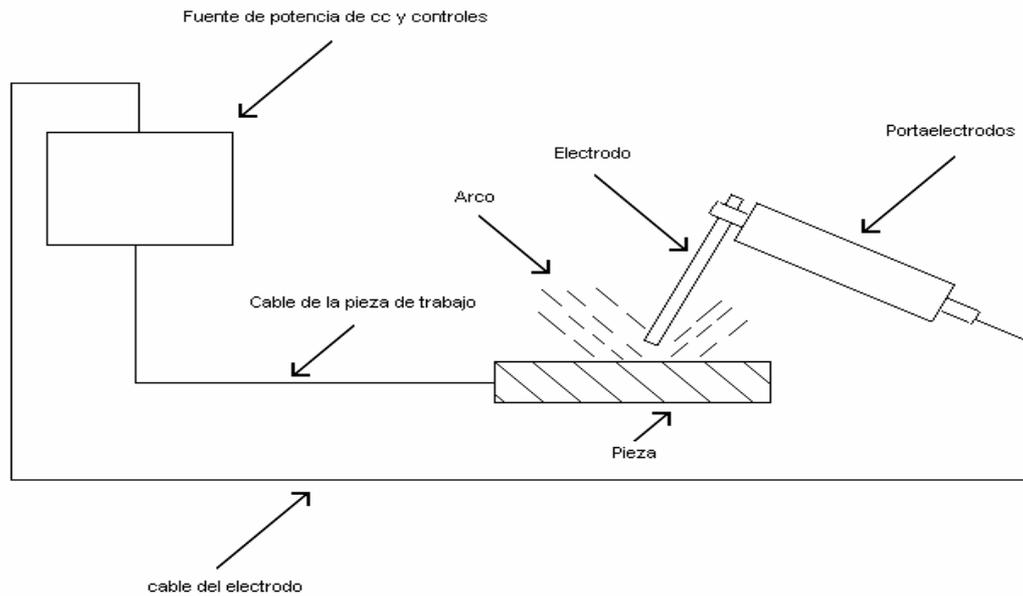


Figura 1.1.- Elementos de un circuito de soldadura típico para soldadura de metal protegido

La soldadura se inicia cuando se enciende un arco eléctrico entre la punta del electrodo y la pieza. El intenso calor del arco derrite la punta del electrodo y la superficie de la pieza. En la punta del electrodo se forman con rapidez pequeños glóbulos de metal fundido, los cuales se transfieren a través del chorro del arco hasta el charco de soldadura fundida. De esta forma se deposita metal de aporte conforme el electrodo se va consumiendo. El arco se mueve sobre la pieza con una longitud de arco y velocidad de desplazamiento apropiadas, derritiendo y fusionando una porción de metal base y añadiendo continuamente metal de aporte. Puesto que el arco es una de las fuentes de calor que alcanzan las más

altas temperaturas [se han medido temperaturas por encima de 5000 °C (9000 °F) en su centro], la fusión del metal base se efectúa en forma casi instantánea. Si las soldaduras se hacen en posición plana u horizontal, la transferencia de metal es inducida por la fuerza de la gravedad, la expansión del gas, fuerzas eléctricas y electromagnéticas y la tensión superficial. Si se suelda en otras posiciones, la gravedad actuará oponiéndose a las demás fuerzas.

El proceso requiere suficiente corriente eléctrica para derretir tanto el electrodo como una cantidad adecuada del metal base. También requiere un espacio apropiado entre la punta del electrodo y el metal base o el charco de soldadura. Estos requisitos son necesarios para establecer las condiciones en que se llevará a cabo la coalescencia. Los tamaños y tipos de electrodos para soldadura por arco de metal protegido definen los requerimientos de voltaje (dentro del intervalo global de 16 a 40 V) y de amperaje (dentro del intervalo global de 20 a 550 A) del arco.

La corriente puede ser alterna o continua, dependiendo del electrodo empleado, pero la fuente de potencia debe ser capaz de controlar el nivel de corriente dentro de un intervalo razonable para responder a las complejas variables del proceso de soldadura en sí.

1.3.1.3.- Protección del arco

La acción de protección del arco, ilustrada en la figura 1.2, es en esencia la misma para todos los electrodos, pero el método específico de protección y el volumen de escoria producido varían de un tipo a otro. El grueso de los materiales de cobertura de algunos electrodos se convierte en gas por el calor del arco, y sólo se produce una pequeña cantidad de escoria. Los electrodos de este tipo dependen en buena medida de un escudo gaseoso para evitar la contaminación por parte de la atmósfera. El metal de soldadura de tales electrodos puede identificarse por la capa incompleta o clara de escoria que cubre a la franja.

En los electrodos situados al otro extremo, el grueso de la cobertura se convierte en escoria por el calor del arco, y sólo se produce un volumen pequeño de gas protector. Los diminutos glóbulos de metal que se transfieren por el arco están cubiertos totalmente por una película delgada de escoria fundida, la cual flota en la superficie del charco de soldadura porque es más ligera que el metal. La escoria se solidifica después de hacerlo el metal de soldadura. Las soldaduras hechas con estos electrodos se identifican por los gruesos depósitos de escoria que cubren por completo las franjas de soldadura. Entre estos extremos hay una amplia variedad de tipos de electrodos, cada uno con una combinación diferente de protección por escoria y por gas.

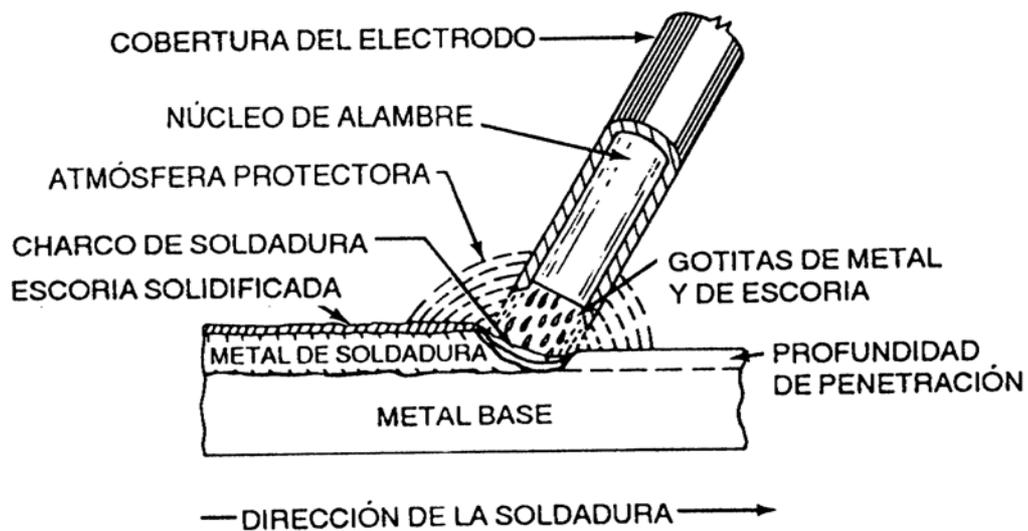


Figura 1.2.- Acción protectora del arco en la soldadura por arco de metal protegido

Las variaciones en la proporción de protección por escoria y por gas también influyen en las características de soldadura de los electrodos cubiertos. Los electrodos que producen mucha escoria pueden transportar un amperaje elevado y ofrecen altas tasas de deposición, lo que los hace ideales para soldar piezas gruesas en la posición plana. Los electrodos que producen poca escoria se usan con amperajes menores y ofrecen tasas de deposición más bajas. Estos electrodos producen un charco de soldadura más chico y son apropiados para soldar en cualquier posición. Por las diferencias en las características de soldadura, un tipo de electrodo cubierto será por lo regular el más adecuado para una aplicación dada.

1.3.1.4.- Capacidades y limitaciones del proceso

La soldadura por arco de metal protegido es uno de los procesos más ampliamente utilizados, sobre todo para soldaduras cortas en trabajos de producción, mantenimiento y reparación, y para construcción en el campo. Las siguientes son ventajas del proceso:

- 1.- El equipo es relativamente sencillo, económico y portátil.
- 2.- El electrodo cubierto proporciona el metal de aporte y el mecanismo para proteger dicho material y el metal de soldadura contra una oxidación perjudicial durante la soldadura.
- 3.- No se requiere protección con gas auxiliar ni un fundente granular.
- 4.- El proceso es menos sensible al viento y las corrientes de aire que los procesos de soldadura por arco protegidos con gas.
- 5.- Se puede utilizar en áreas de acceso limitado.
- 6.- El proceso es adecuado para la mayor parte de los metales y aleaciones de uso común.

Existen electrodos de SMAW para soldar aceros al carbono y de baja aleación, aceros inoxidable, hierro colado, cobre y níquel y sus aleaciones, y para algunas aplicaciones de aluminio. Los metales de bajo punto de fusión, como el plomo, el estaño y el cinc, y sus aleaciones, no se sueldan con SMAW porque el intenso calor del arco es demasiado para ellos. El proceso no es apropiado para metales reactivos como el

titanio, zirconio, tántalo y colombio porque la protección es insuficiente para evitar que la soldadura se contamine con oxígeno.

Los electrodos cubiertos se producen en longitudes de 230 a 460 mm (9 a 18 pulg). Al encenderse inicialmente el arco, la corriente fluye a lo largo de todo el electrodo; por tanto, la cantidad de corriente que puede aprovecharse está limitada por la resistencia eléctrica del ambiente del núcleo. Un amperaje excesivo sobrecalienta el electrodo y descompone su cobertura. Esto, a su vez, altera las características del arco y de la protección que se obtiene. Por esta limitación, las tasas de deposición suelen ser más bajas que con un proceso como GMAW.

El ciclo de trabajo del operador y las tasas de deposición globales para los electrodos cubiertos suelen ser menores que los alcanzables con un proceso de electrodo continuo con FCAW. Esto se debe a que los electrodos sólo pueden consumirse hasta una longitud mínima. Una vez alcanzada esa longitud, el soldador deberá desechar la cola de electrodo no consumida e insertar un electrodo nuevo en el portaelectrodos. Además, casi siempre debe eliminarse escoria en los puntos donde se inicia y se detiene, y antes de depositar una franja de soldadura junto a otra previamente depositada, o sobre ella.

1.3.2.- Soldadura por arco de tungsteno y gas

1.3.2.1.- Introducción

La soldadura por arco de tungsteno y gas (gas tungsten arc welding, GTAW) es un proceso de soldadura por arco que utiliza un arco entre un electrodo de tungsteno (no consumible) y el charco de soldadura. El proceso se emplea con un gas protector y sin aplicación de presión. La adición de metal de aporte es opcional. La figura 1.3 muestra el proceso de soldadura por arco de tungsteno y gas.

El proceso GTAW se ha vuelto una herramienta indispensable en muchas industrias en virtud de la alta calidad de las soldaduras producidas y del bajo costo del equipo. Nuestro propósito es presentar los fundamentos del proceso GTAW, el equipo, sus aplicaciones, ventajas y limitaciones.

La posibilidad de utilizar helio para proteger un arco de soldadura y el charco de metal fundido se investigó por primera vez en la década de 1920. Sin embargo, nada se hizo con este método hasta la segunda guerra mundial, cuando en la industria de los aviones se hizo imperativo encontrar una forma de unir materiales reactivos como el aluminio y el magnesio sin emplear remaches. Con la ayuda de un electrodo de tungsteno y potencia de arco de corriente continua con el electrodo

negativo, se logró producir una fuente de calor estable y eficiente con la que se podían realizar soldaduras excelentes.

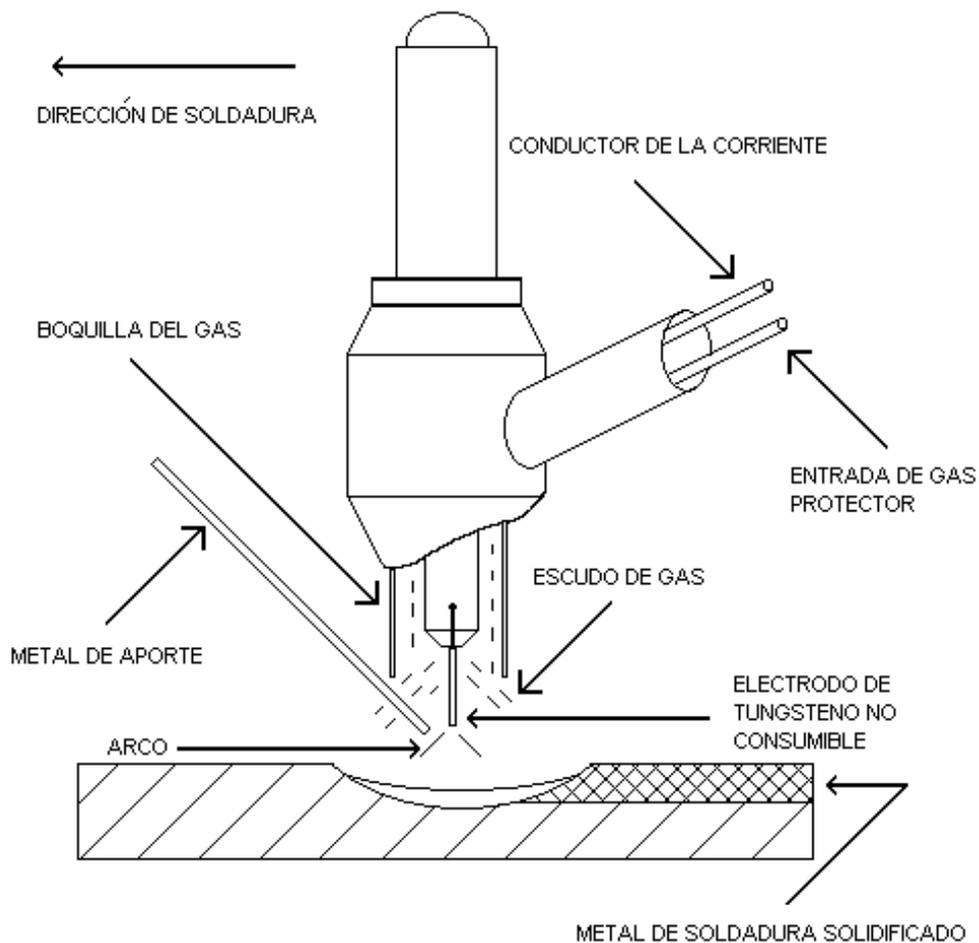


Figura 1.3.- Operaciones de soldadura por arco de tungsteno y gas

Se escogió el helio para crear la protección necesaria porque, en esa época, era el único gas inerte disponible en abundancia. El proceso ha recibido también los nombres de soldadura con electrodo no

consumible y soldadura con tungsteno y gas inerte (TIG), pero la terminología de la AWS para este proceso es soldadura por arco de tungsteno y gas (GTAW) porque en algunas aplicaciones es posible usar mezclas de gases protectores que no son inertes.

Desde que se inventó el proceso se han hecho numerosas mejoras a los procedimientos y al equipo. Se han creado fuentes de potencia de soldadura específicamente para el proceso. Algunas suministran potencia de c.c a pulsos y c.a de polaridad variable. Se inventaron sopletes enfriados por agua y enfriados por gas. El electrodo de tungsteno se ha aleado con cantidades pequeñas de elementos activos para aumentar su emisividad; con esto ha mejorado el encendido del arco, la estabilidad del arco y la durabilidad de los electrodos. Se han identificado mezclas de gases protectoras que mejoran el rendimiento de la soldadura. Los investigadores están tratando de lograr otros avances en las áreas de control automático, visión y sensores de penetración, y controles de longitud de arco.

1.3.2.2.- Descripción del proceso

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

contaminación por parte de la atmósfera. El arco eléctrico se produce por el paso de corriente a través del gas protector ionizado, que conduce la electricidad. El arco se establece entre la punta del electrodo y la pieza. El calor generado por el arco funde el metal base. Una vez establecido el arco y el charco de soldadura, el soplete se mueve a lo largo de la unión y el arco funde progresivamente las superficies de empalme. Si se usa un alambre de aporte, se alimenta por el borde delantero del charco de soldadura para llenar la unión.

Todas las configuraciones de GTAW tienen en común cuatro componentes básicos, como puede verse en las figuras 1.3 y 1.4:

- 1.- Soplete
- 2.- Electrodo
- 3.- Fuente de potencia para soldadura
- 4.- Gas protector

1.3.2.3.- Ventajas del proceso

- 1.- Produce soldaduras de muy buena calidad, generalmente libre de defectos.
- 2.- Está libre de las salpicaduras que ocurren con otros procesos de soldadura por arco.

- 3.- Puede usarse con metal de aporte o sin él, según lo requiera la aplicación específica.
- 4.- Ofrece un control excelente de la penetración de la pasada de raíz.
- 5.- Puede producir soldaduras autógenas económicas a altas velocidades.
- 6.- Puede usar fuentes de potencia de costo relativamente bajo.
- 7.- Permite controlar de manera precisa las variables de soldadura.
- 8.- Puede servir para soldar casi todos los metales, incluso las uniones de metales disímiles.
- 9.- Permite controlar en forma independiente la fuente de calor y las adiciones de metal de aporte.

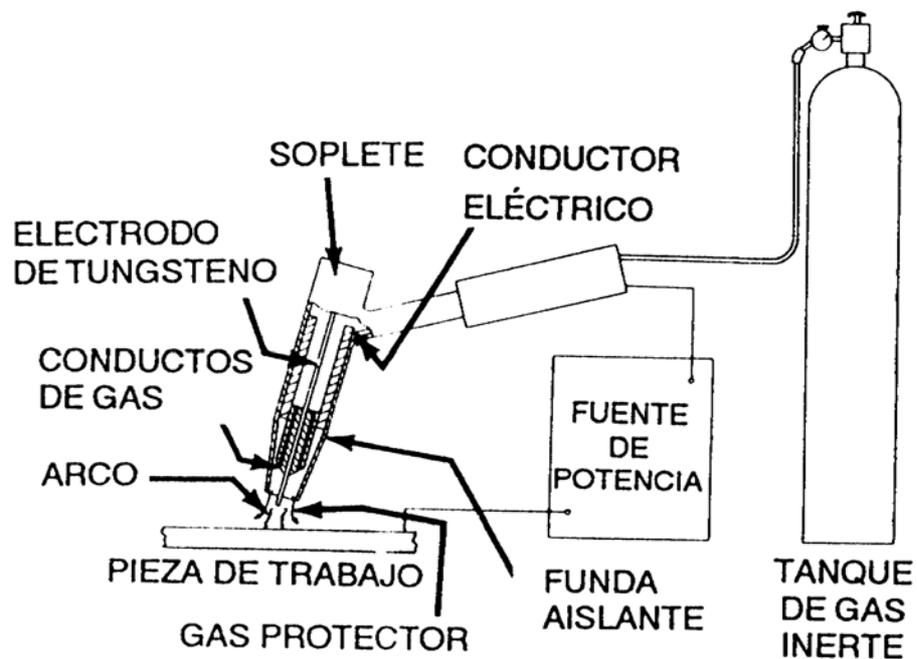


Figura 1.4.- Disposición del equipo para soldadura por arco de tungsteno y gas

1.3.2.4.- Limitaciones del proceso

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

Entre los problemas potenciales del proceso están:

- 1.- Puede haber inclusiones de tungsteno si se permite que el electrodo haga contacto con el charco de soldadura.
- 2.- El metal de soldadura puede contaminarse si no se mantiene como es debido el escudo de gas protector alrededor del metal de aporte.
- 3.- Puede haber contaminación o porosidad causadas por fugas del refrigerante en sopletes enfriados por agua.
- 4.- Puede haber golpe o desviación del arco, como en otros procesos.

1.3.3.- Soldadura por arco de metal y gas

1.3.3.1.- Definición y antecedentes generales

La soldadura por arco de metal y gas (gas metal arc welding, GMAW) es un proceso de soldadura por arco que emplea un arco entre un electrodo de metal de aporte y el charco de soldadura. El proceso se realiza bajo un escudo de gas suministrado externamente y sin aplicación de presión.

El concepto básico de GMAW surgió en la década de 1920, pero apenas en 1948 estuvo disponible comercialmente. En un principio se le consideraba básicamente un proceso de electrodo de metal desnudo de diámetro pequeño con alta densidad de corriente que empleaba un gas inerte para proteger el arco. La aplicación primaria de este proceso fue en la soldadura de aluminio. Por lo anterior, se acuñó el término MIG (metal gas inerte) y todavía algunos lo usan para referirse a este proceso. Entre los avances posteriores del proceso están la operación con bajas densidades de corriente y con corriente continua a pulsos, la aplicación a una gama más amplia de materiales y el empleo de gases y mezclas de gases reactivos (sobre todo CO₂). Este último avance condujo a la aceptación formal del término soldadura por arco de metal y gas (GMAW) para el proceso, ya que se usan gases tanto inertes como reactivos.

Una variación del proceso GMAW emplea un electrodo tubular dentro del cual hay un núcleo constituido principalmente por polvos metálicos (electrodo con núcleo de metal). Estos electrodos requieren un escudo de gas para proteger el charco de soldadura de contaminación por parte de la atmósfera.

La American Welding Society considera los electrodos con núcleo de metal como un segmento de GMAW. Algunas asociaciones del ramo en otros países agrupan los electrodos con núcleo de metal junto con los electrodos con núcleo de fundente. GMAW puede operar en modalidades mecanizada, semiautomática o automática. Todos los metales de importancia comercial, como el acero al carbono, el acero de baja aleación de alta resistencia mecánica, el acero inoxidable, el aluminio, el cobre, el titanio y las aleaciones de níquel se pueden soldar en cualquier posición con este proceso escogiendo el gas protector, electrodo y variables de soldadura apropiados.

1.3.3.2.- Usos y ventajas

Los usos del proceso, desde luego, están regidos por sus ventajas; las más importantes de éstas son:

- 1.- Es el único proceso de electrodo consumible que puede servir para soldar todos los metales y aleaciones comerciales.

- 2.- GMAW no tiene la restricción de tamaño de electrodo limitado que se presenta con la soldadura por arco de metal protegido.
- 3.- Puede soldarse en todas las posiciones, algo que no es posible con la soldadura por arco sumergido.
- 4.- Se logran tasas de deposición bastante más altas que con la soldadura por arco de metal protegido.
- 5.- Las velocidades de soldadura son más altas que con soldadura por arco de metal protegido gracias a la alimentación continua del electrodo y a las mayores tasas de deposición del metal de aporte.
- 6.- Como la alimentación de alambre es continua, es posible depositar soldaduras largas sin parar y volver a comenzar.
- 7.- Cuando se usa transferencia por aspersion, es posible lograr mayor penetración que con la soldadura por arco de metal protegido, lo que puede permitir el uso de soldaduras de filete más pequeñas para obtener una resistencia mecánica equivalente.
- 8.- Casi no se requiere limpieza después de la soldadura porque no se produce mucha escoria.

Estas ventajas hacen al proceso ideal para aplicaciones de soldadura en alto volumen de producción y automatizadas. Esto se ha hecho cada vez más obvio con la llegada de la robótica, donde GMAW ha sido el proceso predominante.

1.3.3.3.- Limitaciones

Como en cualquier proceso de soldadura, hay ciertas limitaciones que restringen el uso de la soldadura por arco de metal y gas. Entre ellas están las siguientes:

- 1.- El equipo de soldadura es más complejo, más costoso y menos transportable que el de SMAW.
- 2.- GMAW es más difícil de usar en lugares de difícil acceso porque la pistola soldadora es más grande que un portaelectrodos de arco de metal protegido, y la pistola debe estar cerca de la unión [entre 10 y 19 mm (3/8 y 3/4 pulg)] para asegurar que el metal de soldadura esté bien protegido.
- 3.- El arco de soldadura debe protegerse contra corrientes de aire que puedan dispersar el gas protector. Esto limita las aplicaciones en exteriores a menos que se coloquen barreras protectoras alrededor del área de soldadura.
- 4.- Los niveles relativamente altos de calor radiado y la intensidad del arco pueden hacer que los operadores se resistan a utilizar el proceso.

1.3.3.4.-Principios de operación

El proceso GMAW se basa en la alimentación automática de un electrodo continuo consumible que se protege mediante un gas de procedencia externa. El proceso se ilustra en la figura 1.5. Una vez que el operador ha hecho los ajustes iniciales, el equipo puede regular automáticamente las características eléctricas del arco. Por todo esto, en efecto, los únicos controles manuales que el soldador requiere para la operación semiautomática son los de velocidad y dirección del desplazamiento, así como también el posicionamiento de la pistola. Cuando se cuenta con equipo y ajustes apropiados, la longitud del arco y la corriente (es decir, la velocidad de alimentación del alambre) se mantienen automáticamente.

El equipo necesario para GMAW se muestra en la figura 1.6. Los componentes básicos del equipo son la unidad de pistola soldadora y cables, la unidad de alimentación del electrodo, la fuente de potencia y la fuente de gas protector.

La pistola guía el electrodo consumible, conduce la corriente eléctrica y el gas protector a la pieza, de modo que proporciona la energía para establecer y mantener el arco y fundir el electrodo, además de la protección necesaria contra la atmósfera del entorno. Se emplean dos combinaciones de unidad de alimentación de electrodo y fuente de

potencia para lograr la autorregulación de la unidad del arco que se desea. Generalmente, esta regulación se efectúa con una fuente de potencia de voltaje constante (que por lo general tiene una curva volt-ampere prácticamente plana) en conjunción con una unidad de alimentación de electrodo de velocidad constante. Como alternativa, una fuente de potencia de corriente constante proporciona una curva volt-ampere de caída, y la unidad de alimentación del electrodo se controla por medio del voltaje del arco.

Con la combinación de potencial constante/alimentación del alambre constante, los cambios en la posición del soplete originan un cambio en la corriente de soldadura que coincide exactamente con el cambio en la extensión del electrodo, de modo que la longitud del arco no se modifica. Por ejemplo, si se aumenta la extensión del electrodo al retirar el soplete, la salida de corriente de la fuente de potencia se reduce, con lo que se mantiene el mismo calentamiento por resistencia del electrodo.

En el sistema alternativo, la autoregulación se efectúa cuando las fluctuaciones del voltaje de arco reajustan los circuitos de control del alimentador, los cuales modifican de manera apropiada la velocidad de alimentación del alambre. En algunos casos (como cuando se suelda aluminio), puede ser preferible apartarse de estas combinaciones estándar y acoplar una fuente de potencia de corriente constante con una

unidad de alimentación del electrodo de velocidad constante. Esta combinación no tiene mucha capacidad de autorregulación, y por tanto requiere operadores más hábiles en operaciones de soldadura automática. Pese a ello, algunos usuarios opinan que esta combinación ofrece un grado de control sobre la energía del arco (corriente) que puede ser importante para resolver el problema que implica la elevada conductividad térmica de los metales base de aluminio.

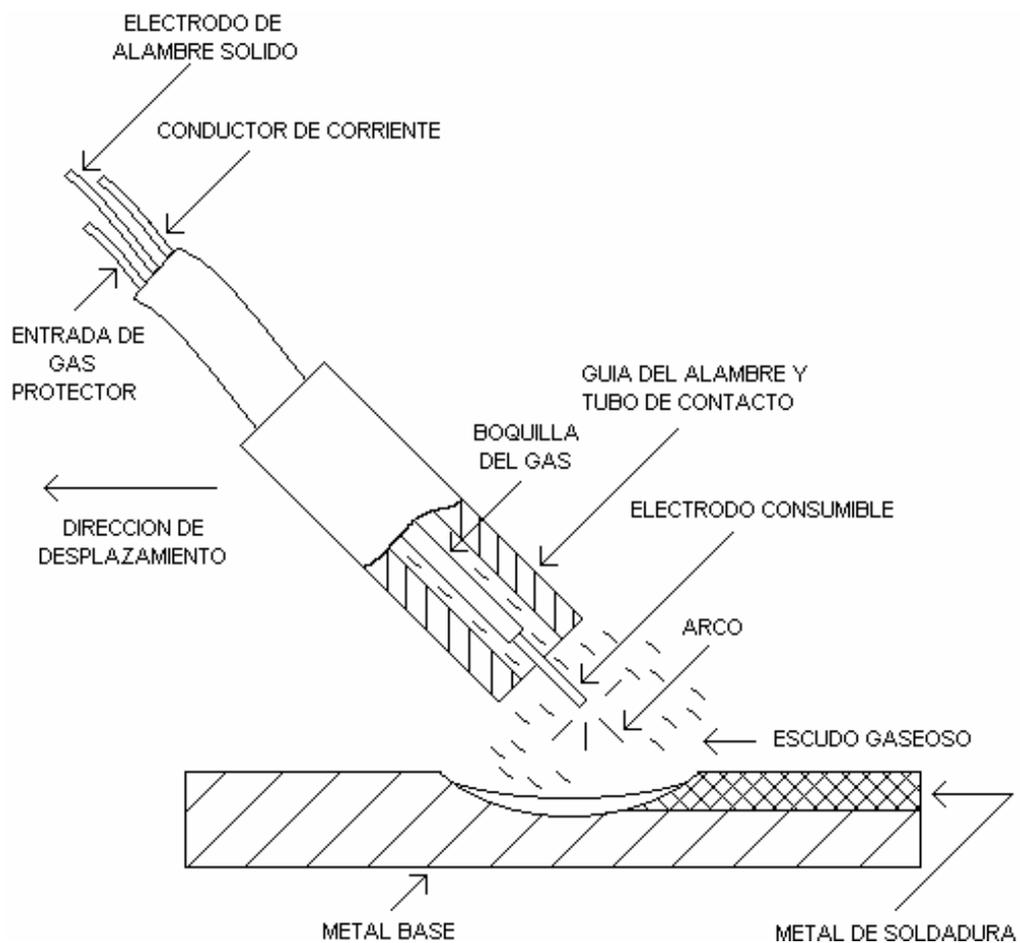


Figura 1.5.- Proceso de soldadura por arco de metal y gas

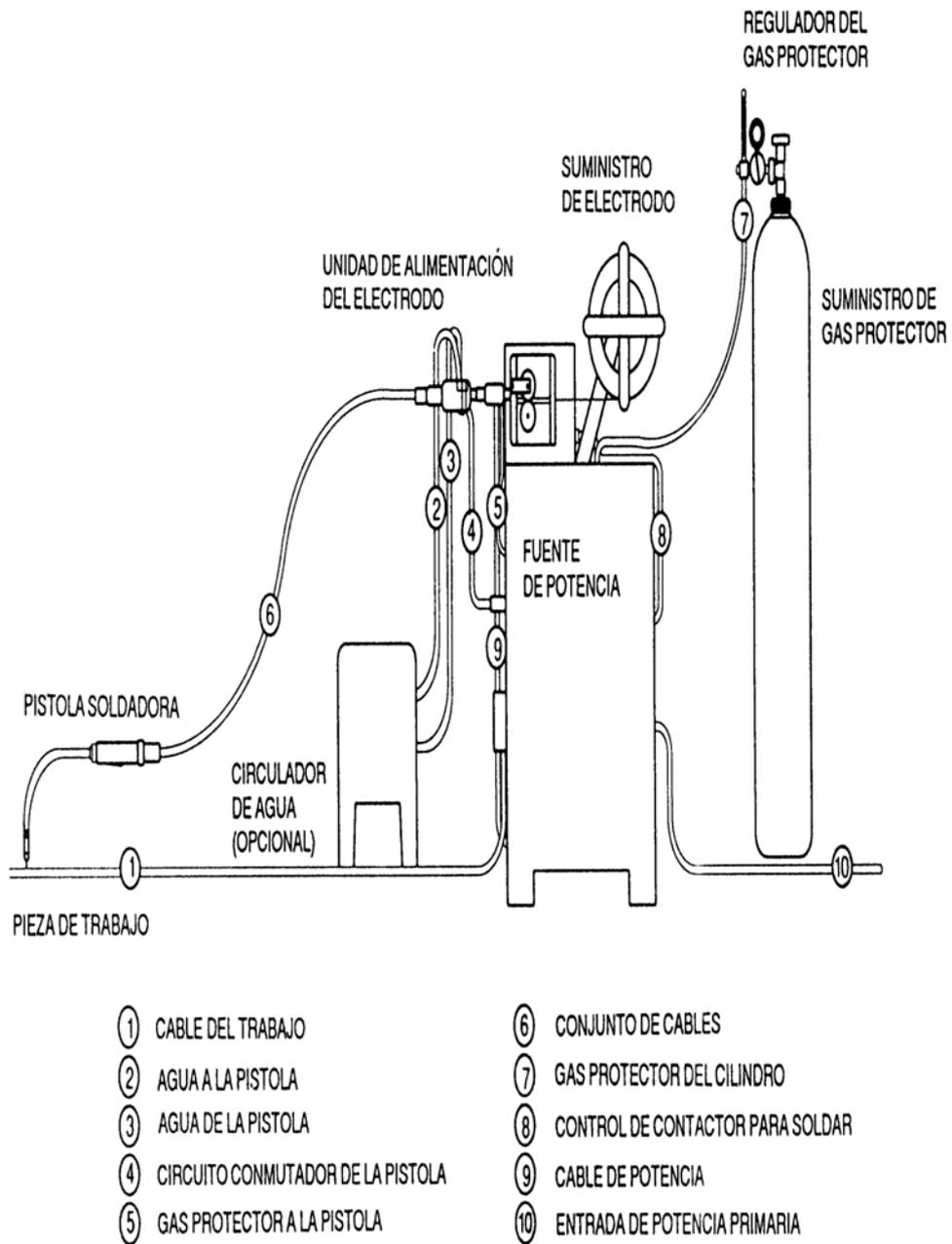


Figura 1.6.- Diagrama del equipo para soldadura por arco de metal y gas

1.3.4.- Soldadura por arco con núcleo de fundente

1.3.4.1.- Fundamentos del proceso

La soldadura por arco con núcleo de fundente (flux cored arc welding, FCAW) es un proceso de soldadura por arco que aprovecha un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. Este proceso se emplea con protección de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin un escudo adicional de gas de procedencia externa, y sin aplicación de presión.

El electrodo con núcleo de fundente es un electrodo tubular de metal de aporte compuesto que consiste en una funda metálica y un núcleo con diversos materiales pulverizados. Durante la soldadura, se produce un manto de escoria abundante sobre la superficie de la franja de soldadura.

El aspecto que distingue al proceso FCAW de otros procesos de soldadura por arco es la inclusión de ingredientes fundentes dentro de un electrodo de alimentación continua. Las notables características de operación del proceso y las propiedades de la soldadura resultante se pueden atribuir al empleo de este tipo de electrodo.

Este capítulo no trata los electrodos con núcleo de metal, porque los polvos del núcleo apenas producen “islas” de escoria en la superficie de la franja de soldadura; por tanto, no se ajustan a la definición de los electrodos con núcleo de fundente. Los electrodos con núcleo metálico serán tratados en el capítulo II dentro de los electrodos para soldadura por arco de metal y gas.

El proceso FCAW tiene dos variaciones principales que difieren en su método de protección del arco y del charco de soldadura contra la contaminación por gases atmosféricos (oxígeno y nitrógeno). Una de ellas, la FCAW con autoprotección, protege el metal fundido mediante la descomposición y vaporización del núcleo de fundente en el calor del arco. El otro tipo, la FCAW con escudo de gas, utiliza un flujo de gas protector además de la acción del núcleo de fundente. En ambos métodos, el material del núcleo del electrodo proporciona una cubierta de escoria sustancial que protege el metal de soldadura durante su solidificación.

Los electrodos con núcleo de fundente también se usan en la soldadura electrogás (EWG), que es un proceso de soldadura de una sola pasada en dirección vertical ascendente que no describiremos por no ser materia de nuestro estudio.

Normalmente, la soldadura por arco con núcleo de fundente es un proceso semiautomático, aunque también se emplea para soldadura automática y mecanizada.

1.3.4.2.- Historia

Los procesos de soldadura por arco metálico con escudo de gas se han usado desde principios de la década de 1920. Experimentos realizados en esa época indicaron que las propiedades del metal de soldadura mejoraban significativamente si el arco y el metal de soldadura se protegían contra la contaminación por parte de la atmósfera. Sin embargo, la invención de los electrodos recubiertos a finales de esa década redujo el interés en los métodos con escudo de gas.

No fue sino hasta principios de los años cuarenta, con la introducción y aceptación comercial del proceso de soldadura por arco de tungsteno y gas, que resurgió el interés por los métodos con escudo de gas. Después en esa misma década, se comercializó con éxito el proceso de soldadura por arco de metal y gas. Los principales gases protectores entonces eran argón y helio.

Ciertas investigaciones realizadas sobre soldaduras manuales hechas con electrodo recubierto incluyeron un análisis del gas que se producía al desintegrarse la cobertura de los electrodos. Los resultados

de dichos análisis indicaron que el gas predominante en las emisiones de la cobertura era CO₂. Este descubrimiento pronto condujo al empleo de CO₂ como protección en el proceso de arco de metal y gas aplicado a aceros al carbono. Aunque los primeros experimentos con CO₂ como gas protector fracasaron, finalmente se desarrollaron técnicas que permitían su uso. La GMAW con escudo de dióxido de carbono apareció en el mercado a mediados de la década de 1950.

Aproximadamente en la misma época se combinó el escudo de CO₂ con un electrodo tubular relleno de fundente que resolvía muchos de los problemas que se habían presentado anteriormente. Las características de operación se mejoraron mediante la adición de los materiales del núcleo, y se elevó la calidad de las soldaduras al eliminarse la contaminación por la atmósfera. El proceso se presentó al público en la Exposición de la AWS efectuada en Buffalo, Nueva York, en mayo de 1954. Los electrodos y el equipo se refinaron y aparecieron prácticamente en su forma actual en 1957.

El proceso se está mejorando continuamente. Las fuentes de potencia y los alimentadores de alambre se han simplificado mucho y son más confiables que sus predecesores. Las nuevas pistolas son ligeras y resistentes. Los electrodos se mejoran día con día. Entre los avances más recientes están los electrodos de aleación y de diámetro pequeño [hasta 0.9 mm (0.035 pulg)].

1.3.4.3.- Características principales

Los beneficios de FCAW se obtiene al combinarse tres características generales:

- 1.- La productividad de la soldadura de alambre continuo.
- 2.-Las cualidades metalúrgicas que pueden derivarse de un fundente.
- 3.- Una escoria que sustenta y moldea la franja de soldadura.

El proceso FCAW combina características de la soldadura por arco de metal protegido (SMAW), la soldadura por arco de metal y gas (GMAW) y la soldadura por arco sumergido (SAW).

En las figuras 1.7 y 1.8 se muestran los elementos del proceso FCAW, así como las características que distinguen las dos variaciones principales [la versión con escudo de gas (figura 1.7) y con autoprotección (figura 1.8)].

En ambas figuras se destaca la fusión y deposición de metal de aporte y fundente, junto con la formación de una cubierta de escoria sobre el metal de soldadura.

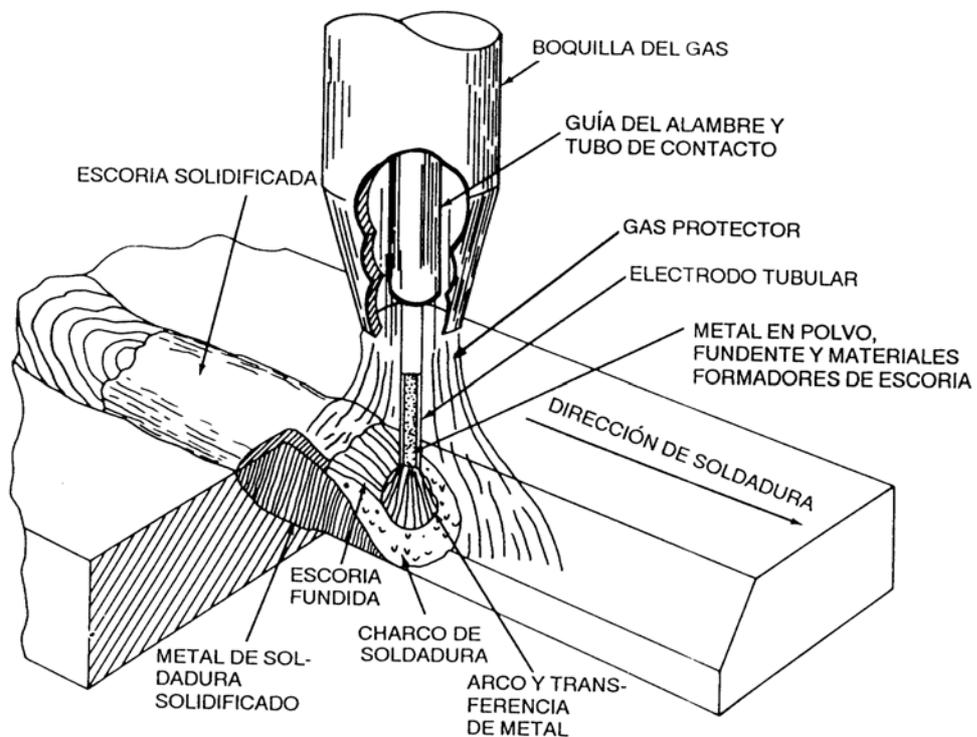


Figura 1.7.- Soldadura por arco con núcleo de fundente protegida con gas

En el método con escudo de gas (figura 1.7), el gas protector (por lo regular dióxido de carbono o una mezcla de carbón y dióxido de carbono) protege el metal fundido del oxígeno y el nitrógeno del aire al formar una envoltura alrededor del arco y sobre el charco de soldadura. Casi nunca es necesario desnitrificar el metal de soldadura porque el nitrógeno del aire queda prácticamente excluido. Es posible, empero, que

se genere cierta cantidad de oxígeno por la disociación de CO_2 para formar monóxido de carbono y oxígeno. Las composiciones de los electrodos incluyen desoxidantes que se combinan con cantidades pequeñas de oxígeno en el escudo de gas.

En el método con autoprotección que se muestra en la figura 1.8, la protección se obtiene a partir de ingredientes vaporizados del fundente que desplazan el aire y por la escoria que cubre las gotas de metal derretido y el charco de soldadura durante la operación. La producción de CO_2 y la introducción de agentes desoxidantes y desnitrurantes que proceden de ingredientes del fundente justo en la superficie del charco de soldadura explican porqué los electrodos con autoprotección pueden tolerar corrientes de aire más fuertes que los electrodos con escudo de gas. Es por esto que la FCAW con autoprotección es el método preferido para trabajo en el campo.

Una característica de ciertos electrodos con autoprotección es el empleo de extensiones de electrodo largas. La extensión del electrodo es el tramo del electrodo no fundido que se extiende más allá del extremo del tubo de contacto durante la soldadura. En general se usan extensiones de 19 a 95 mm (0.5 a 3.75 pulg) con los electrodos autoprotegidos, dependiendo de la aplicación.

Al incrementarse la extensión del electrodo aumenta el calentamiento por resistencia del electrodo. Esto precalienta el electrodo y reduce la caída de voltaje a través del arco. Al mismo tiempo, la corriente de soldadura baja, con la consecuente reducción en el calor disponible para fundir el metal base. La franja de soldadura que resulta es angosta y poco profunda, lo que hace al proceso ideal para soldar materiales de calibre delgado y para salvar huecos causados por un embonamiento deficiente. Si se mantiene la longitud (voltaje) del arco y la corriente de soldadura (subiendo el voltaje en la fuente de potencia e incrementando la velocidad de alimentación del electrodo), el aumento en la extensión del electrodo elevará la tasa de deposición.

Con ciertos tipos de electrodos con núcleo de fundente y autoprotección, la polaridad recomendable es c.c.e.n (polaridad directa), ya que produce menor penetración en el metal base . Esto hace posible usar con éxito electrodos de diámetro pequeño [de 0.8 mm (0.030 pulg), 0.9 mm (0.035 pulg) y 1.2 mm (0.045 pulg)] para soldar materiales de calibre delgado. Se han desarrollado electrodos autoprotegidos específicamente para soldar los aceros recubiertos de cinc y aluminizados que se usan comúnmente en la actualidad para fabricar automóviles.

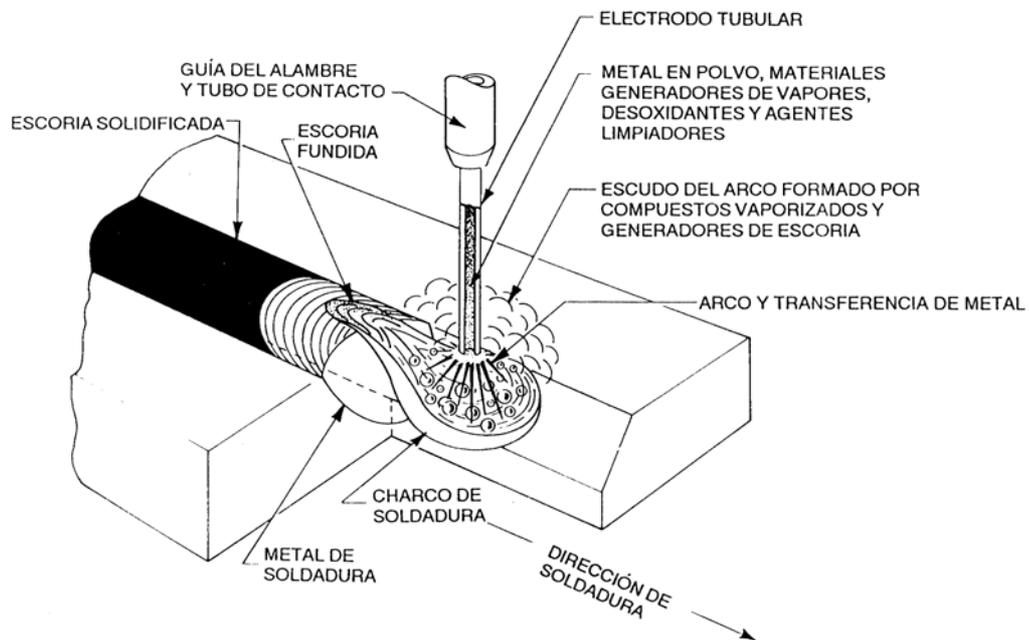


Figura 1.8.- Soldadura por arco con núcleo de fundente y autoprotección

En contraste, el método con escudo de gas es apropiado para la producción de soldaduras angostas y penetrantes. Se usan extensiones de electrodo cortas y corrientes de soldadura elevadas con alambres de todos los diámetros. Las soldaduras de filete hechas por FCAW son más angostas y de garganta más profunda que las producidas con SMAW. El principio de extensión del electrodo no puede aplicarse al método con escudo de gas porque una extensión grande afecta adversamente la protección.

1.3.5.- Soldadura por arco sumergido

1.3.5.1.- Descripción

La soldadura por arco sumergido (submerged arc welding, SAW) produce la coalescencia de metales calentándolos con un arco entre un electrodo de metal desnudo y la pieza. El arco y el metal derretido están “sumergidos” en un manto de fundente granular fusible sobre la pieza. No se aplica presión, y el metal de aporte se obtiene del electrodo y en ocasiones de un suministro complementario como una varilla para soldar gránulos metálicos.

En soldadura por arco sumergido, el arco está cubierto por fundente, el cual desempeña un papel preponderante porque (1) la estabilidad del arco depende del fundente, (2) las propiedades mecánicas y químicas del depósito de soldadura final se pueden controlar con el fundente y (3) la calidad de la soldadura puede ser afectada por la forma como se maneje el fundente.

La soldadura por arco sumergido es un proceso de soldadura de producción versátil capaz de soldar con corrientes de hasta 20000 amperios de c.a o c.c, empleando uno o varios alambres o tiras de metal de aporte. Es posible usar fuentes de potencia tanto de c.a como de c.c en la misma soldadura simultáneamente.

1.3.5.2.- Principios de funcionamiento

En la soldadura por arco sumergido, el extremo de un electrodo continuo de alambre desnudo se inserta en un montículo de fundente que cubre el área o la unión que se va a soldar. Se enciende un arco y a continuación, un mecanismo alimentador de alambre comienza a introducir el electrodo en la unión a una velocidad controlada, y el alimentador se desplaza manual o automáticamente a lo largo de la soldadura. En la soldadura mecanizada o automática, el trabajo puede desplazarse debajo de un alimentador de alambre estacionario.

En todo momento, se alimenta fundente adicional adelante del electrodo y a su alrededor, y se distribuye continuamente sobre la unión. El calor producido por el arco eléctrico derrite progresivamente parte del fundente, el extremo del alambre y los bordes adyacentes del metal base, creando un charco de metal fundido debajo de una capa de escoria líquida. El baño fundido cerca del arco presenta mucha turbulencia, y burbujas de gas ascienden rápidamente a la superficie del charco. El fundente flota sobre el metal derretido y protege por completo de la atmósfera la zona de soldadura.

El fundente líquido puede conducir algo de corriente eléctrica entre el alambre y el metal base, pero el arco eléctrico es la fuente de calor predominante. El manto de fundente que flota sobre el charco de

soldadura evita que los gases atmosféricos contaminen el metal de soldadura y disuelve las impurezas del metal base y del electrodo, que entonces flotan sobre el charco. Además, el fundente puede agregar ciertos elementos de aleación al metal de soldadura, o extraerlos de él.

Al avanzar la zona de soldadura a lo largo de la unión, el metal de soldadura primero y luego el fundente líquido se enfrían y solidifican, formando una franja de soldadura con una capa protectora de escoria encima. Es importante eliminar por completo la escoria antes de efectuar otra pasada de soldadura. El proceso de arco sumergido se ilustra en la figura 1.9.

Entre los factores que determinan si conviene o no usar soldadura por arco sumergido están:

- 1.- La composición química y las propiedades mecánicas que debe tener el depósito final.
- 2.- El espesor del metal base que se va a soldar.
- 3.- La accesibilidad de la unión.
- 4.- La posición en que se va a soldar.
- 5.- La frecuencia o la cantidad de soldaduras que se van a efectuar.

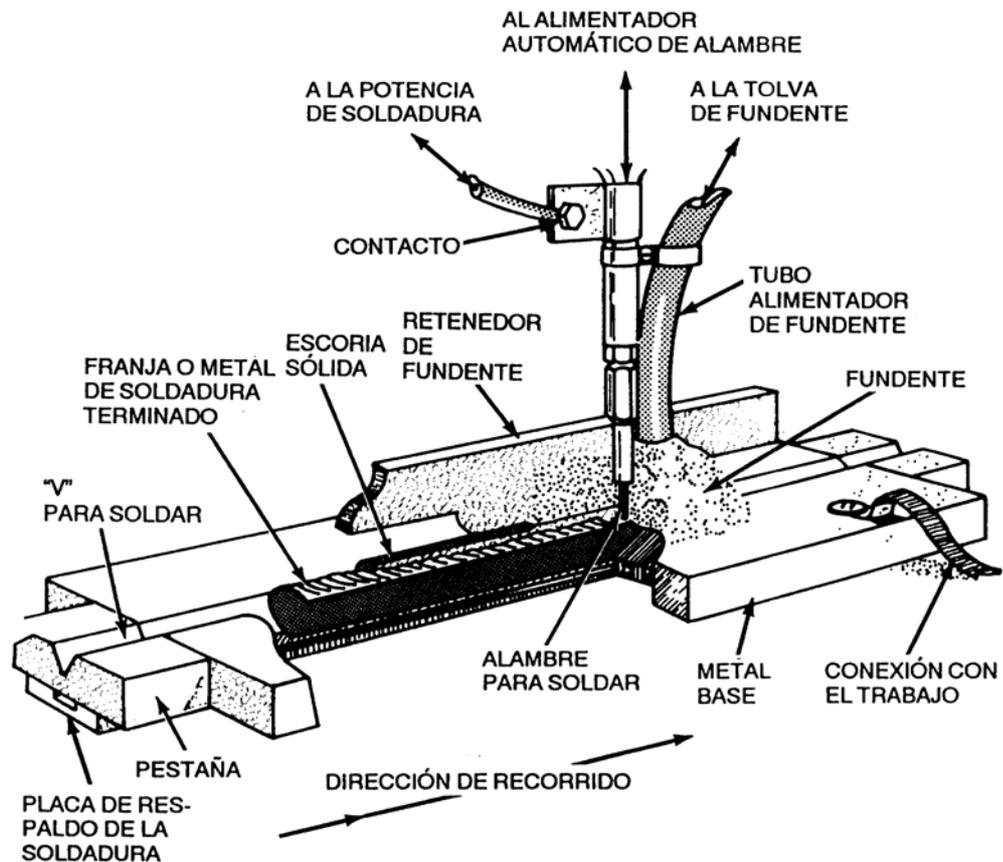


Figura 1.9.- Esquema del proceso de soldadura por arco sumergido

1.3.5.3.- Métodos generales

La soldadura por arco sumergido se puede aplicar en tres modos distintos: automático, semiautomático y mecanizado. En todos ellos es preciso colocar la pieza de modo que el fundente y el charco de soldadura permanezcan en su sitio hasta solidificarse. Ya existen o pueden

construirse muchos tipos de fijaciones y equipos de posicionamiento para satisfacer este requisito.

1.3.5.3.1.- Soldadura semiautomática

La soldadura semiautomática se realiza con una pistola soldadora de mano que suministra tanto el fundente como el electrodo. El electrodo es impulsado por un alimentador de alambre; el fundente puede suministrarse mediante una tolva de gravedad montada en la pistola o alimentarse a presión a través de una manguera. Este método requiere conducción manual empleando electrodos de diámetro relativamente pequeño y velocidades de recorrido moderadas. El desplazamiento puede ser manual o impulsado por un motor pequeño montado en la pistola.

1.3.5.3.2.- Soldadura automática

La soldadura automática se efectúa con equipo que realiza la operación de soldadura sin que un operador tenga que vigilar y ajustar continuamente los controles. El costoso equipo de autorregulación se puede justificar si se desea alcanzar tasas de producción elevadas.

1.3.5.3.3.- Soldadura mecanizada

En la soldadura mecanizada se emplea equipo que realiza toda la operación de soldadura, pero bajo la vigilancia de un operador que coloca el trabajo en su posición, inicia y detiene la soldadura, ajusta los controles y fija la velocidad de cada soldadura.

CAPÍTULO II

ELECTRODOS PARA LA SOLDADURA ELÉCTRICA POR ARCO

2.1.- Electrodos cubiertos para soldadura por arco de metal protegido

Además de establecer el arco y proporcionar metal de aporte para el depósito de soldadura, el electrodo introduce otros materiales en el arco o sus inmediaciones, o en ambos lugares.

Dependiendo del tipo de electrodo que se use, la cobertura desempeña una o más de las siguientes funciones:

1. Provee un gas para proteger el arco y evitar una contaminación excesiva del metal de aporte derretido por parte de la atmósfera.

2. Suministra limpiadores, desoxidantes y agentes fundentes para purificar la soldadura y evitar un crecimiento excesivo de granos en el metal de soldadura.
3. Establece las características eléctricas del electrodo.
4. Proporciona un manto de escoria que protege el metal de soldadura caliente del aire y mejora las propiedades mecánicas del metal de soldadura.
5. Constituye un medio para añadir elementos de aleación que modifiquen las propiedades mecánicas del metal de soldadura.

Las funciones 1 y 4 evitan la absorción de oxígeno y nitrógeno del aire por parte del metal de aporte derretido en el chorro del arco y del metal de soldadura mientras se solidifica y enfría. La cobertura de los electrodos para SMAW se aplica por el método de extrusión o bien por el de inmersión. La extrusión se usa con mucha más frecuencia; el proceso de inmersión se usa principalmente para los núcleos de varilla colados y algunos de los fabricados. En todos los casos, la cobertura contiene la mayor parte de los materiales de protección, limpieza y desoxidación. La mayor parte de los electrodos para SMAW tienen un núcleo de metal sólido. Algunos se elaboran con un núcleo fabricado o compuesto formado por metal en polvo encerrado en una funda metálica; en este caso, el propósito de algunos de los polvos metálicos, o incluso de todos, es producir un depósito de soldadura de aleación.

Además de mejorar las propiedades mecánicas del metal de soldadura, las coberturas de electrodo pueden diseñarse para soldar con corriente alterna (c.a). Con c.a, el arco se apaga y reestablece cada vez que la corriente invierte su dirección. Para que el arco de c.a sea estable, es necesario tener en el chorro del arco un gas que permanezca ionizado durante cada inversión de la corriente. Este gas ionizado hace posible la reignición del arco. Los gases fácilmente ionizables pueden obtenerse de diversos compuestos, incluidos los que contienen potasio. La incorporación de tales compuestos en la cobertura del electrodo es lo que permite a éste operar con c.a.

A fin de aumentar la tasa de deposición, las coberturas de algunos electrodos de acero de carbono y de baja aleación contienen polvo de hierro, el cual es otra fuente de metal disponible para deposición, además del que se obtiene del núcleo del electrodo. La presencia de polvo de hierro en la cobertura también permite aprovechar de manera más eficiente la energía del arco.

A menudo se emplean polvos metálicos distintos del hierro a fin de alterar las propiedades metálicas del metal de soldadura. Las coberturas de electrodo gruesas con cantidades relativamente grandes de hierro en polvo incrementan la profundidad del crisol en la punta del electrodo. Este crisol profundo ayuda a contener el calor del arco y permite usar la técnica de arrastre (descrita en el siguiente párrafo) para mantener una longitud

de arco constante. Si se añade hierro pulverizado u otros polvos metálicos en cantidades relativamente grandes, la tasa de deposición y la velocidad de soldadura casi siempre se incrementan.

Los electrodos de hierro en polvo con coberturas gruesas reducen la habilidad que se necesita para soldar. La punta del electrodo puede arrastrarse sobre la superficie de la pieza manteniendo todo el tiempo un arco de soldadura. Por esta razón, los electrodos gruesos con hierro en polvo se conocen también como electrodos de arrastre. Las tasas de deposición son altas pero, como la solidificación de la escoria es lenta, estos electrodos no son apropiados para usarse fuera de posición.

2.2.- Clasificación de los electrodos cubiertos

Los electrodos cubiertos se clasifican de acuerdo con los requisitos de especificaciones emitidas por la American Welding Society (AWS). Ciertas agencias del departamento de la defensa de Estados Unidos también emiten especificaciones para los electrodos cubiertos. Los números de especificaciones de la AWS y las clasificaciones de los electrodos correspondientes se dan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1

Especificaciones de la AWS para electrodos cubiertos.

| Tipo de electrodo | Especificación de la AWS |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Acero al bajo carbono | A5.1 |
| Acero de baja aleación | A5.5 |
| Acero resistente a la corrosión | A5.4 |
| Hierro colado | A5.15 |
| Aluminio y aleaciones de aluminio | A5.3 |
| Cobre y aleaciones de cobre | A5.6 |
| Níquel y aleaciones de níquel | A5.11 |
| Recubrimiento | A5.13 y A5.21 |

Los electrodos se clasifican con base en la composición química o en las propiedades mecánicas, o ambas cosas, del metal de soldadura sin diluir. Los electrodos de acero al carbono, acero de baja de aleación y acero inoxidable también se clasifican de acuerdo con el tipo de corriente

de soldadura con el que trabajan mejor, y en ocasiones de acuerdo con las posiciones de soldadura en las que pueden emplearse.

2.2.1.- Electrodo de acero al carbono

En ANSI/AWS A5.1, Especificación para electrodos de acero al carbono para soldadura por arco, se usa un sencillo sistema de numeración para clasificar los electrodos. En E6010, por ejemplo, la E designa a un electrodo. Los dos primeros dígitos (60) indican la resistencia a la tensión mínima del metal de soldadura sin diluir en Ksi, en la condición “recién soldada”. El tercer dígito representa la posición de soldadura (en este caso, el 1 se refiere a todas las posiciones). El último dígito se refiere al tipo de cobertura y al tipo de corriente con la que puede usarse el electrodo.

Los electrodos de acero al carbono tienen dos niveles de resistencia mecánica: la serie 60 y la serie 70. La resistencia a la tensión mínima permisible para el metal de soldadura de la serie 60 es de 62 Ksi (427 Mpa), aunque un alargamiento adicional puede permitir que algunos de éstos bajen hasta 60 Ksi (414 Mpa). Para la serie 70, es 72 Ksi (496 Mpa) y, una vez más, algunos de éstos pueden bajar hasta 70 Ksi (483 Mpa) con alargamiento adicional. En cuanto a la composición química, los límites superiores para los elementos significativos se dan dentro de las especificaciones de la AWS aplicables a la mayor parte de las

clasificaciones de electrodos. Para algunos electrodos de ambas series se dan requisitos de prueba de impacto Charpy con muesca en “V”.

Algunos electrodos de acero al carbono están diseñados para operar sólo con c.c; otros operan tanto con c.c como con c.a. La polaridad en c.c por lo regular es inversa (electrodo positivo), aunque algunos electrodos están hechos para polaridad directa, y otros más pueden usarse con cualquier polaridad.

La mayor parte de los electrodos están diseñados para soldar en todas las posiciones. Sin embargo, los que contienen grandes cantidades de hierro en polvo u óxido de hierro en el recubrimiento generalmente están restringidos a soldaduras de surco en la posición plana y a soldaduras de filete horizontales. Las coberturas de estos electrodos son muy gruesas, lo que impide su uso en las posiciones vertical y arriba de la cabeza.

Varios electrodos de la serie 70 son del tipo de bajo hidrógeno. Sus recubrimientos tienen ingredientes con bajo contenido de humedad y de celulosa y, por tanto, de hidrógeno. El hidrógeno produce la baja ductilidad y el agrietamiento de la franja inferior que en ocasiones se observan en soldaduras muy restringidas. Por esta razón, los electrodos de bajo hidrógeno se usan para soldar aceros endurecibles; también se usan para soldar aceros de bajo azufre y para aportar metal de soldadura

con buena tenacidad de muesca a baja temperatura. La especificación no fija un límite para el contenido de humedad de estos electrodos, pero se recomienda que sea menor que el 0.6%.

Para controlar la humedad es necesario un almacenamiento y manejo correctos; las condiciones de almacenamiento y cocimiento típicas se dan en ANSI/AWS A5.1.

2.2.2.- Electrodo de acero de baja aleación

ANSI/AWS A5.5, por excepción, Especificación para electrodos de acero de baja aleación para soldadura por arco, clasifica los electrodos de acero de baja aleación cubiertos de acuerdo con un sistema de numeración similar al que acaba de describirse para los electrodos de acero al carbono. Además, esta especificación emplea un sufijo como A1 para designar la composición química (sistema de aleación) del metal de soldadura. Así, una clasificación de electrodo completa es E7010-A1; otra es E8016-C2.

Los sistemas de aleación a los que pertenecen los electrodos son acero al carbono-molibdeno, acero al cromo-molibdeno, acero al níquel y acero al manganeso-molibdeno. Los niveles de resistencia mecánica del metal de soldadura van desde 70 hasta 120 Ksi (480 a 830 Mpa) de resistencia a la tensión mínima, en incrementos de 10 Ksi (70 Mpa). En

esta especificación, los metales de soldadura de uso común que no suelen recibir tratamiento posterior se clasifican con base en sus propiedades en la condición “recién soldada”. De manera similar, los que normalmente se usan en la condición de tensiones liberadas se clasifican con base en las propiedades que tienen después de un tratamiento térmico para liberar las tensiones.

En este respecto, cabe señalar que la liberación de tensiones que prescribe ANSI/AWS A5.5 consiste en mantener el ensamble de prueba a la temperatura indicada durante una hora. Los fabricantes que usen tiempos de retención a temperatura significativamente mayores o menores que una hora tal vez tengan que ser más selectivos en cuanto a los electrodos que usan, y quizá tengan que efectuar pruebas para demostrar que las propiedades mecánicas del metal de soldadura escogido son adecuadas después de un tratamiento térmico de cierta duración y a cierta temperatura. En muchas clasificaciones de electrodos para SMAW se incluyen normas radiográficas de calidad para el metal de soldadura depositado y requisitos de tenacidad de muesca.

Las especificaciones militares para electrodos de acero de baja aleación a veces usan designaciones similares a las de la especificación de la AWS. Además, se producen algunos electrodos que no están clasificados en las especificaciones de la AWS pero que están diseñados para materiales específicos o que corresponden a grandes rasgos a las

composiciones AISI estándar para metal base de acero de baja aleación, como 4130.

La especificación A5.5 fija límites para el contenido de humedad para los electrodos de bajo hidrógeno empacados en recipientes sellados herméticamente. Estos límites van desde 0.2 hasta 0.6% en peso, dependiendo de la clasificación del electrodo. Cuanto mayor sea el nivel de resistencia mecánica, más bajo será el límite del contenido de humedad. Esto es porque la humedad es una fuente primaria de hidrógeno, y el hidrógeno puede producir agrietamiento en la mayor parte de los aceros de baja aleación si no se emplea precalentamiento a temperatura elevada y ciclos de enfriamiento largos y lentos.

Cuanto mayor sea la resistencia mecánica de la soldadura y del metal base, mayor será la necesidad de niveles bajos de humedad para evitar el agrietamiento. La exposición a entornos húmedos (70% de humedad relativa o más) puede elevar el contenido de humedad del electrodo en unas cuantas horas.

2.2.3.- Electrodo de acero resistente a la corrosión

Los electrodos cubiertos para soldar aceros resistentes a la corrosión se clasifican en ANSI/AWS A5.4, Especificación para electrodos de acero al cromo y al cromo-níquel, resistentes a la corrosión, cubiertos,

para soldadura. La clasificación dentro de esta especificación se basa en la composición química del metal de soldadura sin diluir, las posiciones de soldadura y el tipo de corriente con la que se recomienda usar los electrodos. El sistema de clasificación es similar al de los electrodos de acero al carbono y de baja aleación.

Tomando E310-15 y E310-16 como ejemplos, el prefijo E indica un electrodo. Los tres primeros dígitos se refieren al tipo de aleación (en cuanto a su composición química), y pueden ir seguidos de una o más letras que indiquen una modificación, como E310Mo-15. Los últimos dos dígitos se refieren a la posición de soldadura y al tipo de corriente para la que son apropiados los electrodos. El 1 indica que los electrodos pueden usarse en todas las posiciones hasta diámetros de 4 mm (5/32 pulg). El número 5 indica que los electrodos están hechos para usarse con c.c.e.p (polaridad directa). El número 6 significa que los electrodos son apropiados tanto para c.a como para c.c.e.p (polaridad directa). Los electrodos de más de 4 mm (5/32 pulg) de diámetro se usan en las posiciones plana y horizontal.

La especificación no describe los ingredientes del revestimiento, pero las coberturas 15 por lo regular contienen una proporción elevada de piedra caliza (Carbonato de calcio). Este ingrediente suministra el CO y el CO₂ que sirven para proteger el arco. El aglutinante que mantiene unidos los ingredientes en este caso es silicato de sodio. La cobertura 16 también

contiene piedra caliza para protección del arco, pero además suele contener bastante titania (dióxido de titanio) para mejorar la estabilidad del arco. El aglutinante en este caso probablemente será silicato de potasio.

Las diferencias en las proporciones de estos ingredientes producen diferencias en las características del arco. Los electrodos 15 (coberturas tipo cal) tienden a producir un arco más penetrante y una franja más convexa y con ondulaciones más pronunciadas. La escoria se solidifica con relativa rapidez, por lo que muchos los prefieren para trabajos fuera de la posición especificada por el fabricante, como la soldadura de tuberías.

Por otro lado, las coberturas 16 (tipo titania) producen un arco más uniforme, menos salpicaduras y una franja más uniforme con ondulaciones más finas. La escoria, empero, es más fluida y el electrodo suele ser más difícil de manejar en trabajos fuera de la posición especificada por el fabricante

Los aceros inoxidables pueden dividirse en tres tipos básicos: austeníticos, martensíticos y ferríticos. El grupo austenítico (2XX y 3XX) es, por mucho, el más grande. Normalmente, la composición del metal de soldadura de un electrodo de acero inoxidable es similar a la del metal base para el que fue diseñado el electrodo.

En el caso de los aceros inoxidable austeníticos, la composición del metal de soldadura difiere un poco de la del metal base con el fin de producir un depósito de soldadura que contenga ferrita (esto es, que no sea del todo austenítico) para evitar fisuras o agrietamiento en caliente del metal de soldadura. La cantidad de ferrita común a los diversos electrodos para soldadura se analiza en ANSI/AWS A5.4 con cierto detalle. En general, basta un contenido de ferrita dentro del intervalo de número de ferrita (FN) de 3 a 5 para evitar el agrietamiento. Un contenido de ferrita tan alto como 20 FN puede ser aceptable para algunas soldaduras a las que no se aplica tratamiento térmico posterior. El diagrama de Schaeffler, o la modificación de DeLong de una porción de ese diagrama, puede servir para predecir el contenido de ferrita de los metales de soldadura de acero inoxidable. Existen instrumentos magnéticos para medir directamente el contenido de ferrita del metal de soldadura depositado. (Véase ANSI/AWS A4.2, Procedimientos estándar de calibración de instrumentos magnéticos para medir el contenido de delta ferrita de metal de soldadura de acero inoxidable austenítico).

Ciertos metales de soldadura de acero inoxidable austenítico (los tipos 310, 320 y 330, por ejemplo) no forman ferrita porque su contenido de níquel es demasiado elevado. En estos materiales se limita el contenido de fósforo, azufre y silicio, o se aumenta el contenido de carbono, a fin de minimizar las fisuras y el agrietamiento.

También pueden usarse procedimientos de soldadura apropiados para reducir las fisuras y el agrietamiento. Por ejemplo, Un bajo amperaje resulta benéfico. También puede ser benéfico un ligero movimiento zigzagueante al soldar, con el fin de promover el crecimiento celular del grano. Se recomienda seguir los procedimientos adecuados al apagar el arco, a fin de evitar las grietas de cráter.

ANSI/AWS A5.4 contiene dos clasificaciones para los electrodos cubiertos de aceros inoxidables al cromo puro (serie 4XX). Una prescribe del 11 al 13.5% de cromo; la otra, de 15 a 18%. El contenido de carbono en ambas es de 0.1% como máximo. Los metales de soldadura de las dos clasificaciones se endurecen en aire, y las piezas soldadas con ellos requieren precalentamiento y tratamiento térmico posterior para adquirir la ductilidad que se necesita en la mayor parte de las aplicaciones de ingeniería. La especificación también contiene tres clasificaciones de electrodos que se usan para soldar aceros al cromo-molibdeno de 4 a 10%. Estos materiales también se endurecen al aire, y se requiere precalentamiento y tratamiento térmico posterior para obtener uniones firmes y útiles.

2.2.4.- Electrodos de níquel y aleaciones de níquel

Los electrodos cubiertos para soldar por SMAW níquel y sus aleaciones tienen composiciones que en general se asemejan a la de los

metales base que unen, y algunos tienen adiciones de elementos como titanio, manganeso y columbio para desoxidar el metal de soldadura y evitar el agrietamiento.

ANSI/AWS A5.11, Especificación para electrodos cubiertos para soldar níquel y aleación de níquel, clasifica los electrodos en grupos de acuerdo con sus elementos de aleación principales. La letra "E" al principio indica un electrodo, y el símbolo químico "Ni" identifica los metales de soldadura como aleaciones con base de níquel. Se agregan otros símbolos químicos para indicar los elementos de aleación principales, seguidos por números sucesivos que identifican cada clasificación dentro de su grupo. Por ejemplo, ENiCrFe-1 contiene bastante hierro y cromo además de níquel.

La mayor parte de los electrodos está diseñada para usarse con c.c.e.p (polaridad directa), aunque algunos también pueden operar con c.a para sobreponerse a posibles problemas de golpe del arco (por ejemplo, cuando se suelda acero con 9% de níquel). Casi todos los electrodos pueden usarse en cualquier posición, pero los mejores resultados cuando se suelda fuera de la posición especificada por el fabricante se obtienen con electrodos de 3.2 mm (1/8 pulg) de diámetro o menores. La resistividad eléctrica del alambre del núcleo de estos electrodos es excepcionalmente alta, por lo que un amperaje excesivo sobrecalentará el electrodo y dañará la cobertura, causando inestabilidad del arco y

excesiva salpicadura. Cada clasificación y tamaño de electrodo tiene un intervalo de amperaje óptimo.

2.2.5.- Electrodo de aluminio y aleaciones de aluminio

ANSI/AWS A5.3, Especificación para electrodos de aluminio y aleación de aluminio para soldadura por arco de metal protegido, contiene dos clasificaciones de electrodos cubiertos para soldar metales base de aluminio. Estas clasificaciones se basan en las propiedades mecánicas del metal de soldadura sin tratamiento térmico y en la composición química del alambre del núcleo. Un alambre de núcleo es aluminio comercialmente puro (1100) y el otro una aleación de aluminio con 5% de silicio (4043). Ambos electrodos se usan con c.c.e.p (polaridad directa).

La cobertura de estos electrodos tiene tres funciones. Provee un gas para proteger el arco, un fundente para disolver el óxido de aluminio y una escoria protectora para cubrir la franja de soldadura. Como la escoria puede ser muy corrosiva para el aluminio, es importante que se elimine por completo después de soldar.

La presencia de humedad en la cobertura de estos electrodos es una causa importante de porosidad en el metal de soldadura. Para evitar esta porosidad, los electrodos deben guardarse en un gabinete con calefacción mientras no se usen. Los electrodos que se hayan expuesto a

la humedad deberán reacondicionarse (cocerse) antes de usarse, o desecharse.

Un problema que puede surgir al soldar es la fusión de escoria con el extremo del electrodo si el arco se interrumpe. Para poder encender otra vez el arco, es preciso eliminar esta escoria fusionada. Los electrodos de aluminio cubiertos se emplean principalmente para soldadura no crítica y aplicaciones de reparación. Sólo deben usarse con metales base para los que se recomienden metales de aporte 1100 ó 4043. Estos metales de soldadura no responden a tratamientos térmicos de endurecimiento por precipitación. Si se usan con materiales de este tipo, habrá que evaluar con cuidado cada aplicación.

2.2.6.- Electrodo de cobre y aleaciones de cobre

ANSI/AWS A5.6, Especificación para electrodos de cobre y aleaciones de cobre, cubiertos, para soldadura por arco, clasifica los electrodos de cobre y de aleaciones de cobre con base en las propiedades y en la composición química del metal de soldadura sin diluir.

El sistema de designación es similar al de los electrodos de níquel; la diferencia principal es que cada clasificación individual dentro de un grupo se identifica con una letra, la cual en ocasiones va seguida por un número, como en ECuAl-A2, por ejemplo.

Los grupos son: CuSi para el bronce de silicio, CuSn para el bronce fosforado, CuNi para el cupro-níquel y CuAl para el bronce de aluminio. En general, estos electrodos se usan con c.c.e.p (polaridad directa).

Los electrodos de cobre se usan para soldar cobre puro y reparar revestimientos de cobre en acero o hierro colado. Los electrodos de bronce de silicio sirven para soldar aleaciones de cobre y cinc, cobre, y algunos materiales con base de hierro. También se usan para recubrimientos que protegen contra la corrosión.

Los metales base de bronce fosforado y latón se sueldan con electrodos de bronce fosforado. Estos electrodos también sirven para soldar en fuerte aleaciones de cobre a acero y a hierro colado. Los bronce fosforados son un tanto viscosos cuando se derriten, pero su fluidez mejora precalentando a unos 200°C (400°F). Los electrodos y la pieza deben estar secos.

Los electrodos de cobre-níquel se usan para soldar una amplia gama de aleaciones de cobre y níquel y también revestimientos de cupro-níquel en acero. En general, no se requiere recalentamiento para estos materiales. Los electrodos de bronce de aluminio tienen una amplia aplicación en la soldadura de aleaciones con base de cobre y algunas combinaciones de metales disímiles. Se emplean para soldar en fuerte muchos metales ferrosos y aplicar superficies de apoyo resistentes al

desgaste y a la corrosión. La soldadura por lo regular se efectúa en posición plana con algo de precalentamiento.

2.2.7.- Electrodo para hierro colado

ANSI/AWS A5.15, Especificación para electrodos y varillas para soldar hierro colado, clasifica los electrodos cubiertos para soldar hierro colado. Los electrodos clasificados en A5.15 son de níquel, níquel-hierro, aleaciones de níquel-cobre y una aleación de acero. Se recomienda precalentamiento al soldar piezas de hierro coladas, sobre todo si se emplea el electrodo de acero.

La temperatura específica depende del tamaño y la complejidad de la pieza colada y de los requisitos de maquinabilidad. Los hoyos y grietas pequeños pueden soldarse sin precalentamiento, pero la soldadura no será maquinable. La soldadura se efectúa con c.c.e.p (polaridad directa) de bajo amperaje para minimizar la dilución con el metal base. En este caso no se aplica precalentamiento, excepto para minimizar los esfuerzos residuales en otras partes de la pieza colada.

Los electrodos patentados de níquel y aleaciones de níquel también pueden servir para reparar piezas coladas y unir los diversos tipos de hierros colados consigo mismos y con otros metales. La dureza del metal de soldadura depende del grado de dilución del metal base.

Los electrodos de bronce fosforado y de bronce de aluminio se usan para soldar en fuerte hierro colado. El punto de fusión de sus metales de soldadura es menor que el del hierro colado. La pieza colada deberá calentarse a unos 200°C (400°F) y soldarse con c.c.e.p (polaridad directa) empleando el amperaje más bajo que produzca una buena adhesión entre el metal de soldadura y las caras del surco. Las superficies del hierro colado no deben derretirse.

2.2.8.- Electrodos de recubrimiento

La mayor parte de los electrodos de recubrimiento duro se diseñan de modo que cumplan con ANSI/AWS A5.13, Especificación para electrodos y varillas de soldadura para recubrimiento compuesto. Se dispone de una amplia gama de electrodos para SMAW (dentro de ésta y otras especificaciones AWS para metales de aporte) que producen capas resistentes al desgaste, el impacto, el calor o la corrosión sobre diversos metales base. Todos los electrodos cubiertos especificados en A5.13 tienen alambre de núcleo sólido; los especificados en A5.21 tienen un núcleo compuesto. El sistema de designación de los electrodos en ambas especificaciones es similar al que se usa para los electrodos de aleación de cobre, con excepción de los electrodos de carburo de tungsteno, en los que la E de la designación para estos electrodos va seguida por WC y por los límites de tamaño de malla para los gránulos de carburo de tungsteno

del núcleo para completar la designación. En este caso, el núcleo consiste en un tubo de acero relleno con los gránulos de carburo de tungsteno.

El recubrimiento con electrodos cubiertos se emplea para revestimientos, untaduras, engrosamientos y aplicación de superficies duras. El objetivo del depósito de soldadura en estas aplicaciones es conferir a las superficies una o más de las siguientes cualidades:

1. Resistencia a la corrosión.
2. Control metalúrgico.
3. Control dimensional.
4. Resistencia al desgaste.
5. Resistencia al impacto.

La selección de electrodos cubiertos para una aplicación de recubrimiento en particular deberá hacerse después de analizar detenidamente las propiedades que debe tener el metal de soldadura aplicado a un metal base específico.

2.3.- Electrodo para soldadura por arco de tungsteno y gas

En GTAW la palabra tungsteno se refiere al elemento tungsteno puro y a las diferentes aleaciones de tungsteno empleadas como electrodos. Los electrodos de tungsteno son no consumibles si el proceso se emplea como es debido, ya que no se derriten ni se transfieren a la soldadura. En otros procesos, como SMAW, GMAW y SAW, el electrodo es el metal de aporte. La función del electrodo de tungsteno es servir como una de las terminales eléctricas del arco que proporciona el calor necesario para soldar. El punto de fusión del tungsteno es 3410°C (6170°F), y cuando se acerca a esta temperatura se vuelve termoiónico; es decir, es una fuente abundante de electrones. El electrodo alcanza esta temperatura gracias al calentamiento por resistencia y, de no ser por el considerable efecto de enfriamiento de los electrones que se desprenden de su punta, dicho calentamiento haría que se fundiera la punta. De hecho, la punta del electrodo tiene una temperatura mucho menor que la parte que está entre la punta y el mandril con enfriamiento externo.

2.4.- Clasificación y selección de los electrodos de tungsteno

Los electrodos de tungsteno se clasifican con base en su composición química, como se especifica en la tabla 2.2. Los requisitos para los electrodos de tungsteno se dan en la edición más reciente de

ANSI/AWS A5.12, Especificación para los electrodos de tungsteno y de aleación de tungsteno para soldadura y corte por arco. El sistema de identificación por código de color de las diversas clases de electrodos de tungsteno se muestra en la tabla 2.2.

Los electrodos se producen con un acabado limpio o amolado. Los que tienen acabado limpio han sido sometidos a limpieza química para eliminar las impurezas superficiales después de la operación de moldeado. Los que tienen acabado amolado se amolaron con una técnica sin centro para eliminar las imperfecciones superficiales.

Tabla 2.2

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

| Clasificación AWS | color ^a | Elemento aleación | Oxido de aleación | % en peso nominal del óxido de aleación |
|-------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|---|
| EWP | Verde | – | – | – |
| EWCe-2 | Anaranjado | Cerio | CeO ₂ | 2 |
| EWLa-1 | Negro | Lantano | La ₂ O ₃ | 1 |
| EWTh-1 | Amarillo | Torio | ThO ₂ | 1 |
| EWrh-2 | Rojo | Torio | ThO ₂ | 2 |
| EWZr-1 | Marrón | Zirconio | ZrO ₂ | 0.25 |
| EWG | Gris | No se especifica ^b | – | – |

a: El color puede aplicarse en forma de bandas, puntos, etc. En cualquier punto de la superficie del electrodo.

b: El fabricante debe identificar el tipo y el contenido nominal de la adición de óxido de tierra rara.

En la tabla 2.3 se indican los tamaños e intervalos de corriente de los electrodos de tungsteno y de tungsteno con torio, junto con los diámetros de copa de gas protector recomendados para usarse con diferentes tipos de potencia de soldadura. Esta tabla es una guía útil para seleccionar el electrodo correcto para una aplicación específica con cierto nivel de corriente y cierto tipo de fuente de potencia.

El empleo de niveles de corriente por encima de los que se recomiendan para un tamaño de electrodo y configuración de punta determinados hará que el tungsteno se erosione o derrita. Es posible que caigan partículas de tungsteno en el charco de soldadura y se conviertan en defectos de la unión soldada.

Si la corriente es demasiado baja para un tamaño de electrodo determinado, el arco puede ser inestable. Si se usa corriente continua con el electrodo positivo (c.c.e.p) se requerirá un diámetro mucho mayor para manejar un nivel de corriente dado porque la punta no se enfría por la evaporación de electrones sino que se calienta por el impacto de los electrones contra ella. En general, se esperará que un electrodo de cierto diámetro con c.c.e.p maneje una corriente de sólo el 10% de la que podría manejar con el electrodo negativo.

Si se usa corriente alterna, la punta se enfriará durante el ciclo de electrodo negativo y se calentará durante el positivo; por tanto, la capacidad de transporte de corriente de un electrodo con c.a está entre la de c.c.e.n y la de c.c.e.p. En general, es de cerca del 50% de la capacidad de c.c.e.n.

Tabla 2.3

Electrodos de tungsteno y copas de gas recomendados^a para diversas corrientes de soldadura.

| Diámetro del electrodo | | Diám. Int. Copa de gas | Corriente continua, A | | Corriente alterna, A | |
|------------------------|------|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| | | | Polaridad directa ^b | Polaridad inversa ^b | Onda no balanceada ^c | Onda balanceada ^c |
| Pulg | mm | Pulg | CCEN | CCEP | | |
| 0.010 | 0.25 | 1/4 | hasta 15 | - | hasta 15 | hasta 15 |
| 0.020 | 0.50 | 1/4 | 5-20 | - | 5-15 | 10-20 |
| 0.040 | 1.00 | 3/8 | 15-80 | - | 10-60 | 20-30 |
| 1/16 | 1.6 | 3/8 | 70-150 | 10-20 | 50-100 | 30-80 |
| 3/32 | 2.4 | 1/2 | 150-250 | 15-30 | 100-160 | 60-130 |
| 1/8 | 3.2 | 1/2 | 250-400 | 25-40 | 150-210 | 100-180 |
| 5/32 | 4.0 | 1/2 | 400-500 | 40-55 | 200-275 | 160-240 |
| 3/16 | 4.8 | 5/8 | 500-750 | 55-80 | 250-350 | 190-300 |
| 1/4 | 6.4 | 3/4 | 750-1100 | 80-125 | 325-450 | 325-450 |

a.- Todos los valores se basan en el empleo de argón como gas protector.

b.- Usar electrodos EWTh-2.

c.- Usar electrodos EWP.

2.4.1.- Electrodo EWP

Los electrodos de tungsteno puro (EWP) contienen por lo menos 99.5% de tungsteno, y ningún elemento de aleación intencional. La capacidad de transporte de corriente de los electrodos de tungsteno puro es menor que la de los electrodos aleados. Los electrodos de tungsteno puro se emplean principalmente con c.a para soldar aleaciones de aluminio y magnesio. La punta del electrodo EWP mantiene un extremo limpio en forma de bola, que produce un arco bastante estable.

Estos electrodos también pueden usarse con c.c, pero no ofrecen las características de encendido y estabilidad del arco de los electrodos con torio, con cerio o con lantano.

2.4.2.- Electrodo EWTh

La emisión termiónica del tungsteno puede mejorarse con óxidos metálicos que tienen funciones de trabajo muy bajas. El resultado es que los electrodos pueden manejar corrientes de soldadura más altas sin fallar. El óxido de torio es uno de estos aditivos. A fin de evitar problemas de identificación con éstos y otros tipos de electrodos de tungsteno, se marcan con un código de color como se indica en la tabla 1.2. Hay dos tipos de electrodos de tungsteno con torio. Los electrodos EWTh-1 y

EWTh-2 contienen 1% y 2%, respectivamente, de óxido de torio (ThO_2) llamado toria, dispersado uniformemente en toda su longitud.

Los electrodos de tungsteno con torio superan a los de tungsteno puro en varios aspectos. La toria aumenta en cerca del 20% la capacidad de transporte de corriente y en general hace al electrodo más duradero; además, tiende a contaminar menos la soldadura. Con estos electrodos es más fácil encender el arco, y éste es más estable que el producido por electrodos de tungsteno puro o de tungsteno con zirconio. Los electrodos EWTh-1 y EWTh-2 se diseñaron para aplicaciones de c.c.e.n. Mantienen una configuración de punta aguda durante la soldadura, lo que es deseable cuando se suelda acero. Casi nunca se sueldan con c.a, sin rajarse el electrodo.

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

Una clasificación de electrodos de tungsteno descontinuada es la clase EWTh-3. Este electrodo tenía un segmento longitudinal o axial con un contenido de toria entre 1.0 y 2.0%. El contenido de toria medio de todo el electrodo variaba entre 0.35 y 0.55%. Los avances en la metalurgia de polvos y otras mejoras del procesamiento han hecho que se descontinúe esta clasificación, y ya no es posible encontrar estos electrodos en el comercio.

2.4.3.- Electrodos EWCe

Los electrodos de tungsteno con cerio se introdujeron en el mercado estadounidense a principios de la década de 1980. Estos electrodos se crearon como un posible sustituto de los electrodos con torio porque el cerio, a diferencia del torio, no es un elemento radiactivo. Los electrodos EWCe-2 son electrodos de tungsteno que contienen 2% de óxido de cerio (CeO_2), llamado ceria. En comparación de los electrodos de tungsteno puro, los de tungsteno ceriado tienen menores tasas de vaporización. Estas ventajas mejoran al aumentar el contenido de ceria. Los electrodos EWCe-2 trabajan bien con c.a o c.c.

2.4.4.- Electrodos EWLa

Los electrodos EWLa-1 se inventaron en la misma época que los de tungsteno con cerio y por la misma razón, que el lantano no es

radiactivo. Estos electrodos contienen 1% de óxido de lantano (La_2O_3), conocido como lántana. Las ventajas y características de operación de estos electrodos son muy similares a las de los electrodos de tungsteno ceriado.

2.4.5.- Electrodos EWZr

Los electrodos de tungsteno con zirconio (EWZr) contienen una pequeña cantidad de zirconio, como se indica en la tabla 2.2. Estos electrodos tienen características de soldadura que generalmente están entre las de tungsteno puro y las de tungsteno con torio. Son los electrodos preferidos para soldar con c.a porque combinan las características deseables de estabilidad del arco y extremo de bolas típicas del tungsteno puro con las características de capacidad de corriente y encendido del arco del tungsteno con torio.

Tienen mayor resistencia a la contaminación que el tungsteno puro y se prefieren para aplicaciones de soldadura de calidad radiográfica en las que debe minimizarse la contaminación de la soldadura con tungsteno.

2.4.6.- Electroodos EWG

La clasificación de electrodos EWG se asignó a las aleaciones no cubiertas por las clases anteriores. Estos electrodos contienen una adición no especificada de un óxido o combinación de óxidos (de tierras raras u otros) no especificada. El propósito de esta adición es afectar la naturaleza o características del arco, según la definición del fabricante, quien debe identificar la adición o adiciones específicas y la cantidad nominal añadida. Hay varios electrodos EWG disponibles en el mercado o en desarrollo. Incluyen electrodos con adiciones de óxido de itrio o de óxido de magnesio. Esta clasificación también incluye los electrodos con cerio o con lantano que contienen los óxidos correspondientes en cantidades distintas de las que se mencionaron, o combinados con otros óxidos.

2.5.- Electroodos para soldadura por arco de metal y gas

Los electrodos (metales de aporte) para la soldadura por arco de metal y gas (GMAW) están cubiertos por diversas especificaciones de la AWS para metal de aporte. Otras asociaciones que redactan normas también publican especificaciones de metal de aporte para aplicaciones específicas. Por ejemplo, la SAE redacta especificaciones para materiales aeroespaciales. En la tabla 2.4 se muestran las especificaciones de los electrodos de la AWS, designadas como normas A5.XX, aplicables a

GMAW. Definen requisitos de tamaño y tolerancias, empaque, composición química y en algunos casos propiedades mecánicas. La AWS también publica cartas de comparación de metales de aporte (Filler Metal Comparison Charts) en la que los fabricantes pueden incluir sus marcas para cada una de las clasificaciones de metal de aporte.

En general, para aplicaciones de unión, la composición del electrodo (metal de aporte) es similar a la del metal base. La composición del metal de aporte puede alterarse un poco para compensar las pérdidas que ocurren en el arco o para desoxidar el charco de soldadura. En algunos casos, esto apenas requiere modificación de la composición del metal base, pero en ciertas aplicaciones se requiere un electrodo con una composición química muy diferente de la del metal base con el fin de obtener características de soldadura y propiedades del metal de soldadura satisfactorias. Por ejemplo, el mejor electrodo para soldar por GMAW bronce de manganeso, una aleación de cobre y cinc, es uno de bronce de aluminio o de una aleación de cobre-manganeso-níquel-aluminio.

Los electrodos más apropiados para soldar las aleaciones de aluminio y acero de más alta resistencia mecánica a menudo tienen una composición diferente de la de los metales base con los que se van a usar. Esto se debe a que las aleaciones de aluminio como la 6061 no son apropiadas como metales de aporte. Por ello, las aleaciones de electrodo

se diseñan de modo que produzcan las propiedades de metal de soldadura deseadas con características de operación aceptables.

Tabla 2.4

Especificaciones para diversos electrodos para GMAW

| Tipo de materiales base | Especificación de la AWS |
|----------------------------------|---------------------------------|
| Acero al carbono | A5.18 |
| Acero de baja aleación | A5.28 |
| Aleaciones de aluminio | A5.10 |
| Aleaciones de cobre | A5.7 |
| Magnesio | A5.19 |
| Aleaciones de níquel | A5.14 |
| Acero inoxidable de la serie 300 | A5.9 |
| Acero inoxidable de la serie 400 | A5.9 |
| Titanio | A5.16 |

Aparte de cualesquier otras modificaciones que se hagan a la composición de los electrodos, casi siempre se agregan desoxidantes u otros elementos limpiadores. Esto se hace para minimizar la porosidad de la soldadura o para asegurar que el metal de soldadura tenga propiedades mecánicas satisfactorias. La adición de desoxidantes

apropiados en las cantidades correctas es indispensable para producir soldaduras íntegras. Los desoxidantes más utilizados en los electrodos de acero son manganeso, silicio y aluminio. El titanio y el aluminio son los principales desoxidantes que se emplean con los electrodos de aleación de níquel. Los electrodos de aleación de cobre pueden desoxidarse con titanio, silicio o fósforo.

Los electrodos que se usan para GMAW son de diámetro muy pequeño si se les compara con los de soldadura por arco sumergido o por arco con núcleo de fundente. Son comunes los diámetros de 0.9 a 1.6 mm (0.035 a 0.062 pulg), pero pueden usarse electrodos con diámetro tan pequeño como 0.5 mm (0.020 pulg) y tan grande como 3.2 mm (1/8 pulg). Como los diámetros de electrodo son pequeños y las corrientes relativamente altas, las velocidades de alimentación del alambre en GMAW son altas, desde unos 40 hasta 340 mm/s (100 a 800 pulg/min) para la mayor parte de los metales, excepto el magnesio, con el que pueden requerirse velocidades de hasta 590 mm/s (1400 pulg/min).

Con tales velocidades de alimentación, los electrodos se proveen en forma de hilos continuos largos de alambre debidamente templados que pueden alimentarse de manera suave y uniforme a través del equipo de soldadura. Normalmente, los alambres están enrollados en carretes de tamaño conveniente, o en bobinas.

Los electrodos tienen ratios superficie/volumen elevados por su tamaño relativamente pequeño. Cualesquier compuestos o lubricantes de estiramiento que hayan penetrado en la superficie del electrodo durante el proceso de fabricación pueden afectar adversamente las propiedades del metal de soldadura. Estos materiales extraños producen porosidad en aleaciones de aluminio y acero, agrietamiento del metal de soldadura o de la zona térmicamente afectada en aceros de alta resistencia mecánica. Por tanto, los electrodos deben fabricarse con una superficie de alta calidad para evitar la acumulación de contaminantes en las costuras o traslapes.

Además de usarse en aplicaciones de unión, el proceso GMAW se utiliza ampliamente para recubrir en los casos en que un depósito de soldadura superpuesto puede conferir una resistencia al desgaste o a la corrosión deseable, u otras propiedades. Los recubrimientos normalmente se aplican a aceros al carbono o al manganeso y deben someterse a una ingeniería y evaluación cuidadosas para garantizar resultados satisfactorios. En las operaciones de recubrimiento, la dilución del metal de soldadura con el metal base se convierte en una consideración importante; es función de las características del arco y de la técnica.

Con GMAW pueden esperarse tasas de dilución del 10 al 50% dependiendo de la modalidad de transferencia. Por esta razón, lo normal es que se requieran múltiples capas para obtener una química apropiada

del depósito en la superficie. La mayor parte de los recubrimientos de metal de soldadura se depositan automáticamente a fin de controlar con precisión la dilución, la anchura y el espesor de la franja, y el traslape al colocar cada franja junto a la franja precedente.

2.6.-Selección del electrodo para soldadura por arco de metal y gas

En la ingeniería de ensambles soldados, el objetivo es seleccionar los metales de aporte que producirán un depósito de soldadura con dos características básicas:

1. Un depósito que se asemeja mucho al metal base en sus propiedades mecánicas y físicas o que lo mejora, por ejemplo confiriéndole resistencia a la corrosión o al desgaste.
2. Un depósito de soldadura íntegro, libre de discontinuidades.

En el primer caso, el depósito de soldadura, aunque tenga una composición casi idéntica a la del metal base, tiene características metalúrgicas únicas. Esto depende de factores tales como el aporte de energía y la configuración de la franja de soldadura. La segunda característica generalmente se logra empleando un electrodo de metal formulado, por ejemplo una que contenga desoxidantes para producir un depósito relativamente libre de defectos.

2.6.1.- Composición del electrodo para GMAW

El electrodo debe satisfacer ciertas demandas del proceso en cuanto a estabilidad del arco, compartimiento de transferencia de metal y características de solidificación. También debe producir un depósito de soldadura compatible con una o más de las siguientes características del metal base:

1. Química.
2. Resistencia mecánica.
3. Ductilidad.
4. Tenacidad.

Es preciso considerar otras propiedades como la resistencia a la corrosión, la respuesta al tratamiento térmico, la resistencia al desgaste y la igualación de colores. Sin embargo, todas estas consideraciones tienen importancia secundaria en comparación con la compatibilidad metalúrgica del metal base y el metal de aporte. La American Welding Society ha establecido clasificaciones para los metales de aporte de uso común.

La tabla 2.5 ofrece una guía básica para seleccionar los tipos de metal de aporte apropiados para los metales base que se listan, junto con todas las especificaciones AWS de metal de aporte aplicables.

Tabla 2.5

Electrodos recomendados para GMAW

| Materiales base | | | Especificación de electrodo de la AWS |
|---|---|--|---------------------------------------|
| Tipo | Clasificación | Clasificación del electrodo | (Use la última edición) |
| Aluminio y aleaciones de aluminio (normas ASTM Volumen 2.02) | 1100 3003, 3004 5052,5454 5083, 5086 5456 6061,6063 | ER4043 ER5356 ER5554, ER5556 o ER5183 ER5556 o ER5356 ER4043 o ER5356 | A5.10 |
| Cobre y aleaciones de cobre (normas ASTM Volumen 2.01) | Comercialmente puro Latón Aleaciones Cu-Ni Bronce de manganeso Bronce de aluminio Bronce | ERCu ERCuSi-A, ERCuSn-A ERCuNi ERCuAl-A2 ERCuAl-A2 ERCuSn-A | A5.7 |

| Materiales.base | | | Especificación de electrodo de la AWS |
|---|--|---|---------------------------------------|
| Tipo | Clasificación | Clasificación del electrodo | (Use la última edición) |
| Aleaciones de magnesio (normas ASTM volumen 2.02) | AZ10A AZ31B, AZ61A, AZ80A ZE10A ZK21A AZ63A, AZ81A AZ91C AZ92A, AM100A HK31A, HM21A HM31A LA141A | ERAZ61A, ERAZ92A ERAZ61A, ERAZ92A ERAZ61A, ERAZ92A ERAZ92A EREZ33A EREZ33A EREZ33A EREZ33A | A5.19 |
| Níquel y aleaciones de níquel (normas ASTM volumen 2.04) | Comercialmente puro Aleaciones Ni-Cu Aleaciones Ni-Cr-Fe | ERNi ERNiCu-7 ERNiCrFe-5 | A5.14 |
| Titanio y aleaciones de titanio (normas ASTM volumen 2.04) | Comercialmente puro Ti-6Al-4V Ti-0.15Pd Ti-5Al-25Sn Ti-13V-11Cr-3AL | ERTi _1, _2, _3, _4 ERTi-6Al-4V ERTi-0.2Pd ERTi-5Al-2.5Sn ERTi-13V-11Cr-3AL | A5.16 |
| Aceros inoxidables austeníticos (normas ASTM volumen 1.04) | Tipo 201 Tipos 301,302 304 y 308 Tipo 304L Tipo 310 Tipo 316 Tipo 321 Tipo 347 | ER308 ER308 ER308L ER310 ER316 ER321 ER347 | A5.9 |
| Aceros al carbono | Aceros al carbono ordinario rodados en caliente y en frío | E70S-3, o E70S-1 E70S-2, E70S-4 E70S-5, E70S-6 | A5.18 |

2.6.2.- Alambres tubulares para GMAW

En el proceso GMAW se usan alambres tanto sólidos como tubulares. Estos últimos tienen un núcleo de polvo metálico que incluye pequeñas cantidades de compuestos estabilizadores del arco. Estos alambres producen un arco estable y tienen eficiencias de deposición similares a la de los alambres sólidos. El enfoque tubular permite fabricar electrodos metálicos de baja escoria y alta eficiencia con composiciones que no sería fácil fabricar como alambres sólidos.

2.7.- Electrodo con núcleo de fundente: Generalidades

La soldadura por arco con núcleo de fundente debe buena parte de su flexibilidad a la amplia variedad de ingredientes que se puede incluir en el núcleo de un electrodo tubular. El electrodo por lo regular consiste en una funda de acero de bajo carbono o de aleación que rodea un núcleo de materiales fundentes y de aleación. La composición del núcleo de fundente varía de acuerdo con la clasificación del electrodo y con el fabricante. La mayor parte de los electrodos con núcleo de fundente se fabrica haciendo pasar una tira de acero por una serie de rodillos que la moldean hasta que adquiere una sección transversal en forma de "U". La tira moldeada se rellena con una cantidad medida de material de núcleo (aleaciones y fundente) en forma granular y posteriormente se cierra mediante rodillos que la redondean y que comprimen con fuerza el

material del núcleo. A continuación, el tubo redondo se hace pasar por troqueles o rodillos de estiramiento que reducen su diámetro y comprimen todavía más el núcleo. El proceso de estiramiento continúa hasta que el electrodo alcanza su tamaño final y luego se enrolla en carretes o en bobinas. También se usan otros métodos de fabricación. En general, los fabricantes consideran la composición precisa de sus electrodos con núcleo como un secreto industrial. Si se seleccionan los ingredientes de núcleo correctos (en combinación con la composición de la funda), es posible lograr lo siguiente:

1. Producir características de soldadura que van de altas tasas de deposición en la posición plana hasta fusión y forma de franja de soldadura apropiadas en la posición central.
2. Producir electrodos para diversas mezclas de gases protectores y para autoprotección.
3. Variar el contenido de elementos de aleación del metal de soldadura, desde acero dulce con ciertos electrodos hasta acero inoxidable de alta aleación con otros.

Las funciones primarias de los ingredientes del núcleo de fundente son las siguientes:

1. Conferir al metal de soldadura ciertas propiedades mecánicas, metalúrgicas y de resistencia a la corrosión mediante un ajuste de la composición química.
2. Promover la integridad del metal de soldadura protegiendo el metal fundido del oxígeno y el nitrógeno del aire.
3. Extraer impurezas del metal fundido mediante reacciones con el fundente.
4. Producir una cubierta de escoria que proteja el metal del aire durante la solidificación y que controle la forma y el aspecto de la franja de soldadura en las diferentes posiciones para las que es apropiado el electrodo.
5. Estabilizar el arco proporcionándole un camino eléctrico uniforme, para así reducir las salpicaduras y facilitar la deposición de franjas lisas, uniformes y del tamaño correcto.

En la tabla 2.6 se da una lista con la mayor parte de los elementos que suelen incluirse en el núcleo de fundente, sus fuentes y los fines para que se usan. En los aceros dulces y de baja aleación es preciso mantener una proporción correcta de desoxidantes y desnitrificantes (en el caso de electrodos con autoprotección) a fin de obtener un depósito de soldadura integro con ductilidad y tenacidad suficientes.

Tabla 2.6
Elementos que comúnmente se incluyen en el núcleo de los
electrodos con núcleo de fundente.

| Elemento | Habitualmente presente como | Propósito al soldar |
|-----------------|---|---|
| Aluminio | polvo metálico | Desoxidar y desnitrificar |
| Calcio | Minerales como fluorospato (CaF ₂) y piedra caliza (CaCO ₃) | Proveer protección y formar escoria |
| Carbono | Elemento de ferroaleaciones como el ferromanganeso | Aumentar la dureza y la resistencia mecánica |
| Cromo | Ferroaleación o polvo metálico | Alearse a fin de mejorar la resistencia a la plastodeformación, la dureza, la resistencia mecánica y la resistencia a la corrosión |
| Hierro | Ferroaleaciones y polvos de hierro | Matriz de aleación en depósitos con base de hierro, aleación en depósitos con base de níquel o de otro metal no ferroso |
| Manganeso | Ferroaleación como el ferromanganeso o como polvo metálico | Desoxidar; evitar la friabilidad en caliente al combinarse con azufre para formar MnS; aumentar la dureza y la resistencia mecánica; formar escoria |

| Elemento | Habitualmente presente como | Propósito al soldar |
|-----------------|---|---|
| Níquel | Polvo metálico | Alearse para mejorar la dureza, la resistencia mecánica, la tenacidad y la resistencia a la corrosión |
| Potasio | Minerales como feldespatos con contenido de potasio y silicatos de fritas | Estabilizar el arco y formar escoria |
| Silicio | Ferroaleación como ferrosilicio o silicomanganeso; silicatos minerales como los feldespatos | Desoxidar y formar escoria |
| Sodio | Minerales como feldespatos con contenido de sodio y silicatos de fritas | Estabilizar el arco y formar escoria |
| Titanio | Ferroaleación como ferrotitanio; en mineral, rutilo | Desoxidar y desnitrificar; formar escoria; estabilizar el carbono en algunos aceros inoxidable |
| Zirconio | Oxido o polvo metálico | Desoxidar y desnitrificar; formar escoria |
| Vanadio | Oxido o polvo metálico | Aumentar la resistencia mecánica |

Los desoxidantes, como el silicio y el manganeso, se combinan con oxígeno para formar óxidos estables. Esto ayuda a controlar la pérdida de elementos de aleación por oxidación, y la formación de monóxido que de permanecer causarían porosidad. Los desnitrificantes, como el aluminio, se combinan con el nitrógeno y lo fijan en forma de nitruros estables. Esto

evita la porosidad por nitrógeno y la formación de otros nitruros que podrían ser perjudiciales.

2.8.- Clasificación y selección de los electrodos para soldadura por arco con núcleo de fundente

A continuación vamos a exponer las normas para clasificar los electrodos destinados a la soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW) de acuerdo a los requisitos de la última edición de ANSI/AWS A5.20, por considerar que es de gran interés y que constituye una acertada guía para la elección y denominación de los diversos tipos de electrodos.

2.8.1.- Electrodos de acero dulce

La mayor parte de los electrodos de acero dulce para FCAW se clasifica de acuerdo con los requisitos de la última edición de ANSI/AWS A5.20, Especificación para electrodos de acero al carbono destinados a soldadura por arco con núcleo de fundente.

El sistema de identificación sigue el patrón general de clasificación de electrodos y se ilustra en la figura 2.1. Puede explicarse considerando una designación típica, E70T-1. El prefijo "E" indica un electrodo, al igual que en otros sistemas de clasificación de electrodos. El primer número se

refiere a la resistencia mínima a la tensión antes de cualquier tratamiento postsoldadura, en unidades de 10000 psi. En el presente ejemplo, el número "7" indica que el electrodo tiene una resistencia a la tensión mínima de 72000 psi. El segundo número indica las posiciones de soldadura para las que está diseñado el electrodo. En este caso el cero significa que el electrodo está diseñado para soldaduras de surco y de filete planas y en la posición horizontal.

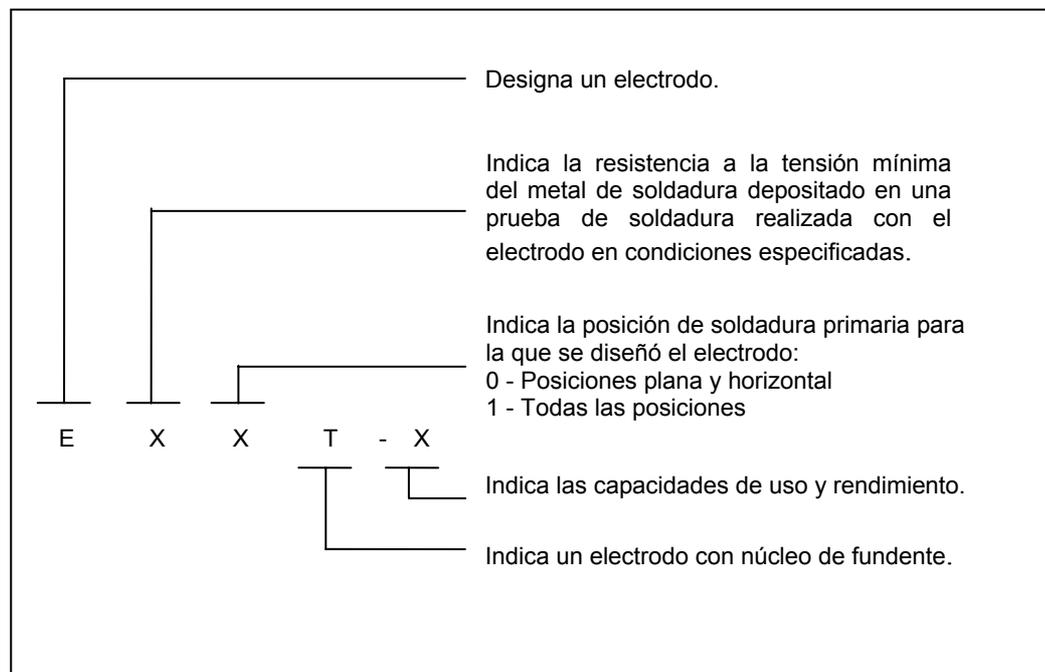


Figura 2.1.- Sistema de identificación para electrodos de acero dulce para FCAW.

Algunas clasificaciones pueden ser apropiadas para soldar en la posición vertical o en la cenital, o en ambas. En tales casos, se usaría “1” en lugar de “0” para indicar el uso en todas las posiciones. La letra “T” indica que el electrodo tiene construcción tubular (electrodo con núcleo de fundente). El número sufijo (“1” en este ejemplo) coloca al electrodo en un grupo específico de acuerdo con la composición química del metal de soldadura depositado, el método de protección y la idoneidad del electrodo para soldaduras de una o varias pasadas. La tabla 2.7 explica el significado del último dígito de las designaciones para FCAW.

Los electrodos de acero dulce para FCAW se clasifican teniendo en cuenta si proveen autoprotección o requieren dióxido de carbono como gas protector a parte, el tipo de corriente y si sirven o no para soldar fuera de posición. La clasificación también especifica si el electrodo se usa para aplicar una sola pasada o varias, la composición química y las propiedades del metal de soldadura depositado antes de cualquier tratamiento.

Los electrodos se diseñan de modo que produzcan metales de soldadura con ciertas composiciones químicas y propiedades mecánicas cuando la soldadura y las pruebas se realizan de acuerdo con los requisitos de la especificación.

Tabla 2.7

**Requerimientos de protección y polaridad para electrodos de FCAW
de acero dulce**

| Clasificación de la AWS | Medio protector externo | Corriente y polaridad |
|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| EXXT-1 (múltiples pasadas) | CO ₂ | c.c, electrodo positivo |
| EXXT-2 (Pasada única) | CO ₂ | c.c, electrodo positivo |
| EXXT-3 (pasada única) | Ninguno | c.c, electrodo positivo |
| EXXT-4 (múltiples pasadas) | Ninguno | c.c, electrodo positivo |
| EXXT-5 (múltiples pasadas) | CO ₂ | c.c, electrodo positivo |
| EXXT-6 (múltiples pasadas) | Ninguno | c.c, electrodo positivo |
| EXXT-7 (múltiples pasadas) | Ninguno | c.c, electrodo positivo |
| EXXT-8 (múltiples pasadas) | Ninguno | c.c, electrodo positivo |
| EXXT-10 (pasada única) | Ninguno | c.c, electrodo positivo |
| EXXT-11 (múltiples pasadas) | Ninguno | c.c, electrodo positivo |
| EXXT-G (múltiples pasadas) | * | * |
| EXXT-GS (pasada única) | * | * |

* Según lo convenido entre el proveedor y el usuario.

Los electrodos se producen en tamaños estándar con diámetros desde 1.2 hasta 4.0 mm (0.045 a 5/32 pulg), aunque puede haber tamaños especiales. Las propiedades de soldadura pueden variar apreciablemente dependiendo del tamaño del electrodo, el amperaje de soldadura, el espesor de las placas, la geometría de la unión, las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas, las condiciones de las superficies, la composición del metal base y la forma de combinarse con el metal depositado, y el gas protector (si se requiere). Muchos electrodos se diseñan primordialmente para soldar en las posiciones plana y horizontal, pero pueden ser apropiados para otras posiciones si se escoge la corriente de soldadura y el tamaño de electrodo correctos. Algunos electrodos con diámetros menores que 2.4 mm (3/32 pulg) pueden servir para soldar fuera de posición si se usa una corriente de soldadura baja dentro del intervalo recomendado por el fabricante.

En ANSI/AWS A5.20 se designan 12 diferentes clasificaciones de electrodos de acero dulce para FCAW. A continuación mencionaremos sus descripciones y sus usos propuestos.

EXXT-1. Los electrodos del grupo T-1 están diseñados para usarse con CO₂ como gas protector y con corriente c.c.e.p, pero también se emplean mezclas de argón y CO₂ a fin de ampliar su intervalo de aplicación, sobre todo al soldar fuera de posición. Si se reduce la proporción de CO₂ en la mezcla de argón-CO₂, aumentará el contenido de

manganeso y silicio en el depósito y posiblemente mejorarán las propiedades de impacto. Estos electrodos se diseñan para soldaduras de una o varias pasadas. Los electrodos T-1 se caracterizan por tener transferencia por aspersion, bajas pérdidas por salpicadura, configuración de franja plana o ligeramente convexa y volumen de escoria moderado que cubre por completo la franja de soldadura.

EXXT-2. Los electrodos de esta clasificación se usan con c.c.e.p. Son en esencia electrodos T-1 con mayor contenido de manganeso o de silicio, o de ambos, y se diseñan primordialmente para soldaduras de una pasada en la posición plana y para filetes horizontales. El mayor contenido de desoxidantes de estos electrodos permiten soldar con una sola pasada sobre acero con incrustaciones o bordes. Los electrodos T-2 que usan manganeso como principal agente desoxidante confieren buenas propiedades mecánicas en aplicaciones tanto de una como de varias pasadas; sin embargo, el contenido de manganeso y la resistencia a la tensión serán más elevados en las aplicaciones de múltiples pasadas.

Estos electrodos pueden servir para soldar materiales cuyas superficies tienen mayor cantidad de incrustaciones, óxido u otros materiales extraños que lo que normalmente toleran algunos electrodos de la clasificación T-1, y aun así producir soldaduras con calidad radiográfica. Las características del arco y las tasas de deposición son similares a las de los electrodos T-1.

EXXT-3. Los electrodos de esta clasificación proveen autoprotección, se usan con c.c.e.p y tienen transferencia por aspersion. El sistema de escoria está diseñado para producir condiciones en las que es posible soldar a muy alta velocidad. Los electrodos se usan para soldar con una sola pasada en las posiciones plana, horizontal y cuesta abajo (con pendiente de hasta 20°) en piezas laminares de hasta 4.8 mm (3/16 pulg) de espesor. No se recomiendan para soldar materiales más gruesos, ni para soldaduras de múltiples pasadas.

EXXT-4. Los electrodos de la clasificación T-4 proveen autoprotección, trabajan con c.c.e.p y tienen transferencia globular. El sistema de escoria está diseñado para establecer condiciones en las que la tasa de deposición sea alta y el metal de soldadura se desulfurice hasta un nivel bajo, lo que hace al depósito resistente al agrietamiento. Estos electrodos están diseñados para penetración somera, adaptables a uniones con embonamiento deficiente y soldadura de una o varias pasadas en las posiciones plana u horizontal.

EXXT-5. Los electrodos del grupo T-5 están diseñados para usarse con escudo de CO₂ (pueden usarse con mezclas de argón-CO₂, al igual que los del grupo T-1) para soldar con una o varias pasadas en la posición plana o en filetes horizontales. Estos electrodos se caracterizan por una transferencia globular, configuraciones de franja ligeramente

convexas y una escoria delgada que tal vez no cubra por completo la franja de soldadura. Los depósitos producidos por electrodos de este grupo mejoran en cuanto a su resistencia al impacto y al agrietamiento, en comparación con los tipos de rutilo (EXXT-1 y EXXT-2).

EXXT-6. Los electrodos de la clasificación T-6 proveen autoprotección, trabajan con c.c.e.p y tienen transferencia por aspersion. El sistema de escoria está diseñado para conferir excelentes propiedades de resistencia al impacto a bajas temperaturas, lograr penetración profunda y facilitar sobremanera la eliminación de escoria al soldar en surcos profundos. Estos electrodos sirven para soldar en surcos profundos. Estos electrodos sirven para soldar con una o varias pasadas en las posiciones plana y horizontal.

EXXT-7. Los electrodos de la clasificación T-7 proveen autoprotección y trabajan con c.c.e.n. El sistema de escoria está diseñado para crear condiciones en las que pueden usarse electrodos grandes para obtener altas tasas de deposición y electrodos pequeños para soldar en todas las posiciones. El sistema de escoria también está diseñado para desulfurizar casi por completo el metal de soldadura, lo que aumenta su resistencia al agrietamiento. Los electrodos sirven para soldar con una o varias pasadas.

EXXT-8. Los electrodos de la clasificación T-8 proveen autoprotección y trabajan con c.c.e.n. El sistema de escoria tiene características que

permiten soldar en todas las posiciones con estos electrodos; además, confiere al metal de soldadura buenas propiedades de impacto a bajas temperaturas y lo desulfuriza hasta un nivel bajo, lo que ayuda a hacerlo resistente al agrietamiento. Estos electrodos se usan en aplicaciones tanto de una como de varias pasadas.

EXXT-10. Los electrodos de la clasificación T-10 proveen autoprotección y trabajan con c.c.e.n. El sistema de escoria tiene características que permiten soldar a alta velocidad. Los electrodos sirven para hacer soldaduras de una sola pasada en materiales de cualquier espesor en las posiciones plana, horizontal y cuesta abajo (hasta 20°).

EXXT-11. Los electrodos de la clasificación T-11 proveen autoprotección y trabajan con c.c.e.n, y producen un arco uniforme tipo rocío. El sistema de escoria permite soldar en todas las posiciones y con velocidades de recorrido altas. Se trata de electrodos de propósito general para soldar con una o varias pasadas en todas las posiciones.

EXXT-G. La clasificación EXXT-G se usa para electrodos de múltiples pasadas nuevos que no están cubiertos por ninguna de las clasificaciones ya definidas. El sistema de escoria, las características del arco, el aspecto de la soldadura y la polaridad no están definidas.

EXXT-GS. La clasificación EXXT-GS se usa para electrodos nuevos de una sola pasada que no están cubiertos por ninguna de las clasificaciones

ya definidas. El sistema de escoria, las características del arco, el aspecto de la soldadura y la polaridad no están definidas.

2.8.2.- Electrodo de acero de baja aleación

En el mercado están disponibles electrodos con núcleos de fundente para soldar aceros de baja aleación. Se describen y clasifican en la edición más reciente de ANSI/AWS A5.29, Especificación para electrodos de acero de baja aleación destinados a soldadura por arco con núcleo de fundente. Los electrodos están diseñados para producir metales de soldadura depositados con composición química y propiedades mecánicas similares a las que se obtienen con electrodos de SMAW de acero de baja aleación. Generalmente se usan para soldar aceros de baja aleación con composición química similar. Algunas clasificaciones de electrodos están diseñadas para soldar en todas las posiciones, pero otras están limitadas a las posiciones plana y de filete horizontal. Como en el caso de los electrodos de acero dulce, hay un sistema de identificación que la AWS usa para describir las distintas clasificaciones. La figura 2.2 ilustra los componentes de dichas designaciones.

ANSI/AWS A5.29 da cinco clasificaciones diferentes de electrodos de acero de baja aleación para FCAW. A continuación se resumen sus descripciones y los usos a los que se destinan.

EXXT1-X. Los electrodos del grupo T1-X están diseñados para usarse con escudo de CO₂, pero si el fabricante lo recomienda es posible mezclas de argón y CO₂ para ampliar la aplicabilidad, sobre todo al soldar fuera de posición. Estos electrodos están diseñados para soldadura de una o varias pasadas, y se caracterizan por tener transferencia por aspersión, bajas pérdidas por salpicaduras, configuraciones de franja planas o ligeramente convexas y un volumen moderado de escoria que cubre por completo la franja de soldadura.

EXXT4-X. Los electrodos de la clasificación T4-X proveen autoprotección, trabajan con c.c.e.p y tienen transferencia globular. El sistema de escoria está diseñado para crear condiciones de tasa de deposición alta y para desulfurizar el metal de soldadura hasta un nivel bajo, lo que mejora la resistencia al agrietamiento del depósito. Estos electrodos están diseñados para penetración somera, lo que permite usarlos en uniones con embonamiento deficiente y para soldar con una o varias pasadas en las posiciones plana u horizontal.

EXXT5-X. Los electrodos del grupo T5-X están diseñados para usarse con c.c.e.p y escudo de CO₂ (se puede usar mezclas argón-CO₂ si el fabricante lo recomienda, como con los tipos T1) para soldar con una o varias pasadas en la posición plana o en filetes horizontales. Ciertos electrodos T5-X están diseñados para soldar fuera de posición con c.c.e.n y las mezclas de argón-CO₂. Estos electrodos se caracterizan por una

transferencia globular, configuración de franja ligeramente convexa y capa de escoria delgada, que tal vez no cubra por completo la franja. Los depósitos de soldadura producidos por electrodos de este grupo mejoran en cuanto a sus propiedades de resistencia al impacto y al agrietamiento, en comparación con los del tipo T1-X.

EXXT-8X. Los electrodos de la clasificación T8-X proveen autoprotección y trabajan con c.c.e.n. El sistema de escoria tiene características que permite usar estos electrodos en todas las posiciones; además confiere al metal de soldadura buenas características de resistencia al impacto a bajas temperaturas y lo desulfuriza casi por completo, lo que mejora la resistencia al agrietamiento. Los electrodos se usan para soldar con una o varias pasadas.

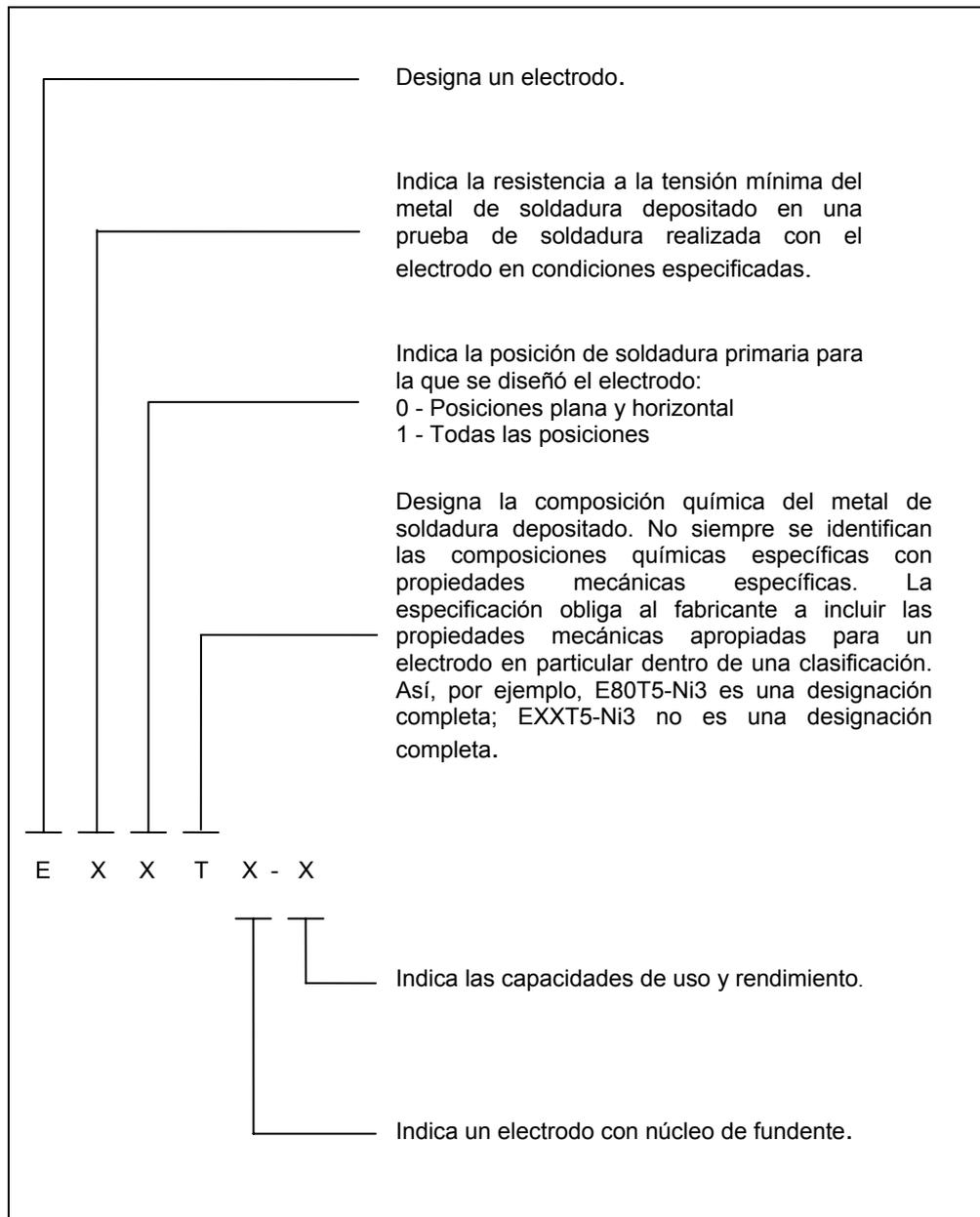


Figura 2.2.- Sistema de identificación para electrodos de acero de baja aleación para FCAW.

EXXTX-G. La clasificación EXXTX-G corresponde a electrodos nuevos de múltiples pasadas que no están cubiertos por ninguna de las

clasificaciones ya definidas. El sistema de escoria, las características del arco, la apariencia de la soldadura y la polaridad no están definidas.

La mayor parte de los electrodos de acero de baja aleación para FCAW se diseñan para soldar con escudo de gas empleando una formulación de núcleo de fundente T1-X o T5-X[∞] y CO₂ como gas protector. No obstante, cada vez es más común el empleo de formulaciones especiales diseñadas para protección con mezclas de 75% de argón y 25% de CO₂. Generalmente producen metal de soldadura con resistencia al impacto Charpy de muesca en V de 27 J (20 pies-lb) a -18°C (0°F) o menos. Hay unos cuantos electrodos de acero al níquel con formulaciones T4-X o T8-X disponibles para FCAW con autoprotección.

En cuanto a los requisitos de resistencia al impacto Charpy de muesca en "V", el metal de soldadura depositado con la formulación T4 generalmente llega a 27J (20 pies-lb) a -18°C (0°F). El metal de soldadura depositado con electrodos T8 generalmente llega a 27J (20 pies-lb) a -29°C (-20°F).

En la edición más reciente de la especificación ANSI/AWS A5.29, Especificación para electrodos de acero de baja aleación destinados a soldadura por arco con núcleo de fundente, se describe una serie

[∞] Si se desea una explicación de las designaciones de núcleo de fundente, consulte la edición más reciente de **ANSI/AWS A5.29**, Especificación de electrodos de acero de

completa de electrodos de baja aleación con núcleo de fundente comparable con los diversos electrodos de baja aleación para soldadura por arco de metal protegido descritos en ANSI/AWS A5.5, Especificación para electrodos de acero de baja aleación cubiertos para soldadura por arco. Como consecuencia de la publicación de la especificación A5.29, los electrodos de baja aleación con núcleo de fundente han logrado tener amplia aceptación para la soldadura de aceros de baja aleación y elevada resistencia mecánica.

2.8.3.- Electrodo para recubrimiento

Se producen electrodos con núcleo de fundente para ciertos tipos de aplicaciones de recubrimiento, como la restauración de componentes de servicio y la creación de superficies duras. Estos electrodos ofrecen muchas de las ventajas de los electrodos empleados para unir, pero no hay tanta estandarización de la composición química ni de las características del rendimiento del metal de soldadura. Se recomienda consultar la literatura de los diversos fabricantes para conocer los detalles de los electrodos con núcleo de fundente para recubrimiento.

Los electrodos para recubrimiento depositan aleaciones con base de hierro que pueden ser ferríticas. También pueden depositar metal con alto contenido de carburos. El diseño de los electrodos se varía a fin de

baja aleación destinados a soldadura por arco con núcleo de fundente, disponible de la

producir superficies con resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste, tenacidad. Estos electrodos pueden servir para restaurar las dimensiones originales de piezas desgastadas.

2.8.4.- Electrodo de acero inoxidable

El sistema de clasificación de ANSI/AWS A5.22, Especificaciones para electrodos de acero al cromo y al cromo-níquel con núcleo de fundente, resistentes a la corrosión, prescribe requisitos para los electrodos de acero al cromo y al cromo-níquel con núcleo de fundente, resistentes a la corrosión, mismos que se clasifican con base en la composición química del metal de soldadura depositado y el medio protector que se emplea durante la soldadura.

En la tabla 2.8 se identifican las designaciones de protección empleadas para la clasificación y se indican las características de corriente y polaridad respectivas.

Los electrodos clasificados como EXXT-1 que usan escudo de CO₂ experimentan pérdidas menores de elementos oxidables y un cierto aumento en el contenido de carbono. Los electrodos de las clasificaciones EXXT-3, que se usan sin protección externa sufren cierta pérdida de

elementos oxidables y una absorción de nitrógeno que puede ser significativa.

Las corrientes de soldadura bajas aunadas a longitudes de arco grandes (voltajes de arco elevados) fomentan la absorción de nitrógeno. El nitrógeno estabiliza la austenita y por tanto puede reducir el contenido de ferrita del metal de soldadura.

Los requisitos de las clasificaciones EXXXT-3 son diferentes de las clasificaciones EXXXT-1 porque la protección con un sistema de fundente no es tan efectiva como la protección con un sistema de fundente y un gas protector de aplicación independiente. Así pues, los depósitos de EXXXT-3 suelen tener un mayor contenido de nitrógeno que los de EXXXT-1. Esto significa que, para controlar el contenido de ferrita del metal de soldadura, la composición química de los depósitos de EXXXT-3 debe tener una razón Cr/Ni distinta de la de los depósitos de EXXXT-1.

En contraste con los electrodos de acero dulce o de acero de baja aleación con autoprotección, los electrodos de acero inoxidable EXXXT-3 no suelen contener elementos desnitrurantes fuertes, como el aluminio.

La tecnología de los tipos EXXXT-1 ha evolucionado a tal punto que ya están disponibles alambres de acero inoxidable con núcleos de fundente para soldar en todas las posiciones.

Estos alambres tienen mayores tasas de deposición que los de acero inoxidable sólido cuando se usan fuera de posición; son más fáciles de usar que los alambres sólidos en el modo de transferencia por inmersión; y producen de manera consistente soldaduras íntegras con fuentes de potencia de voltaje constante estándar. Es posible adquirir estos alambres con diámetros tan pequeños como 0.9 mm (0.035pulg).

Para cada clasificación se especifican las propiedades mecánicas del metal de soldadura depositado, incluida una resistencia mínima a la tensión y una ductilidad mínima. También se especifican requisitos de integridad radiográfica.

Aunque las soldaduras efectuadas con electrodos que cumplen con las especificaciones de la AWS se usan ampliamente en aplicaciones que requieren resistencia a la corrosión o al calor, no resulta práctico exigir pruebas de calificación de los electrodos para estos tipos de resistencia en especímenes de soldadura o de metal de soldadura. Lo recomendable es establecer pruebas especiales pertinentes para una aplicación propuesta por acuerdo mutuo entre el fabricante de electrodos y el usuario.

2.8.5.- Electrodo con base en níquel

En el momento de escribirse esta tesis se estaba redactando una nueva especificación de la AWS, la A5.34, para clasificar los electrodos con base en níquel con núcleo de fundente. Estos electrodos ya han aparecido en el mercado para unas cuantas aleaciones con base de níquel. Sus sistemas de escoria y características de operación tienen mucho en común con los electrodos de acero inoxidable clasificados por ANSI/AWS A5.22. Se recomienda consultar A5.34 tan pronto como se publique, a fin de obtener información adicional útil.

2.8.6.- Protección contra la humedad

Para casi todos los electrodos con núcleo de fundente, la protección contra la absorción de humedad es indispensable. La humedad absorbida puede dejar "huellas de gusano" en la franja de soldadura, o hacerla porosa. Si un electrodo no se va a usar el mismo día, se recomienda guardarlo en el empaque original.

Algunos fabricantes recomiendan reacondicionar el alambre expuesto calentándolo a temperaturas entre 150 y 315°C (300 y 600 °F). Esto presupone que el alambre está enrollado en un dispositivo metálico.

Tabla 2.8

Designaciones de protección y características de corriente de soldadura para electrodos de acero inoxidable con núcleo de fundente

| Designaciones AWS^a (todas las clasificaciones) | Medio protector externo | corriente y polaridad |
|--|--------------------------------|--|
| EXXXT-1 | CO ₂ | c.c.e.p ^b (polaridad inversa) |
| EXXXT-2 | Ar+2%O | c.c.e.p ^b (polaridad inversa) |
| EXXXT-3 | Ninguno | c.c.e.p ^b (polaridad inversa) |
| EXXXT-G | No se especifica | No se especifica |

^a Las clasificaciones se dan en AWS A5.22, Especificaciones para electrodos de acero al cromo y al cromo-níquel con núcleo de fundente, resistentes a la corrosión. Las letras "XXX" representan la composición química (tipo AISI), como 308, 316, 410 y 502.

^b Corriente continua con el electrodo positivo.

2.9.- Electrodo para soldadura por arco sumergido

Los electrodos para arco sumergido producen depósitos de soldadura que coinciden con los metales base de acero al carbono, acero de baja aleación, aceros de alto carbono, aceros de aleación especial, aceros inoxidables, aleaciones de níquel y aleaciones especiales para aplicaciones de recubrimiento. Estos electrodos se suministran como alambre sólido

desnudo y como electrodos compuestos con núcleo metálico (similares a los electrodos para soldadura por arco con núcleo de fundente). Los fabricantes de electrodos compuestos que duplican aleaciones complejas encerrando los elementos de aleación requeridos en un tubo de metal de una composición más ordinaria (acero inoxidable u otros metales).

Los electrodos normalmente se empaquetan en carretes o bobinas cuyo peso va de 11 a 454 kg (25 a 1000 lb). Los paquetes de electrodo grandes resultan económicos: aumentan la eficiencia de operación y eliminan el desperdicio de fin de rollo. Los electrodos de acero suelen estar recubiertos de cobre, excepto los destinados a materiales resistentes a la corrosión o a ciertas aplicaciones nucleares. El recubrimiento de cobre, prolonga la vida en almacenamiento, reduce el desgaste por rozamiento con el tubo de contacto y mejora la conductividad eléctrica. Los electrodos se empaquetan de manera que duren mucho tiempo almacenados en interiores en condiciones normales. El diámetro de los electrodos para soldadura por arco sumergido varía de 1.6 a 6.4 mm.

2.9.1.- Electrodos y fundentes para acero al carbono

La especificación AWS A5.17 prescribe los requisitos que deben cumplir los electrodos y fundentes para soldadura por arco sumergido de aceros al carbono. Los electrodos sólidos se clasifican con base en su

composición química (de fábrica), en tanto que los electrodos compuestos se clasifican según la química del depósito. Los fundentes se clasifican con base en las propiedades del metal de soldadura que se obtienen cuando se usan con electrodos específicos. En la figura 2.3 se muestra el sistema de clasificación para las combinaciones fundente–electrodo. Los aceros al carbono se definen como aceros que tienen adiciones de carbono de hasta 0.29%, de manganeso de hasta 1.65%, de silicio de hasta 0.60%, sin especificarse intervalos para otros elementos de aleación. Los fundentes se clasifican con base en la composición química y en las propiedades mecánicas del metal de soldadura depositado con un electrodo de una clasificación específica. La selección de los consumibles de SAW dependerá de las propiedades químicas y mecánicas que deba tener el componente que se fabrica, de la posición de soldadura y de la preparación que deba recibir la superficie del acero por soldar.

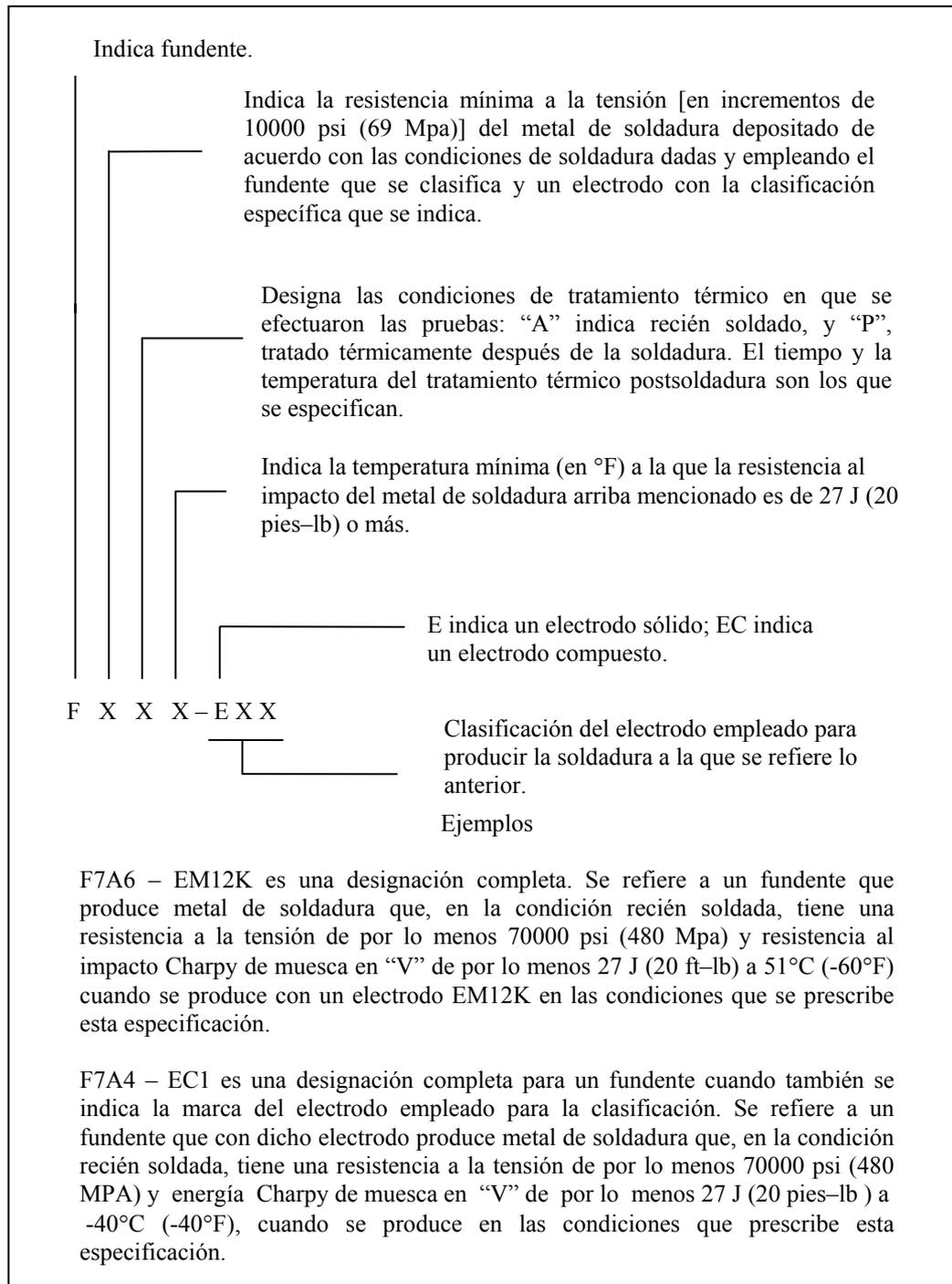


Figura 2.3.- Sistema de clasificación para combinaciones fundente–electrodo

Los fabricantes de consumibles para SAW producen combinaciones de electrodo/fundente formuladas para satisfacer requisitos específicos de propiedades químicas y mecánicas y de condiciones de soldabilidad. Si se usan electrodos compuestos, se recomienda comprar los consumibles siempre al mismo fabricante. En cambio, si se usan electrodos sólidos, el usuario puede escoger entre los fundentes disponibles para usarse con una clasificación de electrodo AWS dada. Cabe señalar que la elección del electrodo influye de manera más importante sobre la química del metal de soldadura depositado, en tanto que la elección del fundente afecta más las propiedades de impacto Charpy de muesca en “V” y la soldabilidad global de la combinación electrodo/fundente. Al seleccionar los consumibles para SAW, conviene tener presentes los siguientes aspectos:

- 1.- Conveniencia de escoger un fundente “neutral” o “activo”. Un fundente neutral añade pocos elementos de aleación, o ninguno al depósito de soldadura, en tanto que un fundente activo agrega elementos de aleación al metal de soldadura depositado. Los fundentes activos suelen preferirse para operaciones de soldadura de una sola pasada; su empleo en aplicaciones de múltiples pasadas puede estar limitado por las especificaciones de ingeniería, dada la posibilidad de que haya una acumulación excesiva de elementos de aleación en el metal de soldadura depositado.

- 2.- Si los fundentes que se están considerando tienen una composición química debidamente equilibrada para usarse con una clasificación de electrodo dada.
- 3.- Los requisitos de propiedades mecánicas exigidos. Esto incluye las propiedades de impacto Charpy de muesca en "V", así como la resistencia mecánica y la ductilidad del depósito resultante.
- 4.- Aplicabilidad de una combinación electrodo/fundente dada, lo que incluye la capacidad para mojar las paredes de la unión sin socavamiento ni traslapeo en frío, la capacidad para soldar sobre óxido e incrustaciones y la facilidad de eliminación de la escoria.

2.9.2.- Electrodo y fundentes para aceros de baja aleación:

Los aceros de baja aleación por lo regular tienen menos del 10% de cualquier elemento de aleación individual. El metal de soldadura de acero de baja aleación puede depositarse con electrodos sólidos de acero de aleación, fundentes que contienen los elementos de aleación y electrodos compuestos cuyo núcleo contiene los elementos de aleación. Los electrodos de acero de aleación y los electrodos compuestos normalmente se sueldan bajo un fundente neutral. Los fundentes con elementos de aleación generalmente se usan con electrodos de acero al carbono para depositar metal de soldadura aleado. Hay muchas combinaciones electrodo/fundente disponibles.

ANSI/AWS A5.23 prescribe requisitos para los electrodos sólidos y compuestos y los fundentes se clasifican de acuerdo con las propiedades del metal de soldadura que se obtienen cuando se usan electrodos específicos. En la versión más reciente de la especificación se detalla la composición química que deben tener los electrodos o los depósitos, o ambos, además de otra información.

2.9.3.- Electrodos y fundentes de acero inoxidable:

ANSI/AWS A5.9 cubre los metales de aporte para soldar aceros al cromo y al cromo-níquel resistentes a la corrosión o al calor. Esta especificación incluye aceros en los que el cromo excede el 4% y el níquel no excede el 50% de la composición. Los electrodos de alambre sólido se clasifican con base en su composición química de fábrica, y los electrodos compuestos, con base en el análisis químico de una muestra fusionada. Para estas aleaciones se emplea el sistema de numeración del American Iron and Steel Institute (AISI). Los fundentes para SAW de acero inoxidable son patentados, por lo que conviene consultar con los fabricantes para conocer sus recomendaciones. Hay fundentes para soldar por arco sumergido aleaciones inoxidables en presentaciones fusionadas y aglomeradas. Algunos fundentes aglomerados contienen cromo, níquel, molibdeno o colombio para reemplazar los elementos que se pierden en el arco. Los nuevos fundentes químicamente básicos. El rendimiento de los fundentes en la soldadura de acero inoxidable puede

depender del cuidado que el usuario tenga al manipular y reutilizar el fundente. Los fundentes excesivamente reciclados pueden empobrecerse en elementos compensadores. Conviene consultar las recomendaciones del fabricante en cuanto al manejo y el reciclaje del fundente.

2.9.4.-Electrodos y fundentes para níquel

Hay electrodos de níquel y de aleación de níquel disponibles en forma de alambre para soldadura por arco sumergido. ANSI/AWS A5.14, Especificación para electrodos y varillas desnudos para soldar níquel y aleaciones de níquel, cubre los metales de níquel y de aleaciones de níquel. Los electrodos se clasifican de acuerdo con su composición química de fábrica. Si desea información específica sobre estos electrodos, consulte la versión más reciente de la especificación. Los fundentes para SAW de níquel y aleaciones de níquel tienen composiciones patentadas; conviene consultar con los fabricantes para conocer sus recomendaciones.

CAPÍTULO III

ELEMENTOS EN COSTOS DE SOLDADURA.

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.

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 compañías tienen estandarizados los procedimientos que son usados para varios trabajos de similar naturaleza.

3.1.- 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.

El área de la sección transversal se relaciona con las uniones estándar y se puede modificar para distintos metales basándose en su densidad. En éste capítulo sólo se dan las medidas convencionales en unidades inglesas para no complicar considerablemente las tablas. 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 figura 3.1 se ilustran las 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.

CSA : Area 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.

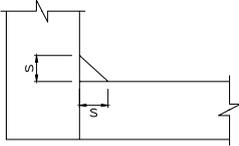
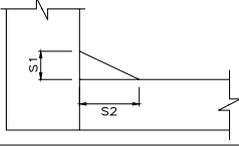
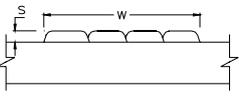
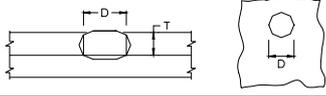
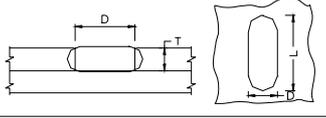
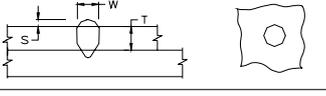
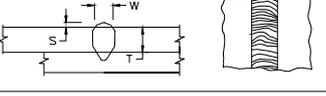
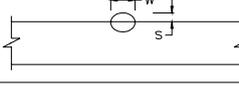
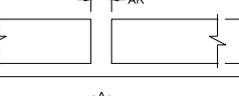
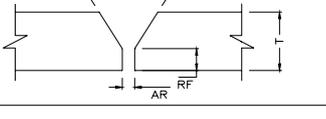
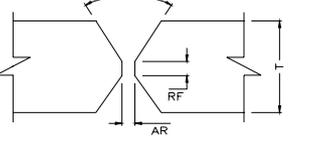
| SOLDADURA | DISEÑO | FORMULA PARA EL AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL |
|---------------------------------------|---|--|
| CHAFLAN (LADOS IGUALES) |  | $CSA = 1/2(S)^2$ |
| CHAFLAN (LADOS DES- IGUALES) |  | $CSA = 1/2(S1 \times S2)$ |
| DE REVES- TIMIENTO |  | $CSA = S \times W$ |
| DE TAPON |  | $V = \pi (D/2)^2 \times T$ LA FORMULA OBTIENE EL VOLUMEN DE METAL DE SOLDADURA POR CADA SOLDADURA |
| DE RANURA |  | $V = [\pi (D/2)^2 + (L-D)D] T$ LA FORMULA OBTIENE EL VOLUMEN DE METAL DE SOLDADURA POR CADA SOLDADURA |
| DE PUNTO AL ARCO |  | $V = 1/2 S [\pi (D/2)^2]$ LA FORMULA OBTIENE EL VOLUMEN DE METAL DE SOLDADURA POR CADA SOLDADURA |
| DE COSTU- RA AL ARCO |  | $CSA = 1/2 WS$ |
| CORDON |  | $CSA = 1/2 WS$ |
| RECTA |  | $CSA = AR \times T$ |
| EN V SIMPLE |  | $CSA = (T-RF)^2 \tan (A/2) + AR \times T$ |
| EN V DOBLE |  | $CSA = 1/2(T-RF)^2 \tan (A/2) + AR \times T$ |

Figura 3.1 Áreas de la sección transversal de las soldaduras

| SOLDADURA | DISEÑO | FORMULA PARA EL AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL |
|----------------|--------|---|
| BISEL SENCILLO | | $CSA = 1/2(T-RF)^2 \tan A + ARxT$ |
| BISEL DOBLE | | $CSA = 1/4(T-RF)^2 \tan A + ARxT$ |
| U SENCILLA | | $CSA = (T-R-RF)^2 \tan(A/2) + 2R(T-R-RF) + 1/2 \pi R^2 + ARxT$ |
| U DOBLE | | $CSA = 1/2(T-2R-RF)^2 \tan(A/2) + 2R(T-2R-RF) + \pi R^2 + ARxT$ |
| J SENCILLA | | $CSA = 1/2(T-R-RF)^2 \tan A + R(T-R-RF) + 1/4 \pi R^2 + ARxT$ |
| J DOBLE | | $CSA = 1/4(T-2R-RF)^2 \tan A + R(T-2R-RF) + 1/2 \pi R^2 + ARxT$ |
| EN V DOBLADA | | $CSA = \frac{(2xR+T)^2 - \pi (R+T)^2}{2}$ |
| BISEL DOBLADO | | $CSA = \frac{(2xR+T)^2 - \pi (R+T)^2}{4}$ |

Figura 3.1 Áreas de la sección transversal de las soldaduras (cont.)

| SOLDADURA | DISEÑO | T en pulg. | CSA en cm ² . | Deposito teorico de soldadura, kg/m | CSA c/ref. en cm ² . | Deposito de soldadura c/refuerzo, kg/m |
|---------------------------------------|--------|---------------|-----------------------------|--|------------------------------------|---|
| CHAFLAN (LADOS IGUALES) | | 1/8 | 0.052 | 0.040 | 0.058 | 0.045 |
| | | 3/16 | 0.116 | 0.091 | 0.129 | 0.100 |
| | | 1/4 | 0.200 | 0.158 | 0.219 | 0.174 |
| | | 5/16 | 0.316 | 0.249 | 0.348 | 0.274 |
| | | 3/8 | 0.416 | 0.355 | 0.497 | 0.391 |
| | | 7/16 | 0.619 | 0.486 | 0.684 | 0.537 |
| | | 1/2 | 0.806 | 0.634 | 0.890 | 0.698 |
| | | 9/16 | 1.019 | 0.801 | 1.123 | 0.881 |
| | | 5/8 | 1.258 | 0.989 | 1.387 | 1.087 |
| | | 3/4 | 1.813 | 1.430 | 1.994 | 1.569 |
| | | 7/8 | 2.471 | 2.240 | 2.645 | 2.465 |
| 1 | 3.230 | 2.540 | 3.550 | 2.798 | | |
| CHAFLAN (LADOS DES- IGUALES) | | 1/4x3/8 | 0.303 | 0.239 | 0.335 | 0.262 |
| | | 3/8x1/2 | 0.606 | 0.476 | 0.665 | 0.523 |
| | | 1/2x5/8 | 1.006 | 0.790 | 1.110 | 0.869 |
| | | 5/8x3/4 | 1.510 | 1.190 | 1.665 | 1.305 |
| | | 3/4x1 | 2.419 | 1.900 | 2.660 | 2.090 |
| RECTA | | 1/8 | 0.103 | 0.080 | 0.123 | 0.097 |
| | | 5/32 | 0.123 | 0.097 | 0.148 | 0.116 |
| | | 3/16 | 0.148 | 0.116 | 0.174 | 0.140 |
| | | 7/32 | 0.174 | 0.137 | 0.206 | 0.164 |
| | | 1/4 | 0.200 | 0.157 | 0.239 | 0.188 |
| | | 9/32 | 0.226 | 0.177 | 0.271 | 0.213 |
| | | 5/16 | 0.252 | 0.197 | 0.303 | 0.236 |
| V SENCILLA | | 1/4 | 0.432 | 0.340 | 0.477 | 0.374 |
| | | 3/8 | 8.826 | 0.573 | 0.910 | 0.629 |
| | | 1/2 | 1.329 | 1.050 | 1.465 | 1.151 |
| | | 5/8 | 1.968 | 1.550 | 2.168 | 1.706 |
| | | 3/4 | 2.700 | 2.130 | 2.970 | 2.346 |
| | | 1 | 4.530 | 3.570 | 4.980 | 3.930 |
| | | V DOBLE | | 3/4 | 1.652 | 1.300 |
| 1 | 2.670 | | | 2.120 | 3.210 | 1.704 |
| 1-1/4 | 3.920 | | | 3.090 | 4.710 | 3.710 |
| 1-1/2 | 5.410 | | | 4.270 | 6.490 | 5.120 |
| 1-3/4 | 7.130 | | | 5.610 | 8.550 | 6.740 |
| 2 | 9.060 | | | 7.130 | 1.090 | 8.550 |
| 2-1/4 | 11.24 | | | 8.870 | 13.48 | 10.49 |
| 2-1/2 | 14.26 | | | 11.23 | 17.11 | 13.48 |
| 2-3/4 | 16.32 | | | 12.85 | 19.59 | 15.43 |
| 3 | 19.21 | | | 15.14 | 23.05 | 18.17 |
| 3-1/2 | 25.60 | | | 20.18 | 30.74 | 24.21 |
| 4 | 36.30 | 28.53 | 43.51 | 34.23 | | |
| BISEL SENCILLO | | 1/4 | 0.406 | 0.321 | 0.445 | 0.353 |
| | | 3/8 | 0.755 | 0.543 | 0.832 | 0.597 |
| | | 1/2 | 1.213 | 0.956 | 1.335 | 1.051 |
| | | 5/8 | 1.941 | 1.530 | 2.135 | 1.682 |
| | | 3/4 | 2.419 | 1.910 | 2.660 | 2.100 |
| | | 1 | 4.030 | 3.180 | 4.430 | 3.500 |
| BISEL DOBLE | | 5/8 | 1.135 | 0.895 | 1.361 | 1.073 |
| | | 3/4 | 1.510 | 1.190 | 1.814 | 1.429 |
| | | 7/8 | 1.942 | 1.530 | 2.329 | 1.834 |
| | | 1 | 2.420 | 1.910 | 2.900 | 2.290 |
| | | 1-1/4 | 3.530 | 2.780 | 4.230 | 3.330 |
| | | 1-1/2 | 4.840 | 3.820 | 5.810 | 4.580 |
| | | 1-3/4 | 6.350 | 5.010 | 7.620 | 6.010 |
| | | 2 | 8.060 | 6.350 | 9.680 | 7.620 |
| | | 2-1/2 | 10.10 | 9.540 | 14.50 | 11.45 |
| | | 3 | 16.94 | 13.34 | 20.30 | 16.01 |

Figura 3.2 Áreas y pesos del depósito de metal de soldadura

| SOLDADURA | DISEÑO | T en pulg. | CSA en cm ² . | Deposito teorico de soldadura, kg/m | CSA c/ref. en cm ² . | Deposito de soldadura c/refuerzo, kg/m |
|---------------|--------|---------------|-----------------------------|--|------------------------------------|---|
| U SENCILLA | | 1/2 | 1.052 | 0.828 | 1.155 | 0.911 |
| | | 3/4 | 2.000 | 1.580 | 2.200 | 1.736 |
| | | 7/8 | 2.530 | 2.000 | 2.780 | 2.195 |
| | | 1 | 3.090 | 2.440 | 3.400 | 2.680 |
| | | 1-1/4 | 4.330 | 3.410 | 4.760 | 3.750 |
| | | 1-1/2 | 5.710 | 4.500 | 6.280 | 4.950 |
| | | 1-3/4 | 7.230 | 5.700 | 7.950 | 6.270 |
| | | 2 | 8.880 | 6.980 | 9.770 | 7.680 |
| | | 2-1/2 | 12.65 | 9.960 | 13.92 | 10.96 |
| 3 | 16.97 | 13.36 | 18.67 | 14.70 | | |
| U DOBLE | | 1 | 2.550 | 2.010 | 3.060 | 2.420 |
| | | 1-1/4 | 3.500 | 2.760 | 4.210 | 3.310 |
| | | 1-1/2 | 4.520 | 3.560 | 5.430 | 4.280 |
| | | 1-3/4 | 5.610 | 4.430 | 7.740 | 5.310 |
| | | 2 | 7.430 | 5.850 | 8.910 | 7.020 |
| | | 2-1/4 | 8.010 | 6.320 | 9.610 | 7.580 |
| | | 2-1/2 | 9.320 | 7.340 | 11.17 | 8.810 |
| | | 2-3/4 | 10.70 | 8.430 | 12.90 | 10.11 |
| | | 3 | 12.12 | 9.660 | 14.55 | 11.47 |
| 3-1/2 | 15.41 | 12.15 | 18.50 | 14.58 | | |
| 4 | 19.04 | 15.01 | 22.85 | 18.02 | | |
| 4-1/2 | 22.31 | 17.58 | 26.59 | 21.10 | | |
| J SENCILLA | | 1/2 | 1.161 | 0.916 | 1.277 | 1.007 |
| | | 3/4 | 1.684 | 1.330 | 1.852 | 1.460 |
| | | 1 | 2.640 | 2.080 | 2.900 | 2.290 |
| | | 1-1/4 | 3.740 | 2.950 | 4.120 | 3.250 |
| | | 1-1/2 | 4.990 | 3.940 | 5.490 | 4.350 |
| | | 1-3/4 | 6.380 | 5.030 | 7.020 | 5.550 |
| | | 2 | 7.930 | 6.250 | 8.720 | 6.870 |
| | | 2-1/4 | 9.620 | 7.580 | 10.58 | 8.240 |
| | | 2-1/2 | 11.45 | 9.020 | 12.59 | 9.920 |
| V DOBLE | | 1 | 2.323 | 1.830 | 2.790 | 2.198 |
| | | 1-1/4 | 2.820 | 2.220 | 3.380 | 2.670 |
| | | 1-1/2 | 3.800 | 3.000 | 4.560 | 3.600 |
| | | 1-3/4 | 4.700 | 3.700 | 5.640 | 4.440 |
| | | 2 | 5.650 | 4.450 | 6.770 | 5.340 |
| | | 2-1/4 | 6.630 | 5.230 | 7.970 | 6.280 |
| | | 2-1/2 | 7.680 | 6.060 | 9.220 | 7.270 |
| | | 2-3/4 | 8.780 | 6.920 | 10.53 | 8.300 |
| | | 3 | 9.900 | 7.810 | 11.88 | 9.370 |
| 3-1/2 | 12.32 | 9.710 | 14.78 | 11.65 | | |
| 4 | 14.92 | 11.75 | 17.91 | 14.10 | | |

Figura 3.2 Áreas y pesos del depósito de metal de soldadura (cont.)

La información que aparece en la figura 3.2 se puede aplicar de distintos modos. Por ejemplo, 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 3.2 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 (3.1).

$$\text{Peso del depósito} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right) = \text{área de la sección transversal} (\text{cm}^2) \times 0.785 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

La constante 0.785 es el peso en kg de 100 cm^3 de acero. Los 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 3.2, 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 3.2 es su utilidad para visualizar cómo se relacionan los costos de soldadura con los diseños de unión. Ilustran la cantidad de metal de soldadura necesarios 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). También se pueden usar para latonado al soplete y para soldadura con soplete de oxigás. 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.

3.2.- Requerimientos de materiales diversos

3.2.1.- Fundentes

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. A nosotros nos interesa 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.

3.2.2.- 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. A nosotros nos va a interesar los tipos de gases utilizados en los procesos de soldadura al arco.

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 utilizados tenemos: Argón, helio, CO_2 y sus mezclas. El argón y el helio 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_2 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, etc.

3.2.3.- 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”, etc. Estos materiales van a incrementar los costos de soldadura y serán considerados dentro del software elaborado para calcular dichos costos como: “costos adicionales”.

3.3.- 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.

3.4.- 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 asignables 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, conserjes 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.
5. Costos de mantenimiento de los edificios, terrenos, etc.
6. Todos los impuestos de la planta, estado real, equipo y planilla de pagos.
7. Calefacción, luz, agua y otros servicios públicos 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. En aquellas instancias donde la mecanización y la robótica son arduamente

empleadas, los costos por gastos generales deben ser asignados sobre la cantidad de metal de aporte que es depositado, la velocidad de soldadura o sobre cada construcción soldada.

CAPÍTULO IV

MÉTODOS PARA DETERMINAR LOS COSTOS DE SOLDADURA.

4.1.- 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 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%.

Tabla 4.1

Factores operador 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 posicionadores 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 4.1 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 contratar 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 contrata 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.

4.1.1.-Importancia del factor operador

El factor operador es un valor específico de cada taller de soldadura y debe reflejar las prácticas de cada taller individual y de cada lugar de trabajo, es en esta área donde se encuentra gran dificultad al momento de recopilar información ya que esta labor requiere de tiempo y además porque esta información puede variar grandemente de un instante a otro, de un trabajo a otro y también de un grupo de soldadores a otro. El factor operador es una de las variables de la soldadura que en la actualidad es poco apreciada y comprendida; este puede ser considerado como el resultado final de todas las selecciones hechas por el ingeniero soldador en el sentido que será afectado por todas las prácticas del taller.

El factor operador o ciclo de trabajo es uno de los factores más importantes en las fórmulas de costos, por lo que deberá ser calculado con la mayor exactitud para hacer relevantes las evaluaciones de los costos. Sin embargo, pocos gerentes o administradores miden el factor operador para sus procesos de soldadura, en lugar de esto lo que comúnmente hacen es “adivinar” su valor, el cuál resulta generalmente sobreestimado.

Algunos gerentes tienen la impresión que su factor operador está cerca o más alto que el 80%, esto hace que ellos se sientan bien acerca de lo que está sucediendo en el taller sin darse cuenta que hay mucha

diferencia entre el número de horas que el soldador pasa en el taller y la duración de arco. A causa de que el factor operador no es medido, el gerente no es capaz de determinar exactamente que factores positivos o negativos están influenciando dentro del ambiente de trabajo. Algunas de las variables que afectan directamente al factor operador son las siguientes:

Arreglo y abastecimiento del taller.

Ética de trabajo en el taller.

Nivel de comodidad del soldador en su estación de trabajo.

Proceso de soldadura utilizado.

Diseño de la unión.

Suministro del gas de protección.

Diseño de la guía.

Requerimientos de precalentamiento y equipos de calefacción.

Disponibilidad de la guía.

Acceso a esmeriles o equipo de corte.

Acceso a los almacenes.

A continuación se realizará una breve discusión de algunas de las variables antes mencionadas y sus efectos en el factor operador.

El arreglo del taller afecta directamente al tiempo que se consume

manipulando el material, el cual afecta negativamente al factor operador. El tiempo que se gasta en buscar herramientas, cables de soldar y mangueras de aire en el taller puede ser sorprendentemente alto.

La ética de trabajo en el taller tiene un efecto dramático en el factor operador, éste puede ser influenciado si es que el taller es uniformizado o no, pero creemos que las cualidades de los líderes gerenciales y su capacidad en la organización y en el planeamiento de trabajo tienen un igual o mayor efecto determinante sobre la ética de trabajo. La comodidad y agrado del soldador, en cuanto a procesos de soldadura y a materiales consumibles se refiere, también afectan significativamente el factor operador. Es sentido común pensar que un soldador produzca más cuando trabaje en posición cómoda y en un buen ambiente. Debido a la naturaleza hostil de la soldadura, deben tomarse todas las posibles medidas para aumentar el nivel de comodidad del soldador, por lo que deben considerarse los siguientes aspectos:

- 1.- ¿Está la pieza adecuadamente posicionada?
- 2.- ¿ La extracción de los gases o el uso de casco para soldar tienen influencia positiva?
- 3.- ¿ Hay un sistema de enfriamiento disponible para usarlo en áreas calientes?
- 4.- ¿ Es la eliminación de ruido una prioridad?
- 5.- ¿ Es el destello del arco de otras soldaduras un problema?

La selección del proceso de soldadura es crucial para determinar el factor operador en una estación de trabajo. Excepto para la industria automotriz, la mayoría de los procesos de soldadura los realiza un soldador empleando un proceso de arco eléctrico. En esta área, los procesos semiautomáticos y mecanizados de GMAW, FCAW y SAW han claramente demostrado sus ventajas. No debería haber duda acerca de los aumentos en el factor operador obtenidos por el cambio de un proceso manual a un proceso semiautomático o de un proceso semiautomático a un proceso mecanizado.

El diseño de la junta debe contribuir a un elevado factor operador en los procesos de soldadura. La longitud de la junta también afecta el factor operador. Encontramos que a mayor longitud promedio de pasada, más alto es el factor operador. Por consiguiente, el diseño de la junta debería tener en consideración el volumen de soldadura y la longitud promedio de pasada. La soldadura intermitente, por ejemplo, puede reducir el volumen de soldadura pero aumentar el factor operador cuando se aplica a un proceso mecanizado. Una posible mejora podría ser el uso de filetes continuos de pequeño tamaño. En la práctica los diseños de las uniones deberían requerir solamente un proceso de soldadura, pero esto no siempre es posible, como en el caso de la soldadura de un conducto, pero deberá reconocerse que cambiar de un proceso a otro requiere tiempo.

Requerimientos de precalentamiento y el equipo disponible para precalentamiento pueden afectar negativamente el factor operador. Los siguientes puntos deberán ser considerados: ¿Está el equipo de diseño consciente de los requerimientos de precalentamiento para su selección de material?, ¿Se encuentra el equipo adecuado, accesible para soldar fácilmente en el piso del taller?.

Debemos tener en cuenta que los soldadores de mayor experiencia ocasionalmente cometerán errores. Si existe la inconveniencia de que los equipos de esmerilado o de corte no se encuentren a la mano, se perderá tiempo encontrando y activando estos equipos, y podría darse la posibilidad de que el soldador no corrija el error. Por otra parte si los almacenes del taller están ubicados lejos de la estación reparadora, el factor operador se reducirá debido a que se perderá tiempo en realizar actividades tales como reemplazar una cubierta de plástico o guantes de soldar.

De acuerdo lo antes mencionado, es obvio que la estimación exacta y el control de costos de soldadura requieren un conocimiento amplio del aspecto técnico y del comportamiento de la soldadura; esto es esencial para que los gerentes o administradores tengan una imagen clara del ambiente del taller. Esto sólo podrá ser alcanzado con un análisis completo de todas las variables de soldadura que interactúan en

el taller.

Para que las plantas sigan siendo competitivas, sus gerencias tendrán que mejorar su entendimiento y control de las variables de los procesos de soldadura. El estado actual de las cosas conducirá a unas mayores pérdidas y a un posible cierre de plantas.

4.2.- Requerimiento y costo del metal de aporte

La sección 3.1 proporciona la información necesaria para calcular el “peso del metal depositado” en una unión soldada o en una construcción soldada. También contienen tablas que proporcionan el peso del depósito de soldadura para diseños estándar para distintos espesores de material. El peso total del metal de soldadura depositado en la unión, o el necesario para producir la construcción soldada, se puede calcular fácilmente con esas 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. Expuesto de otro modo, 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, etc. Esto se puede demostrar por la ecuación (4.1). Esas

pérdidas a veces se representan como una proporción y se denominan eficiencia de depósito, rendimiento del metal de aporte, o relación de recuperación.

$$\text{Peso del metal de aporte necesario (kg)} = \left(\frac{\text{Peso del metal de soldadura depositado (kg)}}{1 - \text{Pérdida total de electrodos}} \right) \quad (4.1)$$

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 encuentra en la ecuación (4.2), 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.

$$\text{Peso del metal de aporte necesario (kg)} = \left(\frac{\text{peso del metal de soldadura depositado (kg)}}{\text{rendimiento del metal de soldadura (\%)}} \right) \quad (4.2)$$

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 2". La pérdida por recubrimiento o escoria de un electrodo cubierto puede ir desde 10 hasta 50%. Los recubrimientos más delgados de un electrodo E6010 quedan en el extremo inferior de la escala, y se aproximan al 10%, mientras que el recubrimiento de un electrodo tipo E7028 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.

Para tener resultados exactos hay que medir el rendimiento del electrodo por usar. Puede haber hasta 5% de pérdidas por salpicadura; por tanto, la eficacia de depósito o rendimiento de los electrodos de núcleo de fundente varía entre 75 a 85%. La eficacia de depósito o rendimiento del material de aporte y del proceso tienen un efecto importante sobre el costo del metal de soldadura depositado.

$$\text{Costo del electrodo}(\$/\text{m}) = \left(\frac{\text{Precio del electrodo}(\$/\text{kg}) \times \text{metal de soldadura depositado}(\text{kg}/\text{m})}{\text{Rendimiento del metal de aporte}(\%) } \right) \quad (4.3)$$

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 (4.3). El precio del electrodo es el costo de planta del usuario. El precio del electrodo se puede reducir comprando en lotes de gran tamaño. En esta fórmula se puede tomar el rendimiento de la tabla 4.2. Estas son cifras promedio y deben ser suficientes para la mayoría de cálculos; sin embargo, para mayor exactitud se deben hacer mediciones reales usando los metales de aporte que se van a emplear.

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 (4.4).

Tabla 4.2

Rendimiento del metal de aporte para varios tipos de electrodos

| Tipo de electrodo y proceso | Rendimiento (%) |
|--|-----------------|
| Electrodo recubierto para: | |
| Arco metálico sumergido, 14" manual | 55 a 65 |
| Arco metálico sumergido, 18" manual | 60 a 70 |
| Arco metálico sumergido, 28" automático | 65 a 75 |
| Electrodo desnudo macizo para: | |
| Arco sumergido | 65 a 75 |
| Electroslag | 95 a 100 |
| Arco metálico en gas | 90 a 95 |
| Uso en alambre frío | 100 |
| Electrodo tubular con núcleo de fundente para: | |
| Arco con núcleo de fundente | 0 a 85 |
| Uso en alambre en frío | 100 |

$$\text{Peso del metal necesario} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \right) = \left(\frac{\text{Velocidad de alimentación del alambre (m/min)} \times 60}{\text{Longitud del alambre por Kg(m/kg)}} \right) \quad (4.4)$$

Tabla 4.3

Longitud y peso (metros por kilogramo) de un electrodo de alambre desnudo de varios tipos y tamaños.

| Diámetro | Alambre | Metros de metal o aleación por kilogramo | | | | | | | | |
|----------|---------|--|----------------------------|-------------------------|-------------------|-------|------|------|----------------|----------------|
| | | Al | Aluminio, 10% Bronce | Bronce al Silicio | Cobre (desox.) | Cu-Ni | Mg | Ni | Acero suave | Acero inox. |
| 0.020 | | 1809 | 648 | 575 | 547 | 556 | 2820 | 553 | 620 | 611 |
| 0.025 | | 1245 | 444 | 396 | 377 | 381 | 1937 | 381 | 429 | 422 |
| 0.030 | | 805 | 288 | 257 | 243 | 247 | 1251 | 246 | 277 | 272 |
| 0.035 | | 592 | 211 | 189 | 179 | 182 | 921 | 181 | 204 | 200 |
| 0.040 | | 453 | 162 | 144 | 137 | 139 | 704 | 138 | 156 | 154 |
| 0.045 | 3/64 | 358 | 128 | 114 | 108 | 110 | 558 | 109 | 123 | 121 |
| 0.062 | 1/16 | 189 | 62 | 59.7 | 57 | 58 | 294 | 57.5 | 65 | 64 |
| 0.078 | 5/64 | 118 | 42.2 | 37.7 | 35.7 | 36.3 | 184 | 36.1 | 40.8 | 40.0 |
| 0.093 | 3/32 | 84 | 30.0 | 28.5 | 25.4 | 25.8 | 131 | 25.7 | 29.0 | 28.5 |
| 0.125 | 1/8 | 46.1 | 16.5 | 14.7 | 13.9 | 14.1 | 71 | 14.0 | 15.9 | 15.6 |
| 0.156 | 5/32 | 29.6 | 10.6 | 9.43 | 8.93 | 9.10 | 46.0 | 9.05 | 10.1 | 10.0 |
| 0.187 | 3/16 | 21.0 | 7.5 | 6.70 | 6.37 | 6.48 | 32.8 | 6.42 | 7.26 | 7.09 |
| 0.250 | 1/4 | 11.5 | 4.13 | 3.69 | 3.46 | 3.57 | 17.9 | 3.52 | 3.9 6 | 3.91 |

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 (4.5). 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 (4.6). La información anterior entonces se tendrá que multiplicar por el precio del electrodo (\$/kg) para obtener el costo del electrodo en \$/m.

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 (ver tabla 4.4). 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.

$$\text{Velocidad de recorrido (m/hr)} = \text{Velocidad de recorrido (m/min)} \times 60 \quad (4.5)$$

$$\text{Peso del metal de aporte necesario (Kg/m)} = \left(\frac{\text{Velocidad de depósito (kg/hr)}}{\text{Velocidad de recorrido (m/hr)}} \right) \quad (4.6)$$

4.3.- Costos de materiales diversos

4.3.1- 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 (4.7).

Tabla 4.4
Longitud por kilogramo de electrodo de alambre con núcleo de fundente.

| Diámetro del electrodo (en pulgadas) | Longitud por peso (metros / kilogramo) |
|---|---|
| 0.045 | 134 |
| 1/16 | 70 |
| 5/64 | 55.8 |
| 3/32 | 36.3 |
| 7/64 | 26.2 |
| 0.120 | 21.2 |
| 1/8 | 19.3 |
| 5/32 | 12.6 |

$$\text{Cto. del fundente (\$/m)} = \text{Precio del fundente (\$/kg)} \times \text{Peso del depósito (kg/m)} \times \text{Relación de fundente (4.7)}$$

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.

Para la soldadura electroslag, la relación de fundente a electrodo de alambre depositado es de 5 a 10 kg de fundente por cada 100 kg de electrodo consumido. Esto hace una relación de fundente-acero de 0.05 a 0.10. La cantidad exacta de fundente usado se basa en el área superficial de las zapatas de retención expuestas en el charco de fundente. La regla general es de 110 gr de fundente por cada 30 cm de altura de la unión. La relación de 10% que se mencionó es suficiente para cubrir el costo del fundente del electroslag.

En la soldadura con oxígeno y combustible, y en el latonado, la cantidad de fundente que se usa también se puede relacionar con la del alambre de aporte que se consume. Esta relación generalmente fluctúa entre 5 a 10%. Se pueden hacer comprobaciones exactas para tener una relación de fundente más precisa, sí así se desea.

4.3.2.- 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 multiplicado 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 (4.8).

$$\text{Costo del gas } \left(\frac{\$}{\text{m}} \right) = \left(\frac{\text{Precio del gas } (\$/\text{m}^3) \times \text{caudal } (\text{m}^3/\text{hr})}{\text{Velocidad del recorrido de soldadura } (\text{m}/\text{hr})} \right) \quad (4.8)$$

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 (4.9).

$$\text{Costo del gas (\$/min)} = \left(\frac{\text{Precio del gas (\$/m}^3\text{)} \times \text{Caudal (m}^3\text{/hr)} \times \text{Tiempo de soldadura (min)}}{60} \right) \quad (4.9)$$

4.3.3.- Costos de otros materiales

Para obtener un costo total de una soldadura en particular se deben incluir otros renglones. Comprenden el costo de férula y pernos en la soldadura de arco con pernos, etc. 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. También se necesita una férula o boquilla de cerámica para cada soldadura, por lo que también se debe incluir su costo al hacer cada soldadura de perno.

4.4.- 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 dólares por metro aparece en la ecuación (4.10). 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.

$$\text{Costo de mano de obra } \left(\frac{\$}{\text{m}} \right) = \left(\frac{\text{Tarifa de pago al soldador } (\$/\text{hr})}{\text{Velocidad de recorrido } (\text{m}/\text{hr}) \times \text{Factor operador } (\%)} \right) \quad (4.10)$$

Cada uno de los elementos de esta fórmula requiere un profundo análisis. La tarifa de pago por hora al soldador se puede incluir en la fórmula; sin embargo, en la mayoría de casos, las compañías prefieren factorizar la tarifa de pago para cubrir las prestaciones, como el costo de seguro, vacaciones, días festivos, etc. Este es un factor que se debe determinar y estar de acuerdo con los sistemas de contabilidad de cada compañía. Lo mismo se debe hacer para determinar los costos de maquinado y otros costos directos de mano de obra en la planta.

La hipótesis anterior se aplica principalmente a las soldaduras de un solo paso, porque está disponible la velocidad de recorrido de la soldadura, en los catálogos de procedimientos. Se debe usar cuando no se deposite metal, especialmente en la soldadura de tungsteno con gas y de arco de plasma. 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 mucho 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, etc.

Para calcular el factor operador, cuando no se dispone de otros datos, será de gran ayuda la tabla 4.1. En ésta se muestra la relación del

factor operador con el método de aplicación de soldadura. 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 (4.11).

$$\text{Costo de mano de obra} (\$/m) = \left(\frac{\text{Sueldo del soldador } (\$/hr) \times \text{Peso del depósito } (kg/m)}{\text{Velocidad de depósito } (kg/hr) \times \text{Factor operador } (\%)} \right) \text{ (Ec.4.11)}$$

Los datos sobre el peso de depósito del metal en kilogramos por metro se presentan en la figura 3.2. Como ya se mencionó, se puede cambiar para distintos metales si se usa el peso específico del metal en la fórmula. Esta referencia es universal cuando se usa el factor adecuado de

densidad. 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. Los diagramas y las gráficas que se presentaron en las secciones sobre los procesos particulares proporcionan información sobre la velocidad del depósito. La figura 4.1 está diseñada para cubrir la mayoría de estos procesos, cuando usan electrodos de acero.

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. Las figuras 4.2 a 4.4 contienen los datos necesarios. Estas curvas muestran la velocidad de alimentación del electrodo por minuto o por hora, en función de la corriente. La velocidad de fusión y la velocidad de alimentación del alambre son las mismas. Se pueden usar las curvas para estos cálculos. Se dan las velocidades de fusión en metros por minuto según el tipo y el tamaño del

electrodo, el proceso de soldadura y la corriente. La tabla 4.3 muestra la longitud de un electrodo de alambre desnudo por kilogramo para distintos metales. La relación entre la velocidad de fusión y el peso del metal de aporte fundido se puede determinar mediante la ecuación (4.12).

$$\text{Veloc. de depósito (kg/hr)} = \left(\frac{\text{Veloc. de fusión (m/min)} \times 60}{\text{Longitud del electrodo por peso (m/kg)} \times \text{rendto. del metal de relleno (\%)}} \right) \quad (4.12)$$

Las gráficas de velocidad de alimentación del alambre ayudarán a calcular la velocidad de fusión y la tabla 4.3 a determinar la longitud y el peso del alambre del electrodo. La velocidad de depósito, en kilogramos de metal depositado por hora, se relaciona con la velocidad de fusión dividiendo ésta entre el rendimiento del metal de aporte o la eficacia del depósito. Para sistemas de alambre desnudo (GTAW, SAW y GMAW) el rendimiento es alto, como se ilustra en la tabla 4.2.

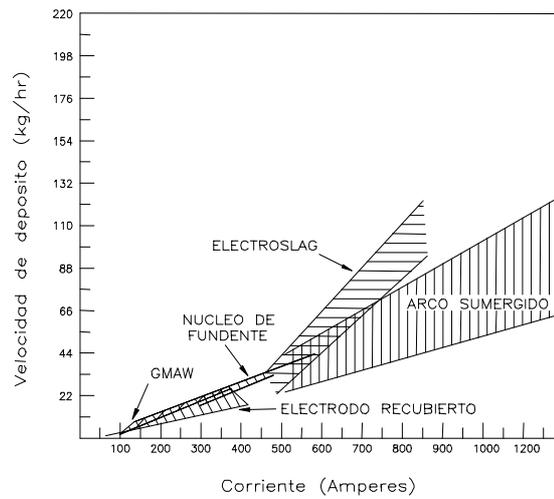


Figura 4.1 Velocidades de depósito para varios procesos con electrodos de acero

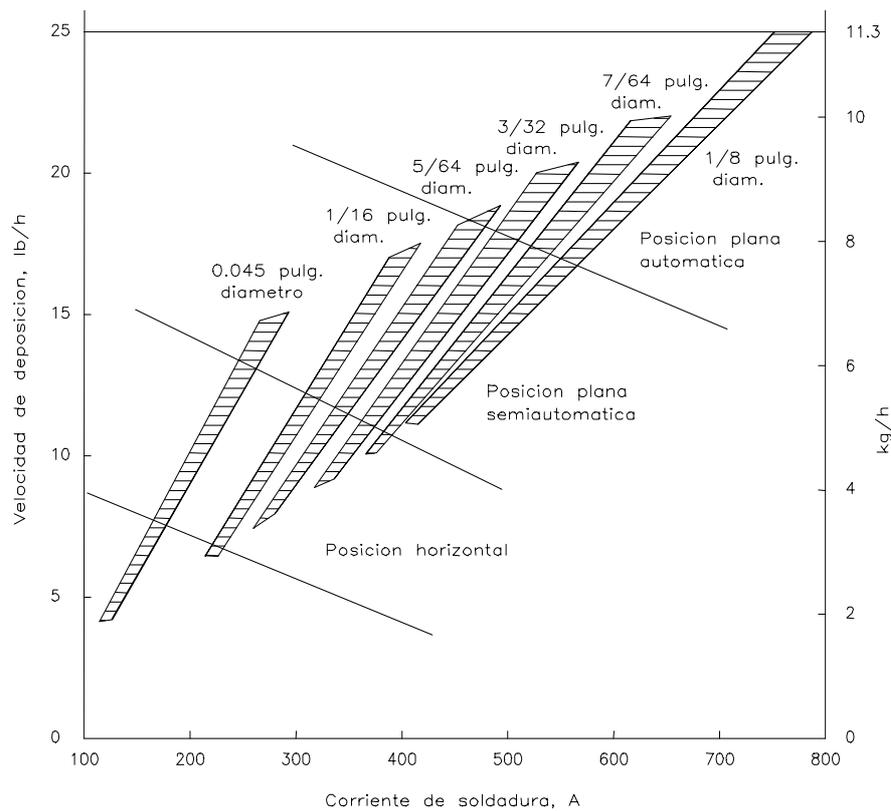


Figura 4.2 Velocidad de deposición Vs. Corriente de soldadura para electrodos (E70T-1) de acero dulce con CO como gas protector

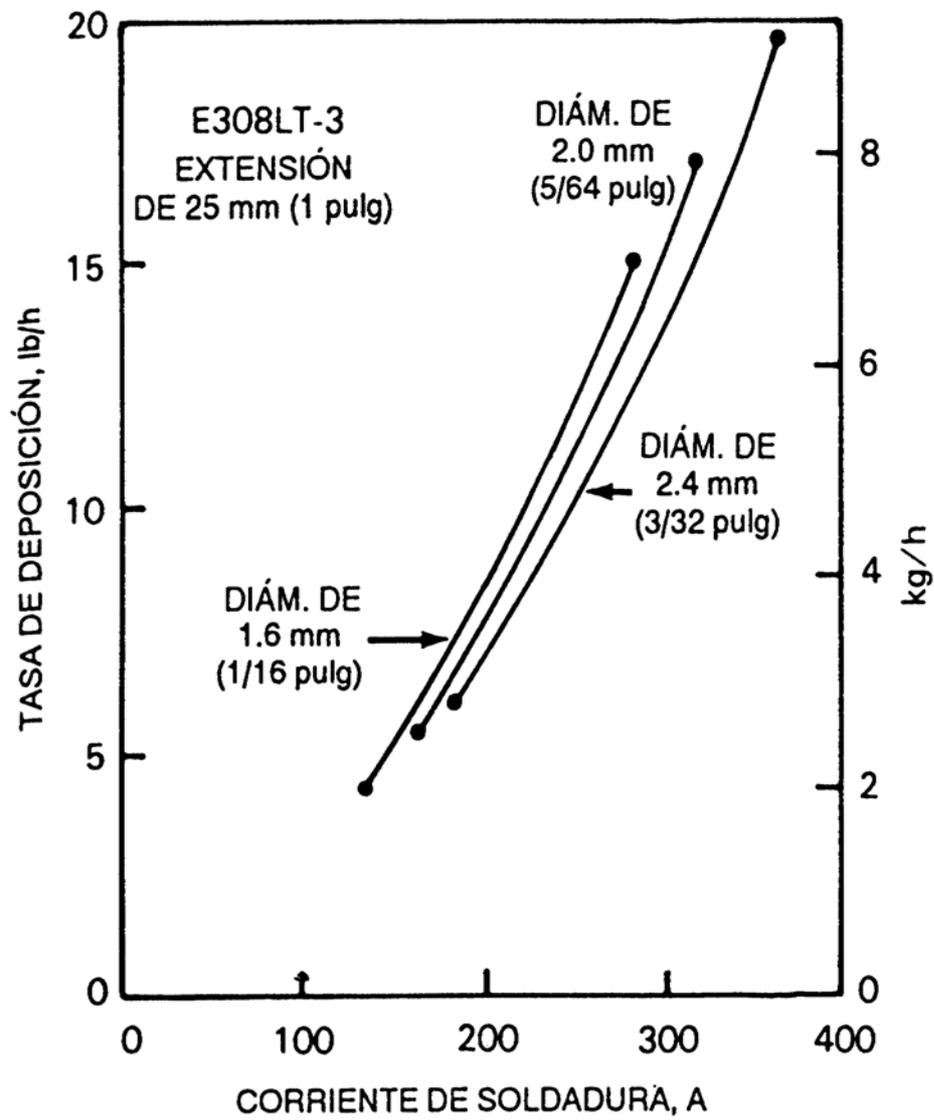


Figura 4.3. Velocidad de deposición para electrodos de acero inoxidable E308LT-3 con autoprotección

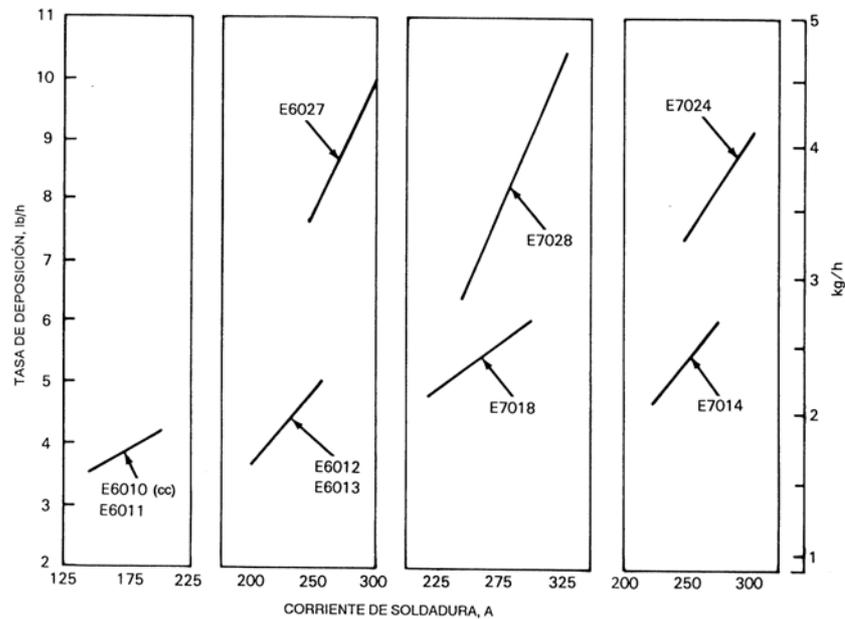


Figura 4.4. Velocidad de deposición para diversos tipos de electrodos de acero al carbono de 4.8mm de diámetro

4.5.- Datos estándar

Los datos estándar pueden estar en muchas formas, pero usualmente en tablas^φ o en forma de gráficos. Pueden ser almacenados en el sistema de memoria de un computador y recobrados para usarlos. Ejemplos de datos estándar son dados en la figura 4.2 y en la tabla 4.5. Un sensato uso de los datos estándar es esencial en la obtención exacta de los costos de soldadura.

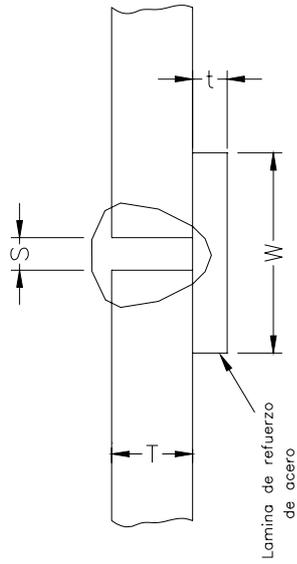
^φ Los datos estándar para soldadura al arco fueron tomados de las siguientes publicaciones: Datos estándar para soldadura al arco de (acero), Cambridge, Inglaterra: El instituto de soldadura, 1975. Manual de procedimientos de soldadura al arco, 12ava edición, Cleveland, OH: La compañía eléctrica Lincoln, 1973.

Tablas y gráficos que proveen los costos finales cuando los precios de mano de obra son insertados deben ser usadas con precaución porque los datos pueden ser aplicados sólo a un conjunto específico de condiciones. Por ejemplo, el diseño de la junta de soldadura puede variar con respecto a la abertura de raíz o ángulo de bisel, o el reforzamiento de la soldadura puede diferir.

La eficiencia de la deposición del electrodo seleccionado puede ser diferente a la del electrodo usado en el dato de construcción, o el factor operador puede variar significativamente del valor asignado en el dato. El dato puede ser predispueto a favor de un proceso sobre otro.

4.6.- 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 (4.13).



| Espesor de la plancha (T) | Abertura de raíz S | | Corriente A ^a | Voltaje V ^a | Velocidad de viaje | | Diámetro del electrodo | | Consumo del electrodo | | Lamina de refuerzo | | | | |
|---------------------------|--------------------|-----|--------------------------|------------------------|--------------------|----------|------------------------|-----|-----------------------|-------|--------------------|-----|------|------|-----|
| | mm. | in. | | | mm/s | in./min. | mm. | in. | kg/m | lb/ft | mm. | in. | mm. | in. | |
| 3.6 | 10ga | 1.6 | 0-1/16 | 650 | 28 | 20 | 48 | 3.2 | 1/8 | 0.104 | 0.070 | 3.2 | 1/8 | 15.9 | 5/8 |
| 4.8 | 3/16 | 1.6 | 1/16 | 850 | 32 | 15 | 36 | 4.8 | 3/16 | 0.194 | 0.130 | 4.8 | 3/16 | 19.0 | 3/4 |
| 6.4 | 1/4 | 3.2 | 1/8 | 900 | 33 | 11 | 26 | 4.8 | 3/16 | 0.248 | 0.200 | 6.4 | 1/4 | 25.4 | 1 |
| 9.5 | 3/8 | 3.2 | 1/8 | 950 | 33 | 10 | 24 | 5.6 | 7/32 | 0.357 | 0.240 | 6.4 | 1/4 | 25.4 | 1 |
| 12.7 | 1/2 | 4.8 | 3/16 | 1100 | 34 | 8 | 18 | 5.6 | 7/32 | 0.685 | 0.460 | 9.5 | 3/8 | 25.4 | 1 |

a. C.C, polaridad invertida (electrodo positivo)

Tabla 4.5 Condiciones típicas de soldadura para un único electrodo con máquina para soldar al arco sumergido planchas de acero utilizando una pasada (filete rectangular)

$$\text{Cto. de energía eléctrica } \left(\frac{\$/\text{m}}{\text{m}} \right) = \left(\frac{\text{Tarifa eléctrica } \left(\frac{\$/\text{Kwh}}{\text{Kwh}} \right) \times \text{Volts.} \times \text{Amperios} \times \text{Peso del metal depositado } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right)}{1000 \times \text{Velocidad de depósito (kg/hr)} \times \text{Factor operador } (\%) \times \text{Eficacia de la fuente de energía}} \right) \quad (4.13)$$

La tarifa local de energía eléctrica se basa en la cantidad cobrada a la empresa por la compañía de luz local. Si se incurre en gastos generales por tiempo, factor de potencia, etc., 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, y se puede encontrar por la curva de operación de la máquina.

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.

4.7.- Costos por gastos generales

Los gastos generales incluyen una gran cantidad de partidas, tanto en la fábrica como en la oficina. Constan sueldos de ejecutivos de la empresa, supervisores, inspectores, del personal de mantenimiento, limpieza y otras personas de las que no se puede cargar directamente su salario a un trabajo de soldadura o construcción en particular. Esos costos se prorratan entre el trabajo que se ejecuta en la planta. Otro factor importante de los gastos generales es la renta o depreciación de la planta, el mantenimiento general del edificio, terrenos, etc. La depreciación del equipo de la planta comprende las máquinas soldadoras, el equipo de manejo de materiales, grúas aéreas, y todo equipo que no esté cargado directamente a determinada construcción soldada. Además, todos los impuestos sobre la planta, terrenos, equipos, nómina y demás impuestos que se apliquen a su funcionamiento se consideran como gastos generales. Otro tipo de gastos generales son las herramientas pequeñas, tales como martillos, portaelectrodos, equipo de seguridad, etc., que no estén cargados a trabajos específicos. Además, en la mayoría de plantas también se carga a la cuenta de gastos generales el valor de la calefacción, alumbrado, mantenimiento y reparación de edificios y equipo.

Casi todas las plantas o fábricas tienen sistemas semejantes para manejos de estos gastos, pero varían en detalles, por lo que no se describirán aquí. En todos los casos, sin embargo, los gastos generales

se deben distribuir entre los trabajos de soldadura de una u otra manera.

En algunos casos se basan en una tonelada de acero fabricado o en el peso de acero consumido. Sin embargo, los gastos generales por lo general se prorratan de acuerdo con los gastos directos de mano de obra contra los distintos trabajos de soldadura. Cuando se usa este sistema es esencial contar con costos exactos de mano de obra para las construcciones soldadas.

A veces los gastos generales se controlan por separado y no se incluyen en la tarifa de los soldadores. Cuando éste es el caso, se usan las mismas fórmulas que las descritas antes [es decir, las ecuaciones (4.9) y (4.10)], pero el factor de gastos generales se sustituye en la tarifa del soldador. Ambos se calculan en dólares por hora.

Para soldadura en un solo paso se debe consultar la ecuación (4.14). El ciclo de jornada o factor operador no se modifican.

$$\text{Gasto indirecto } \left(\frac{\$}{\text{m}} \right) = \left(\frac{\text{Gasto indirecto } \left(\frac{\$}{\text{hr}} \right)}{\text{Velocidad de recorrido (m/hr)} \times \text{Factor operador (\%)}} \right) \quad (4.14)$$

Para soldadura en pasos múltiples se deberá consultar la ecuación (4.15).

$$\text{Gasto indirecto } \left(\frac{\$/\text{m}}{\text{m}} \right) = \left(\frac{\text{Factor de gasto indirecto } \left(\frac{\$/\text{hr}}{\text{hr}} \right) \times \text{peso del depósito de metal de soldadura } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right)}{\text{Velocidad de depósito (kg/hr)} \times \text{Factor operador } (\%)} \right) \quad (4.15)$$

CAPÍTULO V

SISTEMA PROPUESTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE ELECTRODO A UTILIZAR Y PARA EL CÁLCULO DE LOS COSTOS DE SOLDADURA AL ARCO

5.1.- OBJETIVOS

- 1.- Facilitar el trabajo a las personas encargadas de seleccionar el tipo de electrodo a utilizar y de realizar el cálculo de los costos de los procesos de soldadura al arco; haciendo que la computadora realice la mayor parte del trabajo.
- 2.- Tener un mayor control en el almacenamiento, consulta y modificación de datos referidos a los costos de procesos de soldaduras y a la selección de electrodos.

- 3.- Facilitar la selección de electrodos y el cálculo de costos de soldadura al arco en un periodo de tiempo reducido.

5.2.- DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO

5.2.1.- GENERALIDADES

El sistema propuesto consta 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.

Los programas son 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.

Está estructurado en dos grandes módulos: Selección de Electrodo 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 Soldadura para Electrodo Estructurales" de la empresa "Fontargen".

5.2.2.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

Para lograr los objetivos trazados, seleccionar de manera precisa el 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 contiene, 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. Además contiene los programas que permiten la generación de reportes.

Hay que resaltar que los módulos han sido diseñados siguiendo el orden lógico que puede 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.

5.3.- LENGUAJE UTILIZADO

Para el desarrollo de la programación de este sistema se eligió un lenguaje de alto nivel denominado FOXPRO en su versión 2.6 para Windows, considerado por la crítica especializada como un manejador de base de datos muy potente.

El FOXPRO 2.6 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, etc.

El FOXPRO 2.6 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 FOXPRO 2.6 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 FOXPRO 2.6 se realiza en un ambiente propio del FOXPRO 2.6. La diferencia en la velocidad de ejecución la podemos ver ejecutando los programas en ambiente FOXPRO 2.6 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.

El FOXPRO 2.6 ofrece todas las facilidades de un compilador. A través de un lenguaje sencillo y fácil de usar, puede crear y compilar programas. El desarrollo del programa se realiza en ambiente FOXPRO. Allí se realizan los programas y las pruebas. Una vez terminada la etapa de prueba, se procede a compilar y enlazar automáticamente. El KIT Compilador crea un archivo EXE que puede ser ejecutable directamente en cualquier computadora que tenga Windows 3.1 o posteriores.

Concluyendo, el FOXPRO 2.6 es una excelente herramienta para la gestión de base de datos. Es muy fácil de programar y necesita muy pocos recursos de hardware para que sus programas ejecutables puedan aplicarse en una PC.

5.4.- Utilización del sistema

5.4.1.- Nociones generales

El sistema propuesto ha sido realizado de manera que la operación del mismo sea muy fácil, sin embargo, el usuario debe tener claros algunos conceptos, antes de usarlos.

La computadora procesa los datos que le son ingresados, y nunca se equivoca o se olvida de algo. Si los datos que se ingresan no son correctos, entonces la información resultante tampoco lo será. El usuario debe poner especial cuidado al momento de ingresar datos; en caso de error se podrían obtener resultados no deseados.

Aunque el sistema verifica la mayoría de datos que son ingresados por el usuario, con el fin de detectar errores, existen algunos que no se pueden detectar.

La información almacenada en medios magnéticos, puede alterarse o perderse definitivamente (casual o accidentalmente), por ello es recomendable tener copias de los archivos donde se almacena información importante.

5.4.2.- Características del sistema

5.4.2.1.- Fácil de operar

Antiguamente los lenguajes de programación eran bastante complejos, por lo que diseñar un sistema computarizado no era una tarea sencilla. El analista y el programador generalmente se preocupaban por diseñar y programar, respectivamente, un sistema que funcionara bien, y no por crear uno de uso fácil. El usuario de tales sistemas requería de cierta capacitación en el manejo del mismo y además debía ser muy cuidadoso, porque los errores podían tener consecuencias graves.

Con el advenimiento de lenguajes de programación más potentes, la tarea del programador se facilitó y éste pudo dedicar más tiempo en los procesos de ayuda al usuario. De esta manera, cualquier persona con un mínimo de capacitación y asistido por el propio sistema, con la información e instrucciones necesarias, sería capaz de utilizar hasta los sistemas más complejos.

Con esto en mente, se desarrolló un software capaz de asistir al usuario en todo momento, con la información oportuna, para evitar errores y dudas.

El sistema opera fácilmente a través de menús. Un menú es una lista de opciones numeradas, de la cual se puede elegir una, presionando la tecla correspondiente al número de ésta.

El menú de un sistema cumple la función de un índice, mostrando al usuario una descripción de los procesos disponibles en ese momento. En algunos casos, la opción de un menú conducirá al usuario a otro menú. El sistema permitirá siempre, abandonar una opción si ésta fue elegida por error o accidente por medio de la tecla ESC o haciendo clic en el botón Salir. El uso del mouse en el sistema es una alternativa importante. Puesto que el sistema trabaja con muchos objetos usados en el ambiente Windows, su uso puede resultar, muchas veces, más sencillo para el usuario que el uso de teclado en la selección de objetos.

Además de los menús, el sistema presenta múltiples formas de ingresar información, así tenemos cuadros de diálogo, listas desplegables, botones radio, botones check, y botones invisibles.

5.4.2.2.- Rápido

Además del notable incremento de la velocidad de ejecución del sistema, ya que ha sido compilado, se ha usado la técnica de indexación de archivos, para mantener en orden los datos de un archivo todo el tiempo, sin necesidad de ordenarlos cada vez que se realice una

modificación. Esto permite la reducción del tiempo de búsqueda de la información indexada ya que el manejador de tablas del FOXPRO sabe exactamente dónde buscarla y puede encontrarla en décimas de segundo, sin importar el tamaño del archivo.

5.4.2.3.- Seguro

El sistema propuesto es una herramienta para la toma rápida de decisiones. Sus consultas y estadísticas pueden resultar un arma diferencial para la empresa que lo use.

El sistema ofrece la posibilidad de manejar y controlar un archivo de usuarios del mismo.

5.4.2.4.- Recomendaciones

Para conservar la información almacenada en los archivos del sistema y/o evitar pérdidas lamentables, deben seguirse las siguientes recomendaciones:

Nunca se debe apagar la computadora durante la ejecución de algún programa, especialmente durante una operación de lectura y/o escritura en disco. Esto puede provocar el daño irreversible de la unidad que estaba siendo utilizada en el momento de la interrupción.

Periódicamente se deben hacer copias de seguridad de los principales archivos del sistema. Es recomendable tener hasta dos juegos de copias.

Nunca se debe dejar al sistema o computadora en estado de “espera”; si la ejecución de un proceso debe interrumpirse temporalmente, es mejor salir del menú correspondiente (el que permitió que dicho proceso se ejecutara), o salir del sistema. Recuérdese que, si ocurre una interrupción de fluido eléctrico, cuando estaba dentro de una opción, la información que hubiera sido añadida o modificada se perderá.

Se debe verificar siempre si la información ingresada a la computadora es la correcta, y seguir cuidadosamente las indicaciones del sistema (cada vez que escuche un beep o aparezca una ventana de diálogo en la parte superior derecha de la pantalla).

CAPÍTULO VI

REDUCCIÓN DE COSTOS DE SOLDADURA.

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.

Las siguientes sugerencias deben ser consideradas para minimizar los costos de soldadura.

6.1.- Consideraciones a tener en cuenta en el diseño de las construcciones soldadas

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 $1/4"$ 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 6.3 y 6.4 los requerimientos adicionales de metal de soldadura por escasa preparación y los requerimientos adicionales de metal de soldadura para filetes sobresoldados respectivamente.

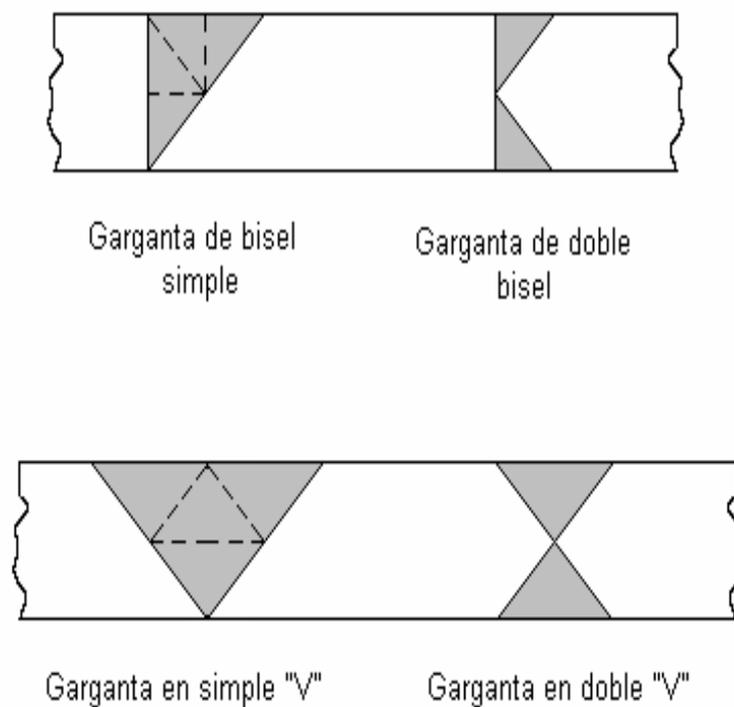


Figura 6.1 Efecto del diseño de la junta sobre los requerimientos de metal de aporte

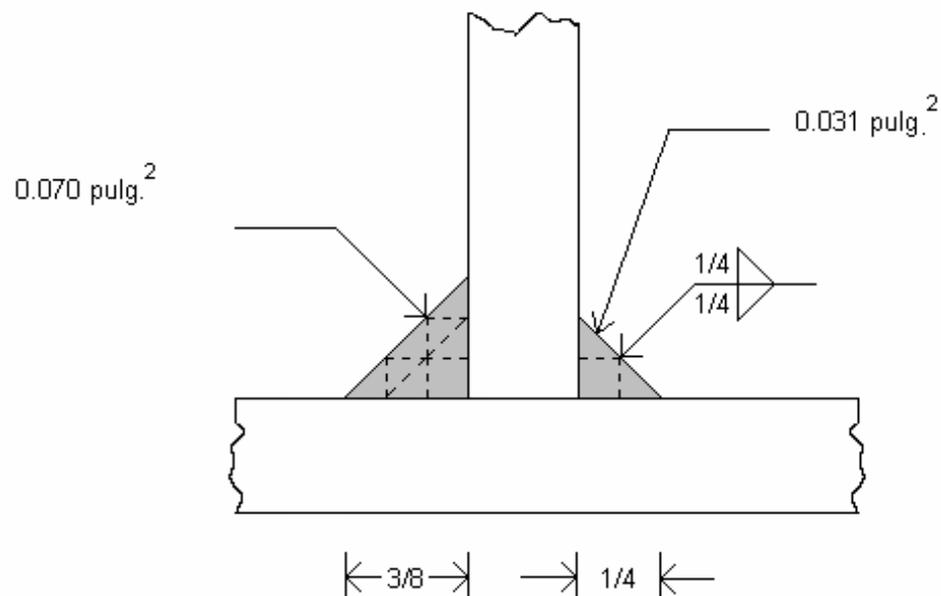


Figura 6.2 Efectos de la soldadura sobre los requerimientos de metal de aporte para una soldadura de bisel

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.

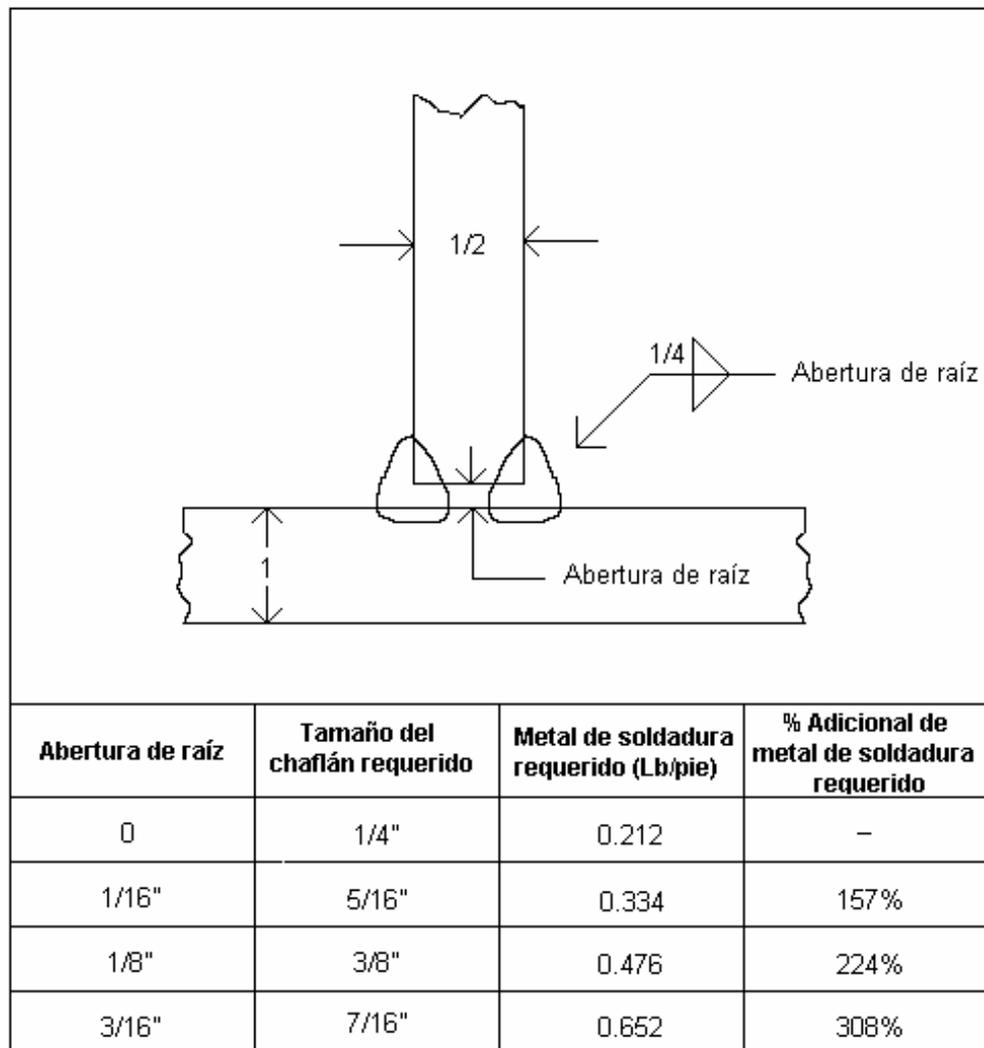
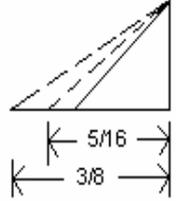
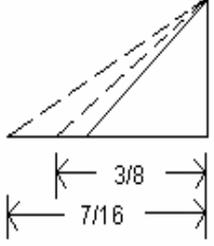
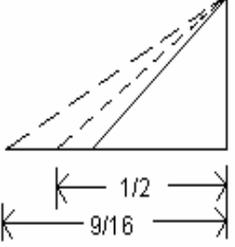
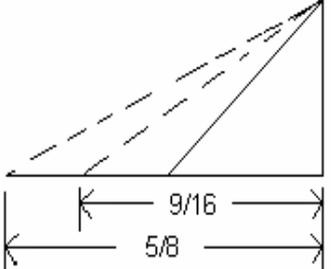


Figura 6.3 Requerimiento adicional de metal de soldadura por escasa preparación

| Tamaño del filete Tamaño de sobresoldadura | Teóricamente (wt/pie) | Requerimiento adicional |
|---|----------------------------------|----------------------------|
|  <p>1/4 5/16 3/8</p> <p>1/4 x 1/4 diseño 1/4 x 5/16 1/4 x 3/8</p> | <p>0.106 0.133 0.159</p> | <p>– 25% 50%</p> |
|  <p>5/16 3/8 7/16</p> <p>5/16 x 5/16 diseño 5/16 x 3/8 5/16 x 7/16</p> | <p>0.166 0.199 0.232</p> | <p>– 20% 40%</p> |
|  <p>3/8 1/2 9/16</p> <p>3/8 x 3/8 diseño 3/8 x 1/2 3/8 x 9/16</p> | <p>0.239 0.318 0.358</p> | <p>– 33% 50%</p> |
|  <p>1/2 9/16 5/8</p> <p>1/2 x 1/2 diseño 1/2 x 9/16 1/2 x 5/8</p> | <p>0.425 0.477 0.531</p> | <p>– 12% 25%</p> |

Wt: Porcentaje de peso.

Figura 6.4 Requerimiento adicional de metal de soldadura por escasa preparación

6.2.- 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 sopladura 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.

6.3.- Consideraciones a tener en cuenta en el procedimiento de la soldadura

1. Proveer por escrito a los talleres, procedimientos de soldadura calificados para todas las soldaduras.
2. Los procesos de selección deben ser hechos sobre las bases de la maximización de las velocidades de deposición conforme con soldaduras sólidas y con la disponibilidad de equipo.
3. La selección del metal de aporte, considerando tanto tamaño como costos, debe ser hecha sobre las bases de la eficiencia de la deposición aunque todavía el costo inicial de un metal de aporte de elevada eficiencia puede ser superior al de otros substitutos de menor eficiencia.
4. Especificar la longitud práctica del electrodo recubierto para minimizar extremos no quemados.

5. Comprar alambres desnudos de aportación o electrodos tubulares con núcleo de fundente en el embalaje adecuado más grande entre todos los disponibles. Los embalajes grandes reducen el precio base del metal de aportación y requiere menos interrupciones para cambiar paquetes.
6. Seleccionar el método de aplicación para proporcionar el máximo factor operador.
7. La polaridad incrementa las velocidades de deposición de los procesos de soldadura al arco sumergido. El electrodo negativo tiene mayor velocidad de deposición pero tiene menor penetración.

6.4.- Consideraciones para optimizar las operaciones de manufactura

1. Preparar las piezas tan exactamente como se requiera, particularmente aquellas piezas que son dobladas o conformadas por moldes.
2. Preparar las piezas por cizallamiento cuando sea posible. Esto puede ser más económico que el corte térmico.
3. Evitar diseños que requieran maquinado para la preparación de los bordes de la soldadura.
4. Evaluar el corte térmico con equipo automático. El trazado a mano y el corte manual son costosos.
5. Inspeccionar todas las piezas con cuidado y luego entregarlas al departamento de soldadura.

6. Entregar el inventario de materiales tal que todas las partes de un ensamblaje lleguen al departamento de soldadura como se necesite.
7. Preparar las piezas para el oxicorte. Seleccionar el óptimo gas combustible para el corte con oxígeno y gas combustible.
8. Dirigir todo traslado de material al departamento de soldadura para reducir la duración del ciclo. Proporcionar todas las piezas al departamento de soldadura.

CONCLUSIONES

Los electrodos cubiertos para soldadura por arco de metal protegido (SMAW) se pueden clasificar de acuerdo a la composición química y propiedades mecánicas que posea su núcleo (metal de aporte) sin diluir. Estos electrodos también se clasifican de acuerdo con el tipo de corriente de soldadura con el que trabajan mejor, y en ocasiones de acuerdo con las posiciones de soldadura en las que pueden emplearse.

Los electrodos para soldadura por arco de tungsteno y gas (GTAVV) se clasifican de acuerdo a la cantidad y variedad de óxidos con que hayan sido aleados, así como también de acuerdo a la máxima corriente con que pueden trabajar en condiciones óptimas. También pueden ser clasificados de acuerdo al tipo de corriente con que deberán ser empleados y se identifican de acuerdo a un código de color emitido por la AWS.

La AWS clasifica los electrodos para soldadura por arco de metal y gas (GMAW) según los requisitos de tamaño y tolerancias, empaque,

composición química y en algunos casos propiedades mecánicas. Los electrodos deberán satisfacer ciertas demandas del proceso en cuanto a estabilidad del arco y características de solidificación. También deberán producir un depósito de soldadura compatible con el metal base en cuanto a su composición química, resistencia mecánica, ductilidad y tenacidad.

Para obtener soldaduras de óptima calidad utilizando el proceso GMAW deberá seleccionarse los metales de aporte que produzcan un depósito de soldadura que se asemeje mucho al metal base en sus propiedades mecánicas y físicas de manera que lo mejore, así como también un depósito de soldadura íntegro y libre de discontinuidades.

Los electrodos empleados en procesos de soldadura al arco con núcleo de fundente (FCAW) se clasifican de acuerdo con la composición de su núcleo. La composición del núcleo de fundente varía de acuerdo con la clasificación del electrodo y con el fabricante. En general, los fabricantes consideran la composición precisa de sus electrodos con núcleo como un secreto industrial. Se deben seleccionar los correctos ingredientes del núcleo de tal manera que se obtengan altas velocidades de deposición así como una apropiada forma y una adecuada fusión de la franja de soldadura.

Los electrodos utilizados en el proceso por arco sumergido (SAVV) producen depósitos de soldadura que coinciden con los metales base de

acero al carbono, acero de baja aleación, aceros de alto carbono, aceros de aleación especial, aceros inoxidables, aleaciones de níquel y aleaciones especiales para aplicaciones de recubrimiento.

Los electrodos sólidos de acero al carbono utilizados en el proceso SAW se clasifican con base en su composición química (de fábrica), en tanto que los electrodos compuestos de acero al carbono se clasifican según la composición química del depósito. Los fundentes se clasifican con base en las propiedades del metal de soldadura que se obtienen cuando se usan con electrodos específicos.

La selección de los consumibles de SAW dependerá de las propiedades químicas y mecánicas que deba tener el componente que se fabrica, de la posición de soldadura y de la preparación que deba recibir la superficie del acero por soldar.

Si en el proceso SAW se usan electrodos para acero al carbono compuestos, se recomienda comprar los consumibles siempre al mismo fabricante. En cambio, si se usan electrodos sólidos, el usuario puede escoger entre los fundentes disponibles para usarse con una clasificación de electrodo AWS dada. Cabe señalar que la elección del electrodo influye de manera significativa sobre la química del metal de soldadura depositado, en tanto que la elección del fundente afecta las propiedades

de impacto Charpy de muesca en "V" y la soldabilidad global de la combinación electrodo/fundente.

Los fundentes utilizados en el proceso SAW se clasifican de acuerdo con las propiedades del metal de soldadura que se obtienen cuando se usan electrodos específicos.

La sección transversal de una unión soldada influye de manera significativa en los costos de la soldadura debido a que a mayor sección transversal de la junta se necesitará mayor cantidad de metal de aporte (por unidad de longitud) y por consiguiente los costos de la soldadura aumentarán.

La geometría de la junta es un factor a tener en cuenta ya que pequeñas variaciones en el ángulo de bisel, la abertura de raíz, el talón o la cara de la soldadura, afectan la cantidad de material depositado.

Es necesario hacer notar la importancia del cálculo del peso del material depositado, puesto que una vez calculado resulta sencillo determinar los costos del material de aporte, mano de obra, gastos indirectos, de energía, del fundente, etc. ya que todos ellos están en función de este dato.

El peso de material de aporte depositado depende directamente de su densidad. Es por eso que para soldar una junta de determinado volumen, con material de aporte de baja densidad, serán necesarios más kilogramos de dicho material que si utilizáramos un material de mayor densidad.

Dentro del cálculo del metal depositado debemos considerar la importancia del rendimiento del metal de aporte ya que a menor rendimiento será necesario comprar mayor cantidad de material. Esto se debe a que no todo el material se depositará en la unión a soldar puesto que existen pérdidas por salpicaduras, por recubrimiento o escoria, en los extremos no quemados, etc.; trayendo como consecuencia un aumento en los costos de soldadura.

La velocidad de depósito tiene un gran efecto sobre los costos de soldadura para procesos de varias pasadas, específicamente en los costos de mano de obra, gastos indirectos y de energía eléctrica. A mayor velocidad de depósito generalmente se necesitará menor tiempo para completar la soldadura y por lo tanto los costos mencionados con anterioridad serán menores. 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.

Los materiales de aporte tienen determinado tiempo de fusión (tiempo puro de soldadura o tiempo que ha existido arco), pero es necesario considerar los tiempos muertos en el proceso (limpieza, cambio de electrodo, posicionamiento de la soldadura, etc.) por lo que es importante definir un factor de tiempo de soldadura (Factor operador) como la relación entre el tiempo que ha existido arco y el tiempo total de soldadura. Este factor es muy importante debido a que tiene gran influencia en los costos de mano de obra, gastos indirectos y de energía eléctrica. Un elevado factor operador hará que los costos anteriormente mencionados se reduzcan, por lo que será conveniente tratar de aumentar dicho factor disminuyendo los tiempos muertos en la soldadura.

Debe hacerse notar que las fórmulas para realizar el cálculo de los costos de soldadura para varias pasadas son distintas a las de una pasada debido a que en éstas últimas aparece la velocidad de recorrido. La Velocidad de recorrido está disponible en catálogos de soldadura o se puede calcular fácilmente cuando se hacen soldaduras de un solo paso, pero es más difícil de calcular con soldaduras de pasos múltiples, es por esta razón que se utilizan fórmulas distintas.

Podemos concluir que a mayor velocidad de recorrido en los procesos de una sola pasada los costos de material de aporte, mano

de

fórmulas en donde aparece la velocidad de recorrido se recomienda especialmente en aquellos procesos en donde no se deposite metal de aporte, por ejemplo en una de las modalidades del proceso GTAW.

En el cálculo del costo de fundente utilizado en el proceso SAW se ha utilizado una relación de fundente igual a la unidad, es decir un kilogramo de fundente por cada kilogramo de electrodo de alambre depositado. La cantidad exacta de fundente usado se basa en el área de las zapatas de retención expuestas en el charco de fundente.

Es necesario recalcar que el costo del gas en uniones de punto al arco, de tapón, de ranura, en alguna soldadura pequeña o en alguna zona estrecha depende directamente del caudal de salida de la boquilla del alimentador de gas, del tiempo de soldadura (duración de arco) y del número de soldaduras por hacer.

El cálculo de las secciones transversales de las juntas se ha hecho considerando que el material de aporte rellene dicha unión al ras, es decir no se considera el área de la sobresoldadura o refuerzo. En las soldaduras de bisel simple y de chaflán el porcentaje de refuerzo normalmente es de 10% mientras que en el de doble bisel es de 20%. Esto es exacto para estas soldaduras en particular, pero para otras el refuerzo varía, por lo que podría no valer la pena medir el refuerzo para cada soldadura. Se debe procurar mantener al mínimo la cantidad de

refuerzo porque esta aumenta la cantidad de metal de soldadura necesario trayendo como consecuencia el aumento de los costos de soldadura.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] "AWS Welding Handbook", Miami American Welding society,1976, 4v.
- [2] "The procedure Handbook of Arc Welding", Lincoln Electric Company,1995, 1v.
- [3] "New Lessons In Arc Welding", Lincoln Electric Company, 1996, 1v.
- [4] Houldcroft, P.T. "Tecnología de los procesos de soldadura",Ceac.,1986, pp365.
- [5] Rafael de Heredia Scasso "Soldadura y construcción soldada", Dossat, 1959, pp609.
- [6] Helmut Koch "Manual de soldadura", Reverté, 1965, pp738.
- [7] Sahling-Latzin "La técnica de la soldadura en la ingeniería de la construcción", Blume, 1970, pp293.
- [8] O'Brien, R.L., "Manual de soldadura", Prentice Hall Hispanoamericana, 1996, 3v.

ANEXOS

APÉNDICE A

REQUERIMIENTOS PARA INSTALAR EL SISTEMA

INSTALACION DEL SISTEMA

El sistema se ejecuta bajo ambiente Windows, en sus versiones 3.x ó 95.

Para instalar el sistema de consulta y cálculo de costos de soldadura Weld Cost 98 en el disco duro de su computadora se necesita lo siguiente:

Requerimientos de Hardware

- PC con procesador 80486 como mínimo
- Monitor SVGA
- 2 Mbytes de Video
- 8 Mbytes de memoria RAM como mínimo (dependiendo de la versión de Windows que posea su computadora)
- 15 Mbytes de espacio libre en disco como mínimo

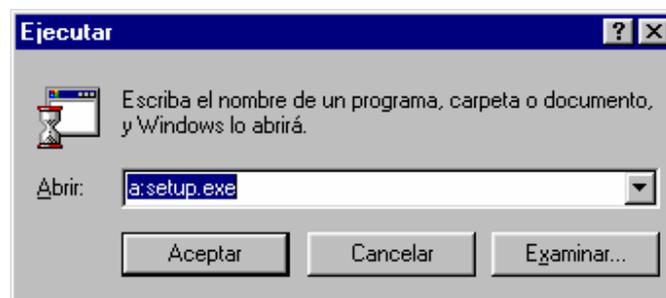
Requerimientos de Software

- Sistema Operativo Windows 3.x ó 95.
- Diskettes instaladores del sistema Weld Cost 98

Instalación del sistema

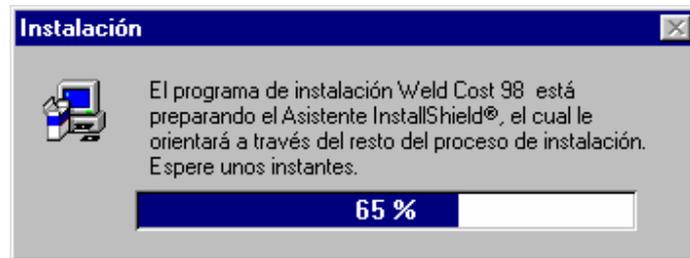
La instalación se realiza desde los diskettes instaladores del sistema Weld Cost 98. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Insertar el diskette etiquetado **Instalar Weld Cost Disk1** en la unidad de disco flexible A.
- Desde el menú de Inicio del Windows 95 o desde el Explorador de Windows, ejecutar el archivo **SETUP.EXE** que se encuentra en la unidad A. Si la versión de Windows es 3.x, entonces, ejecutar desde el Administrador de Archivos, el archivo **SETUP.EXE** que se encuentra en la unidad A.



- A partir de ese momento, deberá seguir las instrucciones del instalador **Weld Cost 98**, que son instrucciones muy sencillas y en nuestro idioma.

- Luego de aceptar en la ventana de Ejecutar, la instalación se iniciará y aparecerá la siguiente ventana:



- La pantalla de bienvenida al instalador del Weld Cost 98 es la que se muestra a continuación. Si queremos continuar con la instalación de Weld Cost 98 presionamos el botón Siguiente, en caso contrario presionamos Cancelar para terminar con el proceso de instalación (en cualquier momento, presionando el botón Cancelar, abandonaremos la instalación del sistema).



- En la pantalla siguiente, se muestra cómo el instalador del Weld Cost 98 nos pide información acerca de la organización en la que se está instalando el sistema. Además nos pide el número de serie del producto.



Información acerca del usuario

Por favor, introduzca su nombre, el de su empresa y el número de serie del producto.

Usuario: Facultad de Ingeniería

Empresa: Universidad de Piura

Nº de serie: 123456789

< Anterior Siguiente > Cancelar

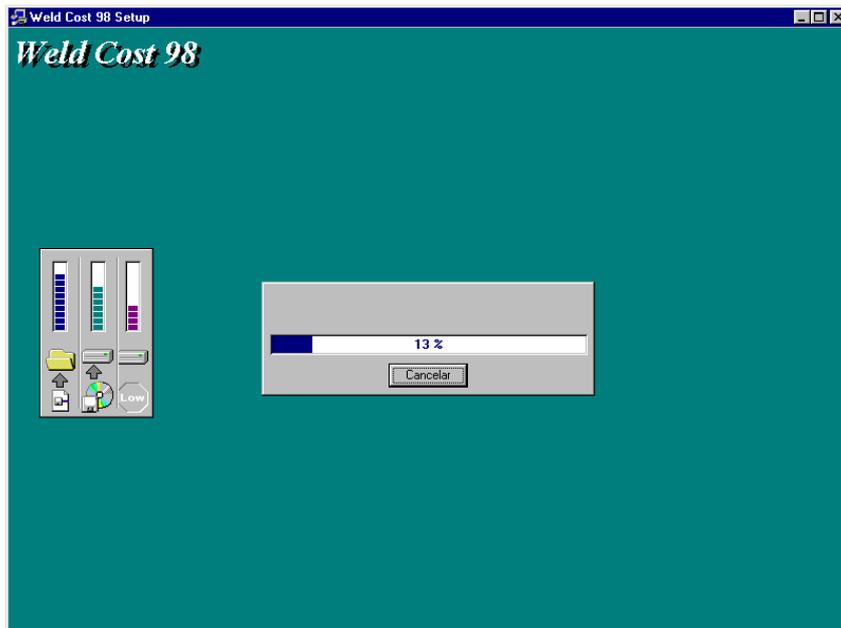
- A continuación el sistema nos pide el directorio de nuestro disco duro en que instalaremos el sistema Weld Cost 98. Nos da la posibilidad, presionando el botón Examinar, de elegir nuestro propio directorio, el cual, si no existiera se creará automáticamente, previa advertencia del instalador.



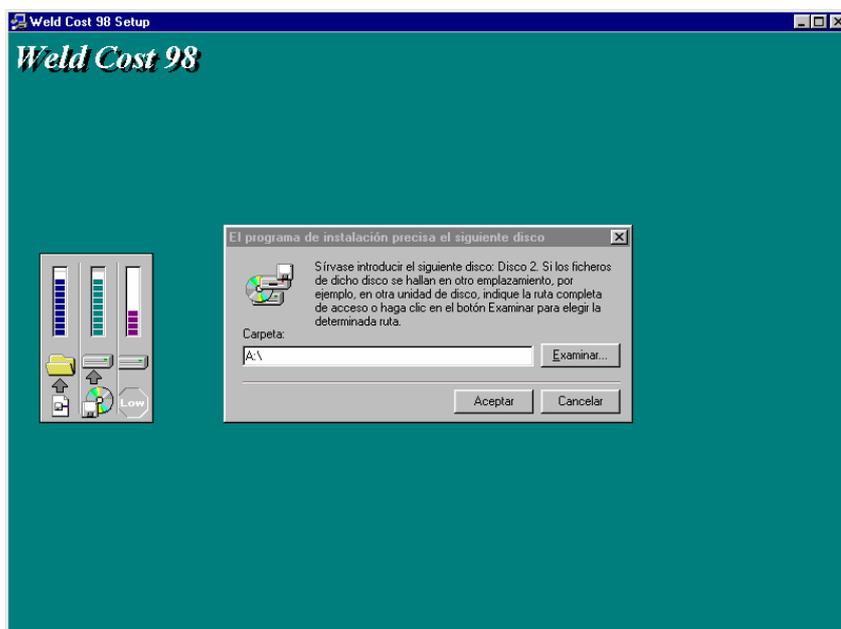
- La forma en que manejaremos la creación y/o búsqueda de directorios si presionamos el botón Examinar, es muy similar a la forma en que se maneja desde el Explorador de Windows.



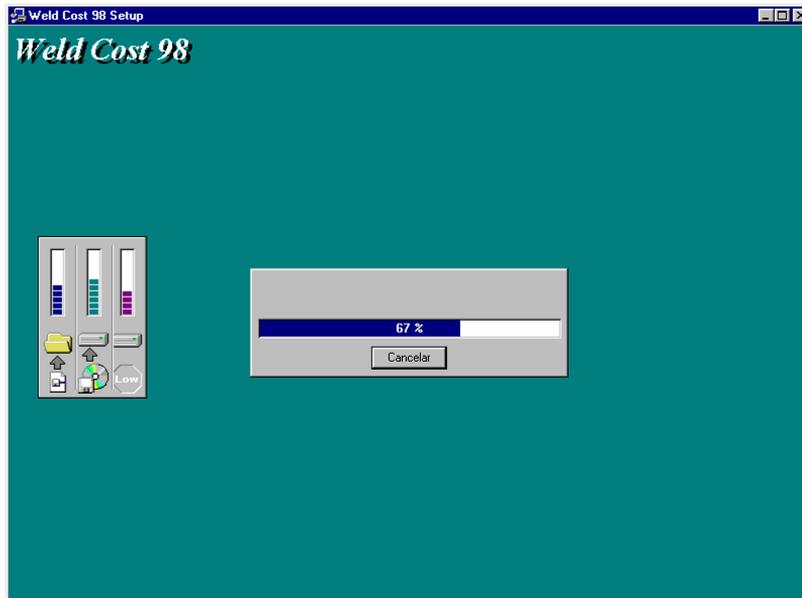
- Luego de aceptar el directorio elegido, se iniciará el copiado de archivos, y tiene la posibilidad de visualizar el porcentaje de avance.



- Automáticamente, el instalador pedirá al usuario el diskette etiquetado como Instalar Weld Cost 98 Disk2, como a continuación se muestra:



- Insertamos el diskette de instalación número 2 en la unidad A y presionamos Aceptar. El sistema seguirá copiando los archivos al disco duro:



- Cuando el sistema se ha terminado de instalar, entonces aparecerá la siguiente pantalla, la cual, al presionar el botón Finalizar, nos devolverá al escritorio de Windows, señal que el sistema se ha terminado de instalar.

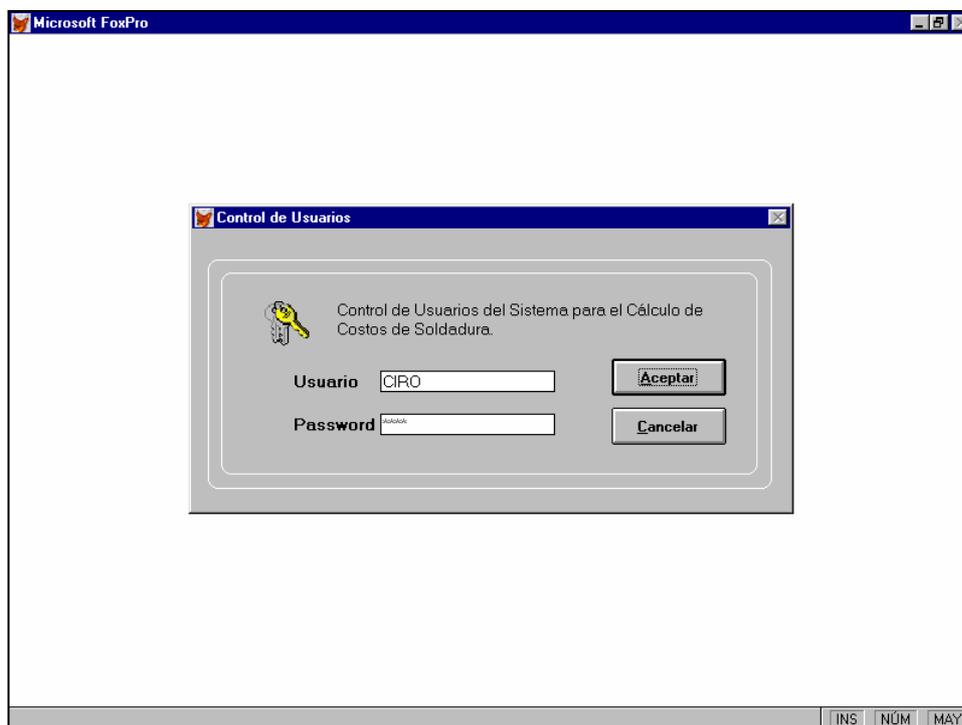


APÉNDICE B

MANUAL DEL USUARIO

CONTROL DE USUARIOS

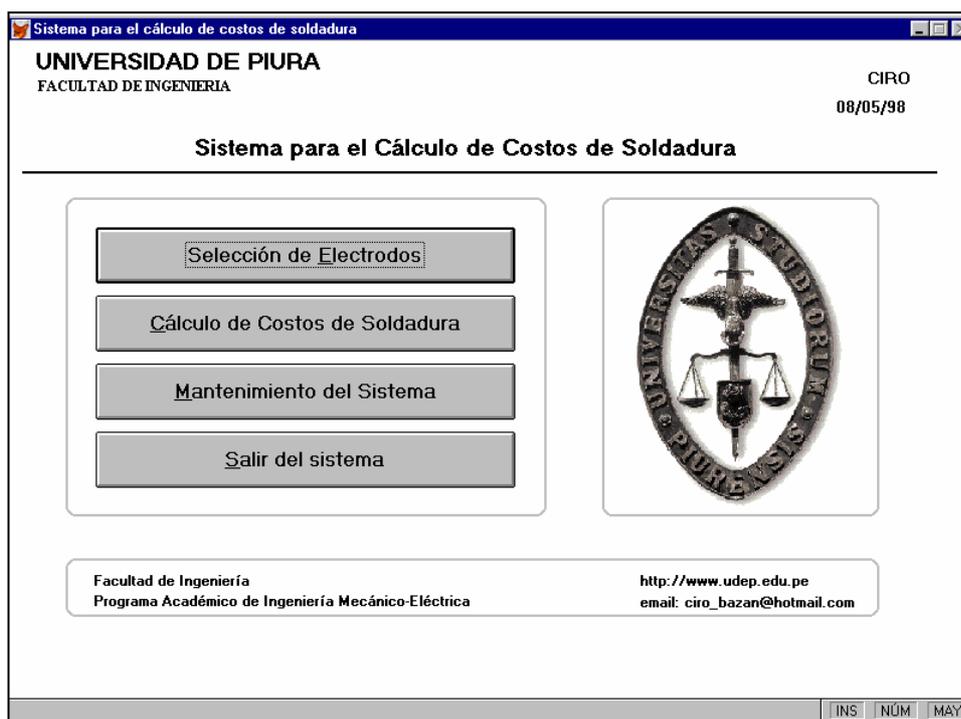
Una vez que el sistema ha sido cargado aparecerá una pantalla como la que se muestra a continuación, en la que tendremos que ingresar el nombre del usuario y su password. Luego presionamos el botón **Aceptar** para ingresar al menú principal.



Menú principal

Una vez ingresados el nombre del usuario y su password, entonces aparecerá el menú principal en la pantalla que se muestra a continuación, en donde el usuario tendrá la posibilidad de escoger entre las siguientes opciones: **Selección de electrodos**, **Cálculo de costos de soldadura** y **Mantenimiento del Sistema**.

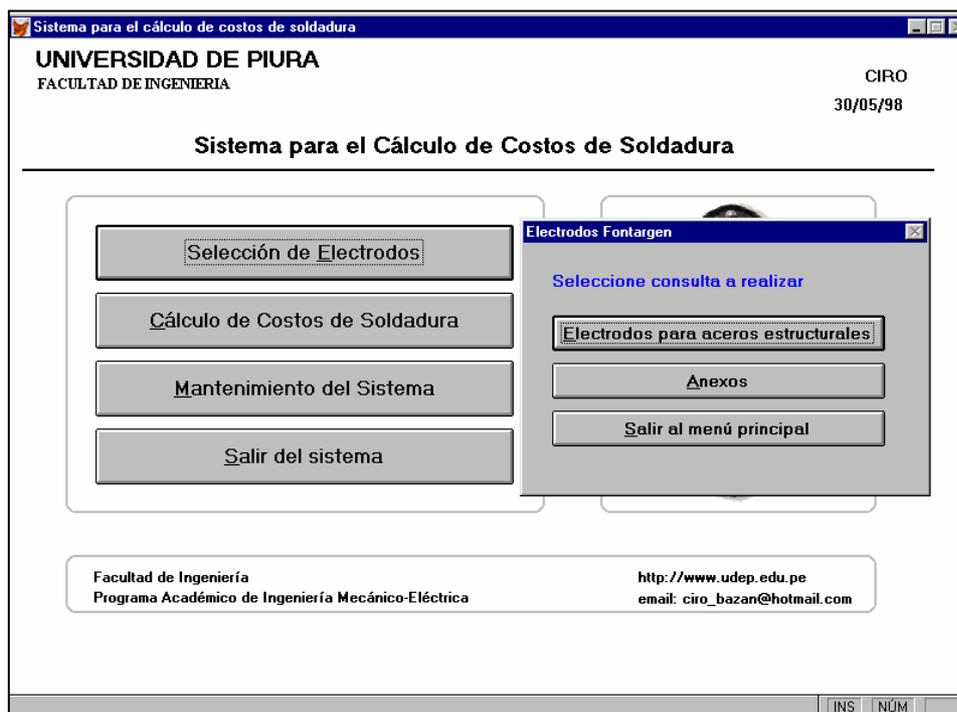
Para elegir una de estas opciones el usuario deberá ubicarse en el botón correspondiente con las teclas cursoras y presionar Enter o en todo caso con ayuda del mouse hacer clic en el botón correspondiente. Para salir de este menú se deberá presionar el botón **Salir del Sistema**.



I. Selección de Electrodos

Se ingresa a esta sección haciendo clic en el botón de **Selección de electrodos**, presionando la tecla **E** estando en el menú principal, o ubicándose con las teclas cursoras en el **botón Selección de electrodos** y presionando la tecla ENTER. Luego de seleccionar esta opción del menú principal, aparecerá un submenú como el que se muestra en la siguiente figura. Allí se seleccionará el tipo de consulta de electrodos que se realizará. No debemos perder de vista que la consulta está referida sólo a electrodos FONTARGEN, es decir, las bases de datos de este módulo han sido diseñadas de acuerdo **al Manual de Electrodo**s FONTARGEN.

Este módulo sirve para tener una idea de las principales características mecánicas y químicas de los distintos tipos de electrodos, que podemos encontrar en el mercado. Se puede acceder a un alto nivel de detalle por diferentes criterios, como veremos más adelante. Para regresar al menú principal se deberá pulsar el botón **Salir al menú principal**, en donde se podrá acceder al sistema de **Cálculo de costos de soldadura** o al botón que nos permita realizar el **Mantenimiento del sistema**. Para salir del sistema se deberá presionar el botón **Salir del sistema**.



Electrodos para aceros estructurales

Accedemos a este módulo haciendo clic en el botón **Electrodos para aceros estructurales**, presionando la tecla E una vez que nos encontramos dentro del submenú **Electrodos FONTARGEN**, o colocándonos, con las teclas cursoras, en el botón de **Electrodos para aceros estructurales** y presionando la tecla **ENTER**.

En esta pantalla podemos elegir el criterio de búsqueda de los distintos tipos de electrodos FONTARGEN, así, podemos buscar electrodos de acuerdo al Tipo de acero, por Parámetros o por Aplicación, como se muestra en la siguiente figura.

Para regresar a la pantalla anterior deberemos presionar el botón **Salir** al menú de búsqueda.

The screenshot shows a software window titled "Sistema para el cálculo de costos de soldadura". The main header includes "UNIVERSIDAD DE PIURA" and "FACULTAD DE INGENIERIA". The user is logged in as "CIRO". The current menu is "Electrodos Fontargen para aceros estructurales".

The interface prompts the user to "Seleccione formato de la consulta" (Select query format). There are three radio button options:

- Por tipo de acero**: A dropdown menu is set to "Electrodos celulósicos de alta penetración".
- Por parámetro**: A text input field contains "Producto".
- Por aplicación**: A text input field contains "Soldadura de unión".

On the right side, there are two buttons: "Consulta detallada" and "Salir al menú de búsqueda".

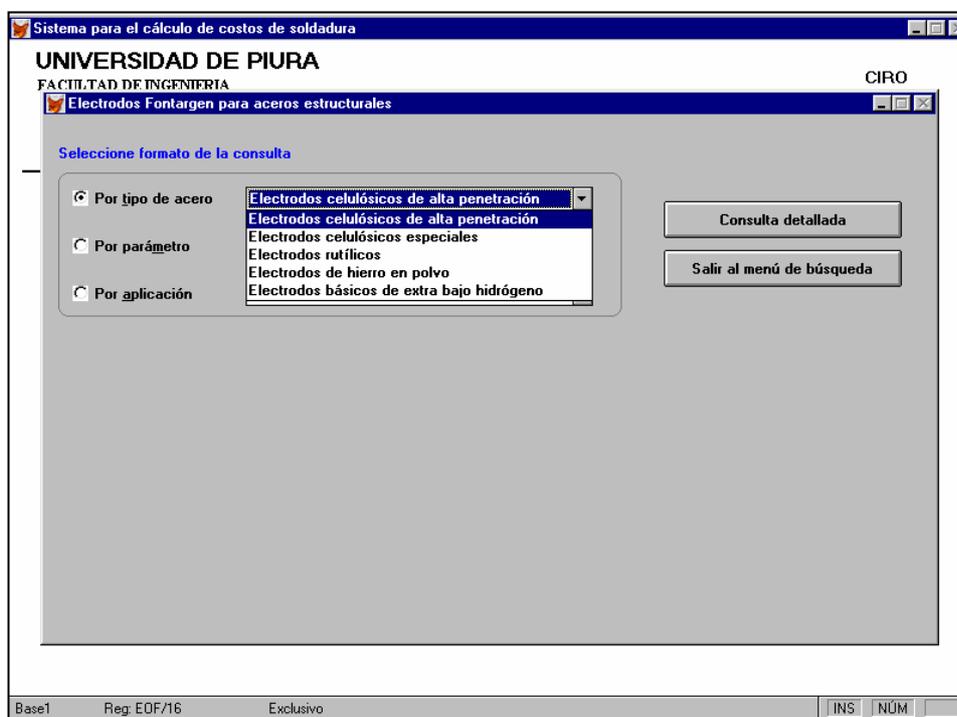
The status bar at the bottom displays "Base1", "Reg: EOD/16", "Exclusivo", and navigation buttons "INS" and "NÚM".

Lo primero que debemos hacer es seleccionar por medio de un clic, el criterio de búsqueda. Al seleccionar un determinado criterio de búsqueda, se activará el respectivo menú desplegable a la derecha del criterio seleccionado. En esta lista seleccionaremos el tipo de electrodo por tipo de acero, parámetro o aplicación que queremos consultar. Para regresar a la pantalla anterior debemos presionar el botón **Salir al Menú de Búsqueda**.

A continuación mostramos los distintos menús que se activarán según el criterio que elijamos:

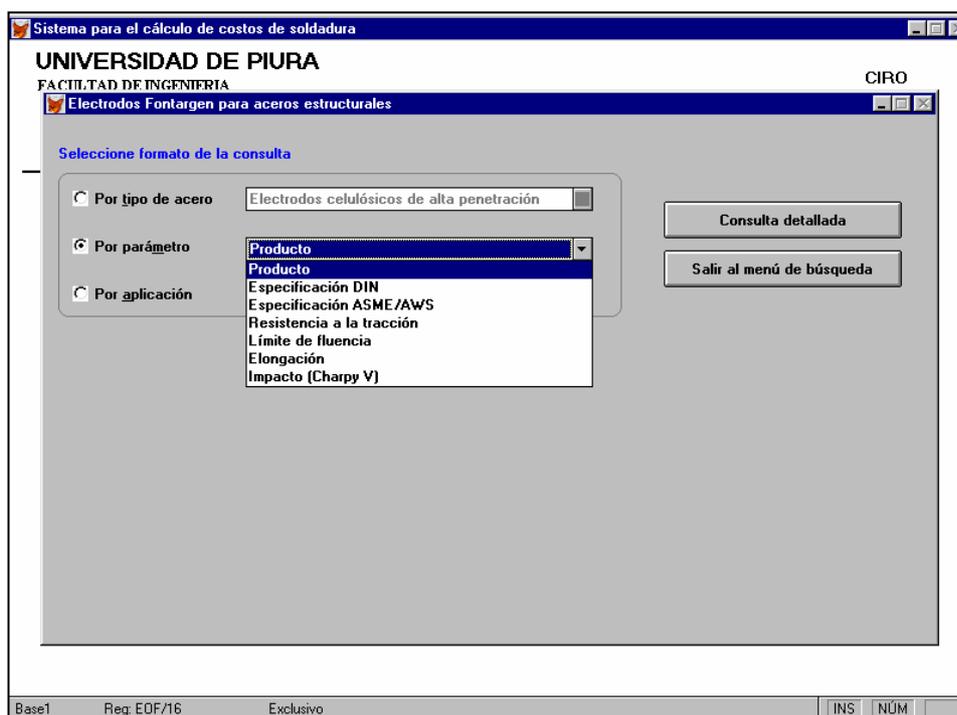
Búsqueda por tipo de Acero

Para ingresar a este tipo de criterio, debemos hacer clic en el botón que indica **Por tipo de Acero**. El círculo de la izquierda aparecerá marcado y activará automáticamente el menú desplegable de la derecha del criterio elegido como se muestra en la figura.



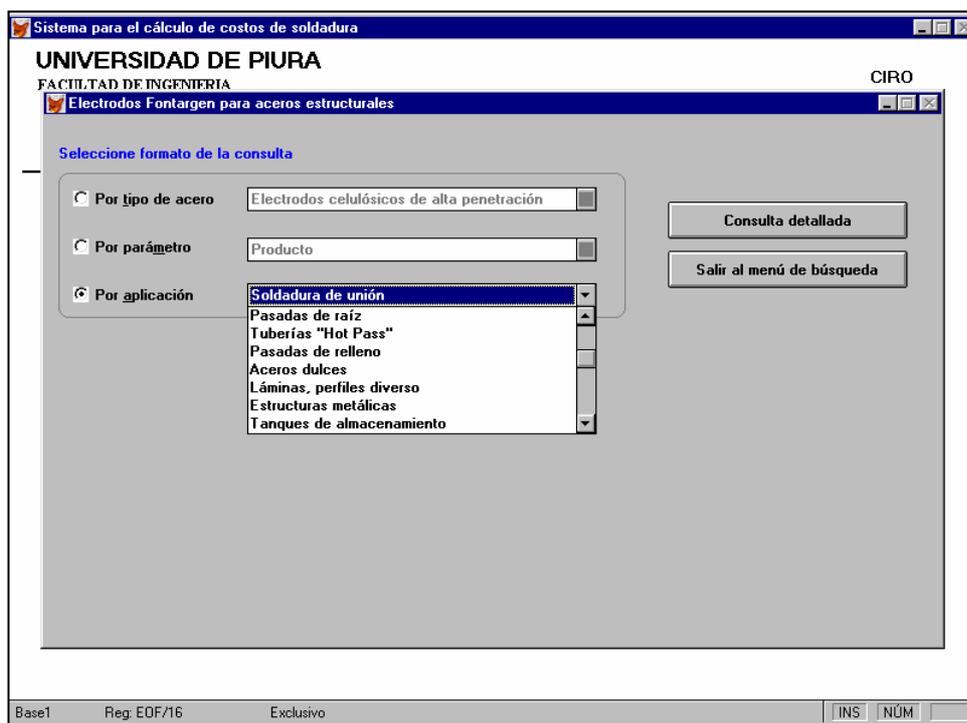
Búsqueda por parámetro

Para ingresar a este tipo de criterio, debemos hacer clic en el botón que indica por **Tipo de parámetro**. El círculo de la izquierda aparecerá marcado y activará automáticamente el menú desplegable de la derecha del criterio elegido como se muestra en la figura.



Búsqueda por aplicación

Para ingresar a este tipo de criterio, debemos hacer clic en el botón que indica por **Aplicación**. El círculo de la izquierda aparecerá marcado y activará automáticamente el menú desplegable de la derecha del criterio elegido como se muestra en la figura.



Consulta detallada

Una vez elegido el parámetro de búsqueda, presionamos el botón **Consulta detallada** para acceder a una lista de los electrodos que se hallan dentro del criterio seleccionado. Esta lista, como se muestra en la figura, sólo muestra la especificación del electrodo mas no su detalle.

Para regresar a la pantalla anterior deberá presionarse el botón **Salir al menú de búsqueda** que se encuentra debajo del botón **Consulta detallada** (en la parte superior derecha de la pantalla).

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA
CIRO

Electrodos Fontargen para aceros estructurales

Seleccione formato de la consulta

Por tipo de acero: Electroodos celulósicos especiales

Por parámetro: Producto

Por aplicación: Soldadura de unión

Consulta detallada

Salir al menú de búsqueda

Electrodos encontrados:

| Producto |
|----------|
| E 51 AT |
| E 51 CT |
| E 51 CTG |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |

Ctrl+W para cerrar ventana de consulta

LEA AQUI ...

Seleccione el electrodo que desea consultar con la ayuda de las teclas cursoras.

Presione la tecla F2 para ver los detalles del electrodo:

Composición química
Amperaje
Aplicaciones, etc.

Base1 Reg: 5/16 Exclusivo INS NÚM

Detalles del electrodo

Una vez que se visualiza la lista de electrodos encontrados, entonces con la ayuda de las teclas cursoras seleccionamos el electrodo deseado y a continuación presionamos la tecla **F2** para ver los detalles del electrodo en cuestión, esto es: Clasificación, análisis químico, tipo de corriente y polaridad, propiedades mecánicas, aplicaciones, amperajes, características, etc., tal como se muestra en la siguiente figura.

Por otra parte a este punto podemos imprimir los datos mostrados en la pantalla presionando el botón **Imprimir** que se encuentra ubicado en la parte superior derecha o podemos regresar a la pantalla anterior presionando el botón **Salir** ubicado debajo del botón **Imprimir**.

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

Detalle del electrodo

Tipo de Electrodo
Electrodos celulósicos especiales

Electrodo
E 51 CT
ISO 2560 : E 51 3 C 4
ASME II C: SFA 5.5/AWS A 5.5:E 7010-A

Imprimir
Salir

Análisis Químico del metal de depósito (%)

| C | Mn | Si | Mo | P | S |
|-----------|-----------|------|------|--------|--------|
| 0.05-0.09 | 0.42-0.70 | 0.30 | 0.50 | <0.025 | <0.025 |

Propiedades Mecánicas

| | |
|---------------------------|-----------------------------|
| Resistencia a la tracción | 540 - 640 N/mm ² |
| Límite de fluencia | 440 - 540 N/mm ² |
| Elongación (l=5d) | 26 % |
| Impacto (Charpy V) + 20oC | > 80 J |

Características

Electrodo celulósico con adición de molibdeno en su revestimiento, que permite obtener una mayor resistencia en el metal depositado. Posee un arco de transferencia "spray" muy estable y alta penetración en todas las posiciones. Asimismo presenta una escoria delgada y de fácil remoción, permitiéndole ser utilizado para la segunda pasada o pase en caliente en la soldadura de tuberías a presión.

Tipo de corriente y polaridad
Corriente continua (polo positivo)

Amperajes

| Dmm | Amperios |
|------|-----------|
| 2.50 | 55 - 75 |
| 3.15 | 100 - 130 |
| 4.00 | 100 - 190 |
| 5.00 | 140 - 230 |

Aplicaciones

Para soldadura de tuberías de acero al carbono y al carbono-molibdeno API 5LX-X52 y X60, utilizándose especialmente en el "hot pass" en gasoductos y en el relleno del bisel de los mismos. Apropiado para aquellos casos en donde se requiere alta resistencia, como en construcciones metálicas, estructuras de locomotora, placas de fuego de calderas, accesorios y equipos para servicios a alta temperatura, etc.

Base1 Reg: 5/16 Exclusivo | INS NÚM

ANEXOS

Accedemos a este módulo haciendo clic en el botón **Anexos**, presionando la tecla **A** una vez que nos encontramos dentro del submenú **Electrodos FONTARGEN**, o colocándonos, con las teclas cursoras, en el botón de **Anexos** y presionando la tecla **ENTER**.

Lo primero que debemos hacer es seleccionar por medio de un clic, el formato de consulta. Al seleccionar un determinado formato de consulta, se activará el respectivo menú desplegable a la derecha del criterio seleccionado. En esta lista podremos seleccionar **Electrodos FONTARGEN para aceros estructurales, clasificación ASTM de aceros al carbono, de baja aleación** y de **aceros al cromo - molibdeno** y las **temperaturas de precalentamiento de los aceros**. Para regresar a la pantalla anterior debemos presionar el botón **Salir al Menú de Búsqueda**.

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA

CIRO

Anexos

Seleccione formato de la consulta

Electrodos Fontargen para aceros estructurales

Clasificación ASTM de aceros al carbono y baja aleación

Clasificación ASTM de aceros al cromo-molibdeno

Temperaturas de precalentamiento de aceros

Aceros estructurales al carbono

Aceros al Carbono

Consulta detallada

Salir al menú de búsqueda

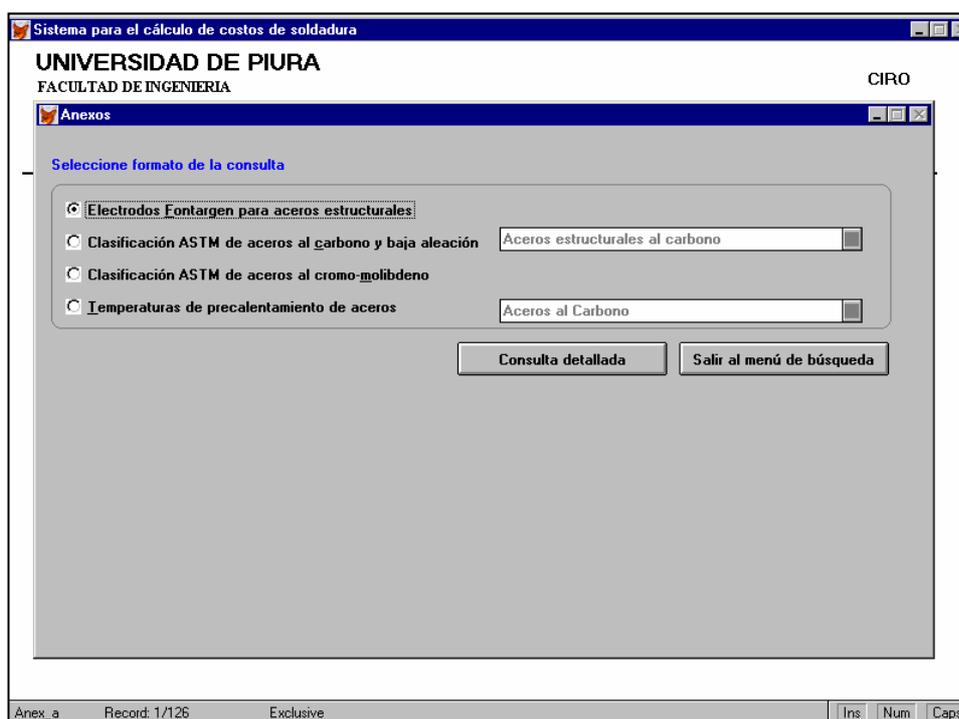
Anex_a Reg: 1/126 Exclusivo INS NÚM

A continuación mostramos los distintos menús que se activarán según el criterio que elijamos:

Electrodos FONTARGEN para aceros estructurales

Accedemos a este módulo presionando el **botón Electrodo FONTARGEN para aceros estructurales**, presionando la tecla **F** una vez que nos encontramos dentro del submenú **Anexos**, o colocándonos, con las teclas cursoras, en el botón de **Electrodos FONTARGEN para aceros estructurales** y presionando la tecla **ENTER**.

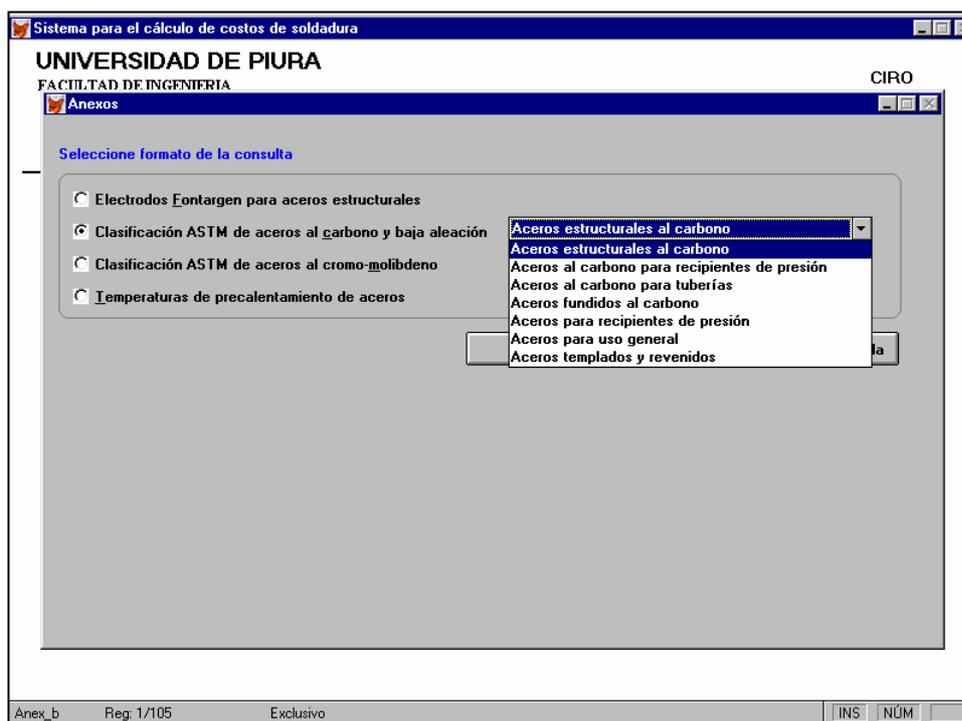
Para regresar a la pantalla anterior deberemos presionar el botón **Salir al menú de búsqueda**.



Clasificación ASTM de aceros al carbono y de baja aleación

Accedemos a este módulo presionando el **botón Clasificación ASTM de aceros al carbono y baja aleación**, presionando la tecla **C** una vez que nos encontramos dentro del submenú **Anexos**, o colocándonos, con las teclas cursoras, en el botón de **Clasificación ASTM de aceros al carbono y baja aleación** y presionando la tecla **ENTER**.

Para regresar a la pantalla anterior deberemos presionar el botón **Salir al menú de búsqueda**.



Clasificación ASTM de aceros al cromo – molibdeno

Accedemos a este módulo presionando el botón **Clasificación ASTM de aceros al cromo - molibdeno**, presionando la tecla **M** una vez que nos encontramos dentro del submenú **Anexos**, o colocándonos, con las teclas cursoras, en el botón de **Clasificación ASTM de aceros al cromo - molibdeno** y presionando la tecla **ENTER**.

Para regresar a la pantalla anterior deberemos presionar el botón **Salir al menú de búsqueda**.

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA
CIRO

Anexos

Seleccione formato de la consulta

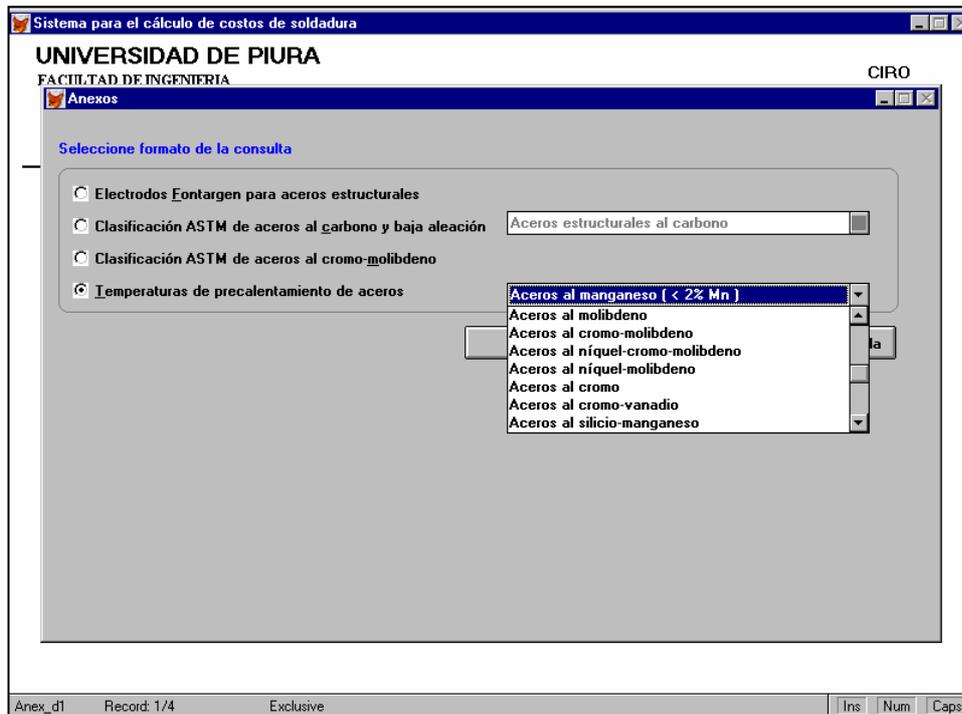
- Electrodo Fontargen para aceros estructurales
- Clasificación ASTM de aceros al carbono y baja aleación
- Clasificación ASTM de aceros al cromo-molibdeno
- Temperaturas de precalentamiento de aceros

Anex_c Record: 1/11 Exclusive Ins Num Caps

Temperaturas de precalentamiento de aceros

Accedemos a este módulo presionando el botón **Temperaturas de precalentamiento de aceros**, presionando la tecla **T** una vez que nos encontramos dentro del submenú **Anexos**, o colocándonos, con las teclas cursoras, en el botón de **Temperaturas de precalentamiento de aceros** y presionando la tecla **ENTER**.

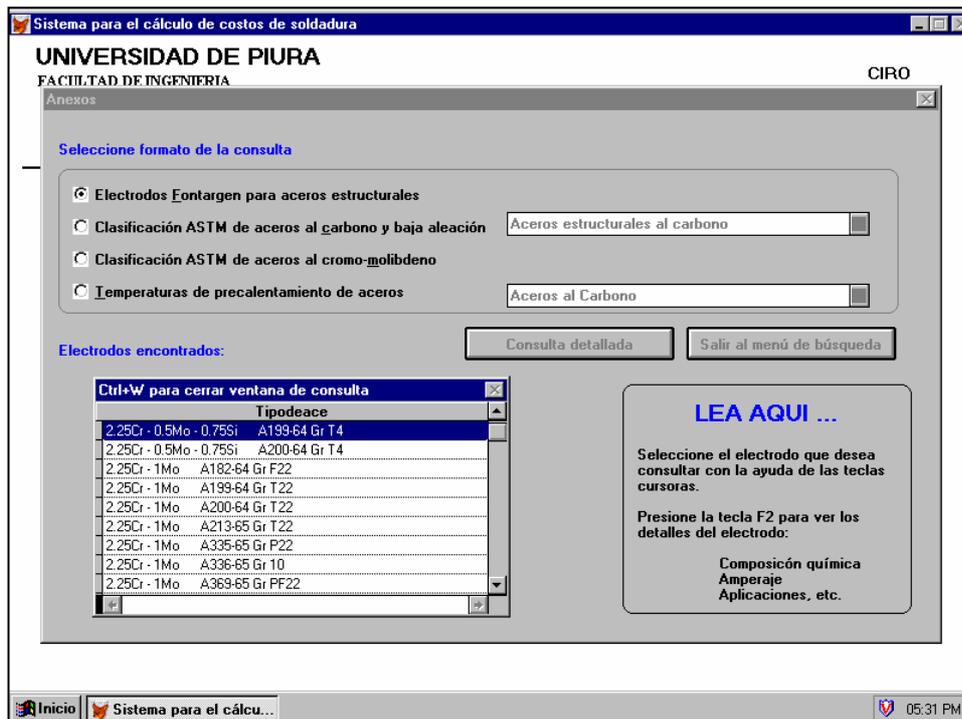
Para regresar a la pantalla anterior deberemos presionar el botón **Salir al menú de búsqueda**.



Consulta detallada

Una vez elegido el parámetro de búsqueda, presionamos el botón **Consulta detallada** para acceder a una lista de los electrodos que se hallan dentro del criterio seleccionado. Esta lista, como se ve en la figura, sólo muestra la especificación del electrodo de acuerdo al tipo de acero, pero no su detalle.

Para regresar a la pantalla anterior deberá presionarse el botón **Salir al menú de búsqueda** que se encuentra a la derecha del botón **Consulta detallada**.



Detalles del electrodo

Una vez que se visualiza la lista de electrodos encontrados, entonces con la ayuda de las teclas cursoras seleccionamos el electrodo deseado y a continuación presionamos la tecla **F2** para ver los detalles del electrodo en cuestión, esto es: Clasificación, tipo de electrodo, precalentamiento, alivio de tensiones, martillado y observaciones, tal como se muestra en la siguiente figura.

Por otra parte a este punto podemos imprimir los datos mostrados en la pantalla presionando el botón **Imprimir** que se encuentra ubicado en la parte superior derecha o podemos regresar a la pantalla anterior presionando el botón **Salir** ubicado debajo del botón **Imprimir**.

The screenshot shows a software window titled "Sistema para el cálculo de costos de soldadura" (System for the calculation of welding costs). The window header includes "UNIVERSIDAD DE PIURA" (University of Piura), "FACULTAD DE INGENIERIA" (Faculty of Engineering), and "CIRO". Below the header, there is a sub-window titled "Electrodos FONTARGEN para aceros estructurales" (FONTARGEN electrodes for structural steels). The main content area is divided into several sections:

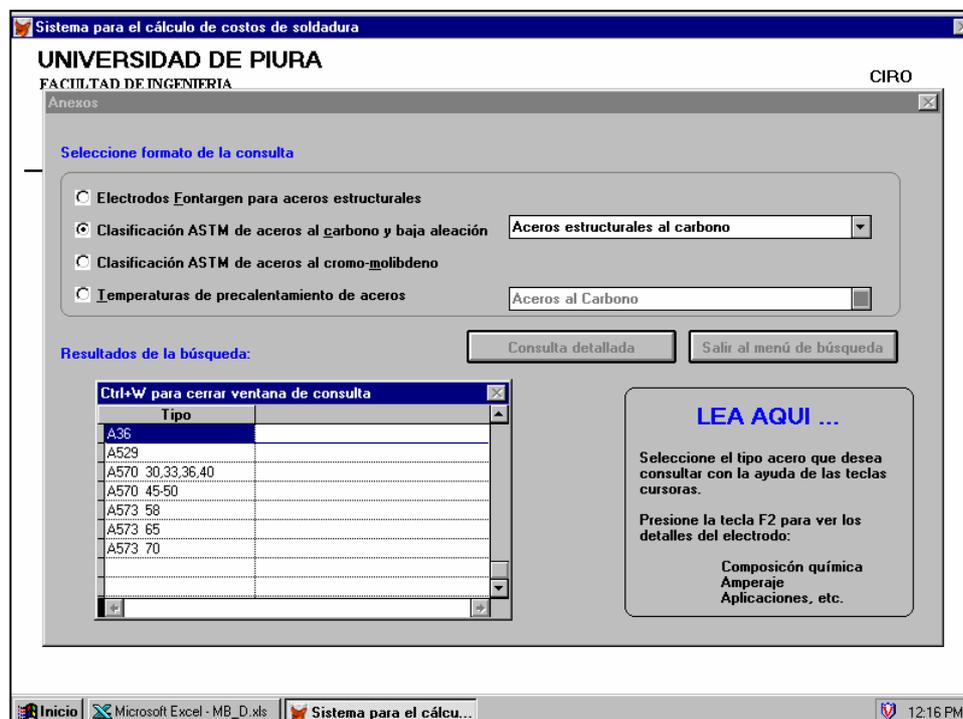
- Tipo de Electrodo** (Electrode Type): A text box containing "2.25Cr - 1Mo A426-64 Gr CP22".
- Electrodo** (Electrode): A text box containing "E62".
- Pre calentamiento** (Preheating): A text box containing "Sí" (Yes).
- Martillado** (Peening): A text box containing "Puede ser necesario en todos los espesores" (It may be necessary in all thicknesses).
- Alivio Tensiones** (Stress Relief): A text box containing "Requerido 700 - 760_".
- Observaciones** (Observations): A text box containing "Los aceros A541 Gr ¼ A542 Gr C11 y C12, especifican valores mecánicos superiores a los 63 kg/mm2 ; deberá controlarse que el electrodo elegido satisfaga esos valores y sea compatible con las propiedades a alta temperatura requeridas para el metal base." (The steels A541 Gr ¼ A542 Gr C11 and C12, specify mechanical values superior to 63 kg/mm2 ; it must be controlled that the selected electrode satisfies these values and is compatible with the properties required at high temperature for the base metal.)

At the top right of the main content area, there are two buttons: "Imprimir" (Print) and "Salir" (Exit). The bottom status bar of the window displays "Anex_a", "Reg: 67/126", "Exclusivo", and "INS NÚM".

Consulta detallada

Una vez elegido el parámetro de búsqueda, presionamos el botón **Consulta detallada** para acceder a una lista de aceros al carbono y de baja aleación que se hallan dentro del criterio seleccionado. Esta lista, como se ve en la figura, sólo muestra el tipo de acero, pero no su detalle.

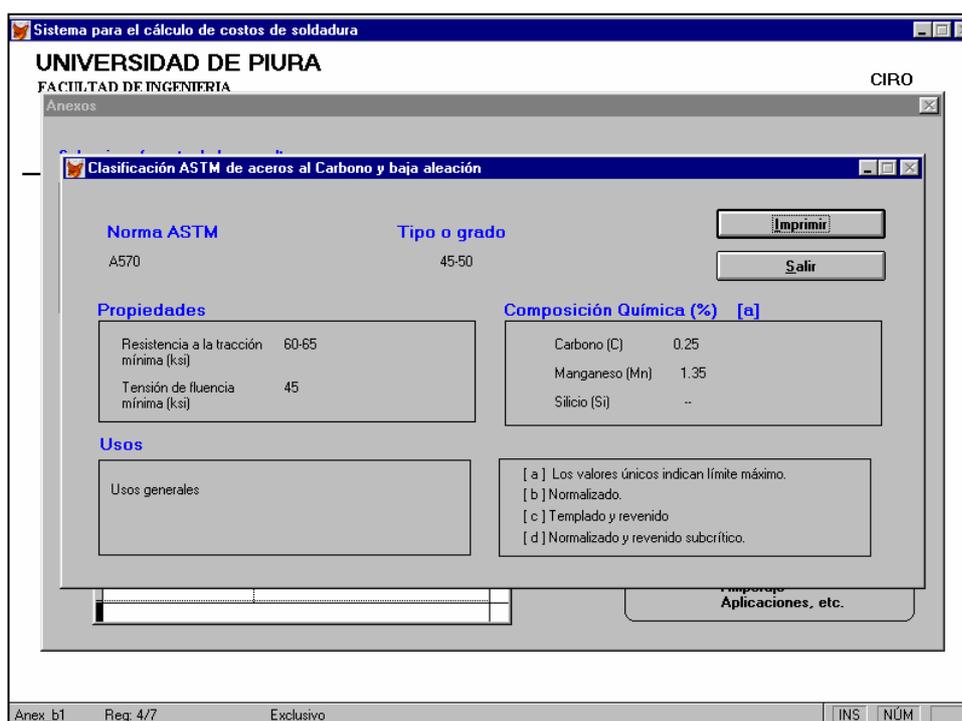
Para regresar a la pantalla anterior deberá presionarse el botón **Salir al menú de búsqueda** que se encuentra a la derecha del botón **Consulta detallada**.



Detalles de aceros al carbono y de baja aleación

Una vez que se visualiza la lista de aceros encontrados, entonces con la ayuda de las teclas cursoras seleccionamos el acero deseado y a continuación presionamos la tecla **F2** para ver los detalles del acero en cuestión, esto es: Norma ASTM, tipo o grado, propiedades, composición química y usos tal como se muestra en la siguiente figura.

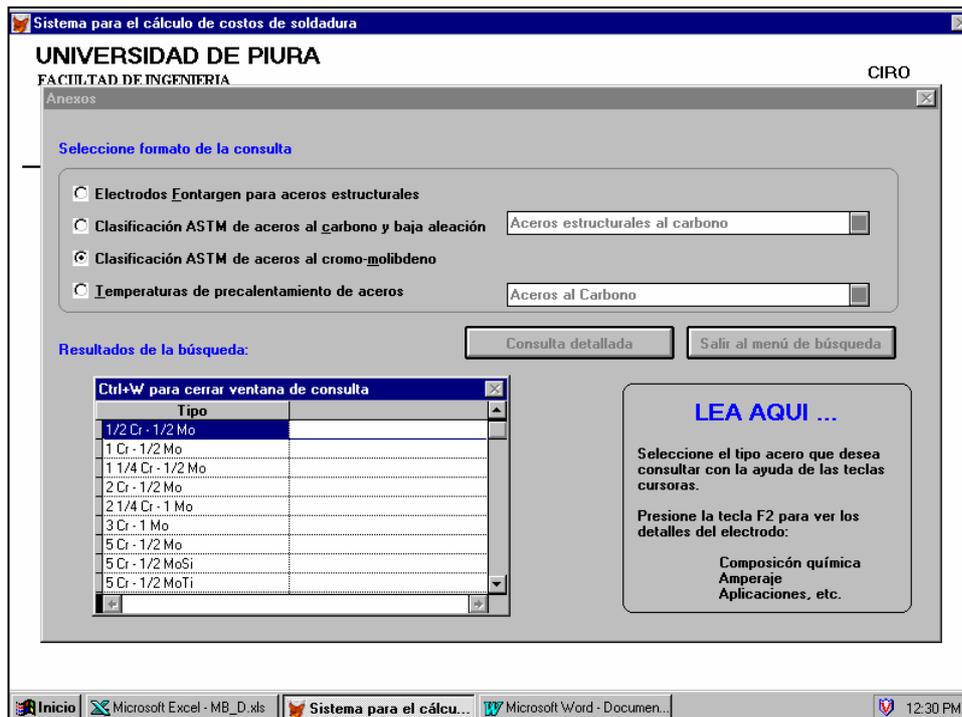
Por otra parte a este punto podemos imprimir los datos mostrados en la pantalla presionando el botón **Imprimir** que se encuentra ubicado en la parte superior derecha o podemos regresar a la pantalla anterior presionando el botón **Salir** ubicado debajo del botón **Imprimir**.



Consulta detallada

Una vez elegido el parámetro de búsqueda, presionamos el botón **Consulta detallada** para acceder a una lista de aceros al cromo-molibdeno que se hallan dentro del criterio seleccionado. Esta lista, como se ve en la figura, sólo muestra el tipo de acero, pero no su detalle.

Para regresar a la pantalla anterior deberá presionarse el botón **Salir al menú de búsqueda** que se encuentra a la derecha del botón **Consulta detallada**.



Detalles de aceros al cromo - molibdeno

Una vez que se visualiza la lista de aceros encontrados, entonces con la ayuda de las teclas cursoras seleccionamos el acero deseado y a continuación presionamos la tecla **F2** para ver los detalles del acero en cuestión, esto es: Tipo de acero, forjados, tubos, tubería, fundido, planchas, composición química, etc., como se muestra en la figura que sigue.

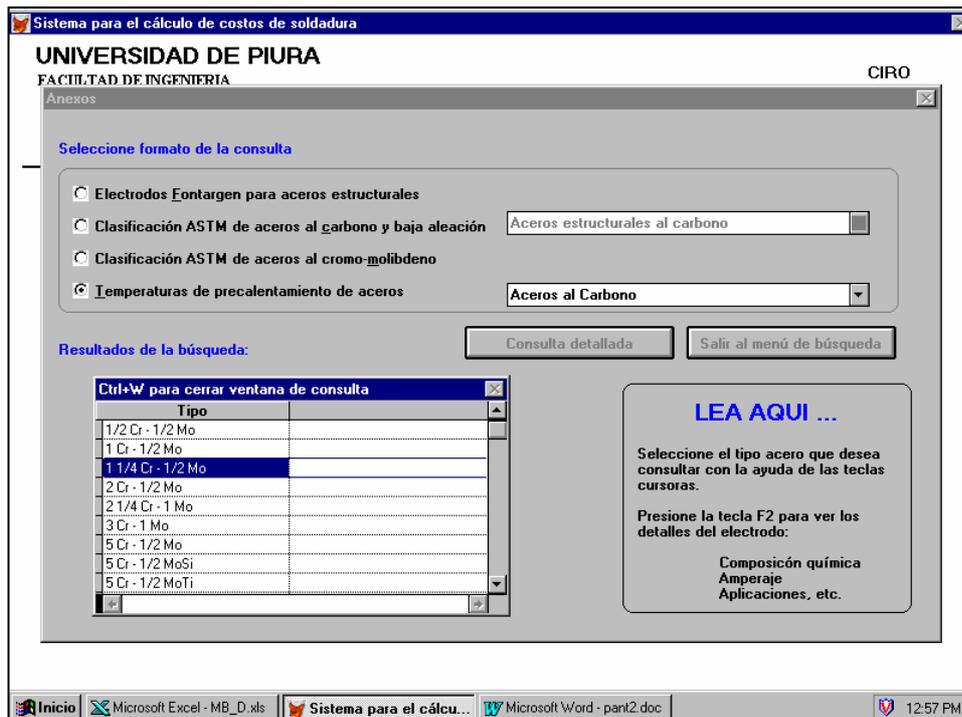
Por otra parte a este punto podemos imprimir los datos mostrados en la pantalla presionando el botón **Imprimir** que se encuentra ubicado en la parte superior derecha o podemos regresar a la pantalla anterior presionando el botón **Salir** ubicado debajo del botón **Imprimir**.



Consulta detallada

Una vez elegido el parámetro de búsqueda, presionamos el botón **Consulta detallada** para acceder a una lista de temperaturas de precalentamiento que se hallan dentro del criterio seleccionado. Esta lista, como se ve en la figura, sólo muestra el tipo de acero, pero no su detalle.

Para regresar a la pantalla anterior deberá presionarse el botón **Salir al menú de búsqueda** que se encuentra a la derecha del botón **Consulta detallada**.



Detalles de temperaturas de precalentamiento

Una vez que se visualiza la lista de aceros encontrados, entonces con la ayuda de las teclas cursoras seleccionamos el acero deseado y a continuación presionamos la tecla **F2** para ver los detalles del acero en cuestión, esto es: Tipo de acero, espesor de la pieza a soldar, composición química, etc., como se muestra en la figura que sigue.

Por otra parte a este punto podemos imprimir los datos mostrados en la pantalla presionando el botón **Imprimir** que se encuentra ubicado en la parte superior derecha o podemos regresar a la pantalla anterior presionando el botón **Salir** ubicado debajo del botón **Imprimir**.



Detalles de otros tipos de aceros

Habiéndose elegido como formato de consulta **Clasificación ASTM de aceros al carbono y baja aleación** dentro del submenú **Anexos**, hemos seleccionado aceros templados y revenidos con ayuda del mouse, luego se ha presionado el botón **Consulta detallada** eligiéndose a continuación el acero **A514/A517 A**, luego con ayuda de la tecla **F2** se ha tenido acceso a la pantalla que se muestra a continuación y en dónde se pueden ver: Propiedades, composición química, usos, norma, etc.

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Clasificación ASTM de aceros al Carbono y baja aleación

Norma ASTM: A514/A517 Tipo o grado: E

[Imprimir] [Salir]

Propiedades

| | |
|--|---------|
| Resistencia a la tracción mínima (ksi) | 105-135 |
| Tensión de fluencia mínima (ksi) | -- |

Usos

.....

Composición Química (%) [a]

| | |
|----------------|---------------------------|
| Carbono (C) | 0.12-0.20 |
| Manganeso (Mn) | 0.40-0.70 |
| Fósforo (P) | 0.035 |
| Azufre (S) | 0.040 |
| Silicio (Si) | 0.20-0.35 |
| Níquel (Ni) | -- |
| Cromo (Cr) | 1.40-2.00 |
| Molibdeno (Mo) | 0.40-0.60 |
| Vanadio (V) | -- |
| Otros | Ti: 0.04-0.10(g) ; B: 0.1 |

[a] Los valores únicos indican límite máximo.
[b] Estos grados pueden contener columbio, vanadio o nitrógeno.
[c] El Vanadio puede sustituirse por el Nitrógeno en relación 1:1
[d] Los valores límites varían con el espesor de la chapa.
[e] Cuando se especifica

Anex_b1 Reg. 5/28 Exclusivo [INS] [NÚM]

Detalles de aceros CON-PAC

Habiéndose elegido como formato de consulta **Temperaturas de precalentamiento de aceros** dentro del submenú **Anexos**, hemos seleccionado **Aceros CON-PAC 80, 90 y 100** con ayuda del mouse, luego se ha presionado el botón **Consulta detallada** eligiéndose a continuación el acero **80**, luego con ayuda de la tecla **F2** se ha tenido acceso a la pantalla que se muestra a continuación y en dónde se pueden ver: clase, tipo, observaciones y máxima energía de arco.

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA

CIRO

Anexos

Seleccione formato de la consulta

Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldadura

Clase
Aceros CON-PAC 80,90,100

Tipo
CON-PAC 80

Imprimir

Salir

Máxima Energía de arco (KJ/cm)

| Espesor (mm) | Temperatura de precalentamiento y entrepasados (°C) | | | |
|--------------|---|------|-------|-------|
| | 20°C | 65°C | 120°C | 205°C |
| 4.8 | --- | --- | --- | --- |
| 6.4 | 10 | 9 | 8 | --- |
| 9.5 | 16 | 14 | 12 | 9 |
| 12.7 | 20 | 19 | 15 | 12 |
| 12.7 - 32 | 20 | 20 | 20 | 16 |

Observaciones

Los espesores menores [indicados con (-)] se deberán soldar con la menor energía posible (electrodos finos y cordones largos y angostos). A pesar de ello el signo (-) indica que no se obtendrá el 100% de eficiencia en la junta.

Amperaje
Aplicaciones, etc.

Resto_1 Reg: 1/3 Exclusivo INS NÚM

Detalles de aceros COR-TEN

Habiéndose elegido como formato de consulta **Temperatura de precalentamiento de aceros** dentro del submenú **Anexos**, hemos seleccionado **Aceros COR-TEN A, B y C** con ayuda del mouse, luego se ha presionado el botón **Consulta detallada** eligiéndose a continuación el acero **B**, luego con ayuda de la tecla **F2** se ha accedido a la pantalla que se muestra a continuación y en dónde se pueden ver: Clases, tipo, observaciones y máxima energía de arco.

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA

CIRO

Anexos

Seleccione formato de la consulta

Electrodos Fontarqen para aceros estructurales

Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldadura

Clase
Aceros COR-TEN A,B,C

Tipo
COR-TEN B

Imprimir

Salir

Máxima Energía de arco (KJ/cm)

| Espesor (mm) | Temperatura de precalentamiento y entrepasados (°C) |
|--------------|---|
| > 25 | Quitar humedad |
| 25 - 50 | 40 |
| 20 - 240 | 95 |

Observaciones

En soldaduras muy restringidas puede ser necesario precalentar entre 120 y 205 °C

detalles del electrodo:

Composición química
Amperaje
Aplicaciones, etc.

Resto_2 Reg: 2/3 Exclusivo INS NÚM

Detalles de aceros T1, T1A y T1B

Habiéndose elegido como formato de consulta **Temperatura de precalentamiento de aceros** dentro del submenú **Anexos**, hemos seleccionado **Aceros T1, T1A y T1B** con ayuda del mouse, luego se ha presionado el botón **Consulta detallada** eligiéndose a continuación los aceros **T1, T1A y T1B**, luego con ayuda de la tecla **F2** se ha accedido a la pantalla que se muestra a continuación y en dónde se pueden ver: Clases, tipo, temperatura de precalentamiento y entrepasados, aporte térmico, etc.

The screenshot shows a software window titled "Sistema para el cálculo de costos de soldadura" from the "UNIVERSIDAD DE PIURA". The main window is titled "Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldadura". It displays two tables of preheating temperatures for different steel grades and thicknesses.

ACERO T1
Temperatura de precalentamiento y entrepasados

| Espesor hasta (mm) | 25°C | 65°C | 95°C | 150°C | 205°C |
|--------------------|--------|------|------|-------|-------|
| 4.75 | 10.6** | 9.0 | 8.3 | 6.7 | 5.1 |
| 6.53 | 14.1 | 12.6 | 11.4 | 9.4 | 7.5 |
| 12.70 | 27.5 | 24.4 | 22.0 | 18.5 | 15.7 |
| 19.00 | 47.6 | 42.1 | 38.9 | 32.2 | 25.6 |
| 25.40 | --- | 73.9 | 68.1 | 49.5 | 36.6 |
| 31.75 | --- | --- | --- | 68.8 | 49.9 |
| 38.10 | --- | --- | --- | --- | 64.8 |
| 50.80 | --- | --- | --- | --- | --- |

ACERO T1A y T1B
Temperatura de precalentamiento y entrepasados

| Espesor hasta (mm) | 25°C | 65°C | 95°C | 150°C | 205°C |
|--------------------|-------|------|------|-------|-------|
| 4.75 | 6.9** | 6.0 | 5.5 | 4.5 | 3.5 |
| 6.53 | 9.3 | 8.2 | 7.5 | 6.2 | 4.8 |
| 12.70 | 13.7 | 12.1 | 10.0 | 9.2 | 7.3 |
| 19.00 | 18.6 | 16.5 | 15.1 | 12.5 | 10.2 |
| 25.40 | 25.4 | 22.6 | 20.8 | 16.7 | 13.2 |
| 31.75 | 34.8 | 30.4 | 27.4 | 21.9 | 16.5 |
| 38.10 | --- | 47.2 | 43.4 | 33.8 | 25.8 |
| 50.80 | --- | --- | 60.5 | 47.2 | 37.0 |

** Aporte Térmico (KJ / cm)
 $Q = E = \frac{U_a \times I_s}{V_a}$

Buttons: Imprimir, Salir

Footer: Resto_3 Reg: 1/1 Exclusivo INS NÚM

Consulta detallada WEL - TEN

Habiéndose elegido como formato de consulta **Temperatura de precalentamiento de aceros** dentro del submenú **Anexos**, hemos seleccionado **Aceros WEL-TEN** con ayuda del mouse, luego se ha presionado el botón **Consulta detallada** eligiéndose a continuación los aceros **80, 80C y 80P**, luego con ayuda de la tecla **F2** se ha tenido acceso a la pantalla que se muestra a continuación y en dónde se pueden ver: Clases, tipo y temperatura de precalentamiento.

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA

CIRO

Anexos

Seleccione formato de la consulta

Electrodos Eontargen para aceros estructurales

Detalle de las temperaturas de calentamiento

Clase: Aceros WEN-TEL 60, 62, 70, 80, 80C y 80P

Tipo: WEL-TEN 70

Imprimir

Salir

| t sor (mm) | Temperatura de precalentamiento (°C) | Temperatura máxima de entrepasados (°C) | Energía de arco mínima (KJ / cm) |
|--------------|--------------------------------------|---|----------------------------------|
| 6 <= t < 13 | 50 | 150 | 25,000 |
| 13 <= t < 19 | 75 | 180 | 35,000 |
| 19 <= t < 26 | 100 | 200 | 45,000 |
| 26 <= t < 50 | 125 | 220 | 48,000 |

Presione la tecla F2 para ver los detalles del electrodo:

Composición química
Amperaje
Aplicaciones, etc.

Resto_4 Reg: 2/3 Exclusivo INS NÚM

II.- Cálculo de costos de soldadura (Paso 1 de 2)

Habiendo elegido el módulo de **Cálculo de Costos de Soldadura** aparecerá una pantalla como la que se muestra a continuación, en donde se podrá elegir el tipo de junta a soldar, el tipo de electrodo y el tipo de proceso de soldadura. Estas elecciones se realizan a través de listas desplegables. Del mismo modo, se podrá apreciar el diseño de la junta elegida haciendo clic en el botón **Ver junta**.

Para regresar al menú principal se deberá presionar el botón **Salir** al Menú Principal.

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA

CIRO
08/05/98

Sistema para el Cálculo de Costos de Soldadura

Cálculo de Costos

Elija tipo de junta a soldar
De tapón Ver Junta

Elija tipo de electrodo
Electrodo cubierto

Elija tipo de proceso
Soldadura por arco de metal protegido (SMAW)

Paso 1 de 2

Continuar con Paso 2 de 2

Salir al Menú Principal

Facultad de Ingeniería
Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica

http://www.udep.edu.pe
email: ciro_bazan@hotmail.com

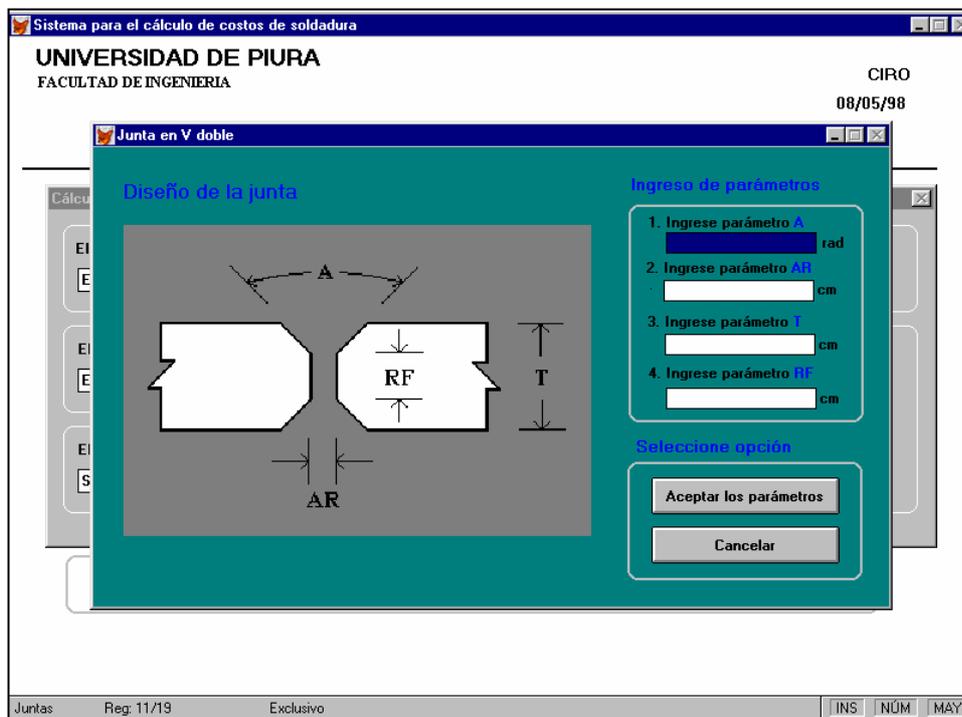
Juntas Reg: EOF/19 Exclusivo

INS NÚM MAY

Ver junta (Paso 1 de 2)

Luego de haber elegido el tipo de junta a soldar, el usuario deberá presionar el botón **Ver junta** para poder ver el diseño de la misma tal como se ve en la pantalla que se muestra a continuación y poder luego ingresar sus parámetros ya sea con ayuda de las teclas cursoras o con ayuda del mouse. Al finalizar el ingreso de los parámetros, el usuario debe presionar el botón **Aceptar parámetros** para regresar a la pantalla anterior.

Si el usuario desea regresar a la pantalla anterior deberá presionar el botón **cancelar**.



Cálculo de costos de soldadura (Paso 2 de 2)

Luego de haberse elegido el tipo de electrodo, de proceso, de junta, y después de haber ingresado los parámetros de la unión de soldadura deberá presionarse el botón **Continuar con paso 2 de 2**. Aparecerá una de las pantallas que se muestran a continuación, en donde el usuario deberá ingresar una serie de datos y podrá elegir otros que se encuentran en ventanas desplegadas. Estos datos son necesarios para que el sistema pueda realizar el cálculo de los costos de soldadura.

Como puede verse en las pantallas mostradas los datos a ingresar dependerán del tipo de proceso, de electrodo y de junta elegidos. Para regresar a la pantalla anterior se deberá presionar el botón **Regresar al paso 1 de 2**.

Paso 2 de 2 para Proceso SMAW

The screenshot shows a software window titled "Sistema para el cálculo de costos de soldadura" with a sub-window "Soldadura por arco de metal protegido (SMAW)". The main heading is "Paso 2 de 2".

Inputs on the left:

- Material: Aluminio
- Density: 0.00270 (kg/cm³)
- Electrode length: 14" (pulgadas)
- Application method: Manual
- Recommended efficiency range: 55% a 65%
- Electrode efficiency: 60.00 (%)
- Operator factor: 5% a 30%
- Operator factor input: 25.00 (%)

Buttons on the left:

- Iniciar proceso de cálculo
- Regresar al Paso 1 de 2

Inputs on the right (Ingreso datos para cálculo final):

- Electrode diameter: 1.25 cm
- Electrode price: 18.00 \$/kg
- Welder rate: 8.00 \$/hr
- Travel speed: 5.00 m/hr
- Fusion speed: 1.25 m/min
- Indirect cost factor: 16.00 \$/hr
- Reinforcement %: 20.00 %
- # welds: 4.00
- Electric energy rate: 75.00 \$/kwh
- Welding voltage: 220.00 V
- Welding current: 5.00 A
- Welder efficiency: 85.00 %
- Weld length: 20.00 m
- # passes: [empty]
- Additional costs: 85.00 \$

System tray: INS NÚM MAY

Paso 2 de 2 para Proceso GTAW: Sin material de aporte.

Sistema para el cálculo de costos de soldadura
Soldadura por arco de tungsteno y gas (GTAW)

Paso 2 de 2

Ingrese densidad del electrodo en kg/cm³: Ingrese diámetro del electrodo en cm.:

Rendimiento usual del electrodo : (%)
 Ingrese rendimiento del electrodo : (%)
 Tipo de método de aplicación :
 Factor Operador recomendado :
 Ingrese factor operador : (%)

Ingrese datos para cálculo final

| | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Velocidad de fusión | <input type="text" value="1.30"/> | m/min |
| Precio del gas de protección | <input type="text" value="20.00"/> | \$/m ³ |
| Velocidad del flujo de gas | <input type="text" value="4.50"/> | m ³ /hr |
| Duración del arco | <input type="text"/> | min |
| Precio del metal de aporte | <input type="text" value="18.00"/> | \$/kg |
| Tarifa de pago al soldador | <input type="text"/> | \$/hr |
| Velocidad de recorrido | <input type="text" value="5.00"/> | m/hr |
| Factor de gasto indirecto | <input type="text" value="20.00"/> | \$/hr |
| % de refuerzo | <input type="text" value="15.00"/> | % |
| # de soldaduras | <input type="text" value="6.00"/> | |
| Tarifa de energía eléctrica | <input type="text" value="100.00"/> | \$/kwh |
| Voltaje de soldadura | <input type="text" value="120.00"/> | V |
| Corriente de soldadura | <input type="text" value="4.00"/> | A |
| Rendimiento de máquina de soldar | <input type="text" value="89.00"/> | % |
| Longitud soldada | <input type="text" value="4.60"/> | m |
| # de pasadas | <input type="text" value="3.00"/> | |
| Costos adicionales | <input type="text" value="55.00"/> | \$ |

Inicio Sistema para el cálcu... 05:31 PM

Paso 2 de 2 para proceso GTAW: Con metal de aporte.

Sistema para el cálculo de costos de soldadura
Soldadura por arco de tungsteno y gas (GTAW)

Paso 2 de 2

Seleccione el material de aporte:

Densidad del metal de aporte en kg/cm³: Ingrese diámetro del material de aporte en cm.:

Ingrese rendimiento del material de aporte : (%)
 Tipo de método de aplicación :
 Factor Operador Usual :
 Ingrese factor operador : (%)

Ingrese datos para cálculo final

| | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| Vida Util Electrodo de Tungsteno | <input type="text" value="1,500.00"/> | min |
| Costo del electrodo de Tungsteno | <input type="text" value="20.00"/> | \$ |
| Velocidad de fusión | <input type="text" value="3.50"/> | m/min |
| Precio del gas de protección | <input type="text" value="4.50"/> | \$/m ³ |
| Velocidad del flujo de gas | <input type="text" value="3.00"/> | m ³ /hr |
| Duración del arco | <input type="text" value="6.00"/> | min |
| Precio del metal de aporte | <input type="text" value="12.00"/> | \$/kg |
| Tarifa de pago al soldador | <input type="text" value="5.00"/> | \$/hr |
| Velocidad de recorrido | <input type="text" value="4.00"/> | m/hr |
| Factor de gasto indirecto | <input type="text" value="10.00"/> | \$/hr |
| % de refuerzo | <input type="text" value="9.00"/> | % |
| # de soldaduras | <input type="text"/> | |
| Tarifa de energía eléctrica | <input type="text" value="5.00"/> | \$/kwh |
| Voltaje de soldadura | <input type="text" value="80.00"/> | V |
| Corriente de soldadura | <input type="text" value="60.00"/> | A |
| Rendimiento de máquina de soldar | <input type="text" value="80.00"/> | % |
| Longitud soldada | <input type="text" value="5.00"/> | m |
| # de pasadas | <input type="text" value="1.00"/> | |
| Costos adicionales | <input type="text" value="25.00"/> | \$ |

Juntas Reg: EOF/19 Exclusivo INS NÚM

Paso 2 de 2 para Proceso GMAW

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

Soldadura por arco de metal y gas (GMAW)

Paso 2 de 2

Ingreso datos para cálculo final

Velocidad de fusión: 2.20 m/min
 Precio del gas de protección: 15.00 \$/m3
 Velocidad del flujo de gas: 5.00 m3/hr
 Duración del arco: min
 Precio del electrodo: 16.00 \$/kg
 Tarifa de pago al soldador: \$/hr
 Velocidad de recorrido: 5.00 m/hr
 Factor de gasto indirecto: 18.00 \$/hr
 % de refuerzo: 5.00 %
 # de soldaduras: 8.00
 Tarifa de energía eléctrica: 85.00 \$/kwh
 Voltaje de soldadura: 120.00 V
 Corriente de soldadura: 2.50 A
 Rendimiento de máquina de soldar: 89.00 %
 Longitud soldada: 5.00 m
 # de pasadas: 2.00
 Costos adicionales: 100.00 \$

Ingreso densidad del electrodo en kg/cm3: 0.00270
 Ingreso diámetro del electrodo en cm: 1.20000

Rendimiento usual del electrodo: 90% - 95%
 Ingreso rendimiento del electrodo: 92.00 (%)
 Tipo de método de aplicación: Automático
 Factor Operador recomendado: 50% - 100%
 Ingreso factor operador: 55.00 (%)

Iniciar proceso de cálculo
 Regresar al Paso 1 de 2

Inicio Sistema para el cálculo... Microsoft Word 05:37 PM

Paso 2 de 2 para Proceso SAW

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

Soldadura por arco sumergido (SAW)

Paso 2 de 2

Ingreso datos para cálculo final

Duración del arco: min
 Velocidad de fusión: 5.20 m/min
 Precio del fundente: 18.00 \$/kg
 Precio del electrodo: 16.00 \$/kg
 Tarifa de pago al soldador: 8.90 \$/hr
 Velocidad de recorrido: 2.80 m/hr
 Factor de gasto indirecto: 15.00 \$/hr
 % de refuerzo: 2.00 %
 # de soldaduras: min
 Tarifa de energía eléctrica: 86.00 \$/kwh
 Voltaje de soldadura: 120.00 V
 Corriente de soldadura: 3.50 A
 Rendimiento de máquina de soldar: 85.00 %
 Longitud soldada: 2.80 m
 # de pasadas: 4.00
 Costos adicionales: 25.00 \$

Ingreso densidad del electrodo en kg/cm3: 0.00860
 Ingreso diámetro del electrodo en cm: 0.08500

Rendimiento usual del electrodo: 95% - 100%
 Ingreso rendimiento del electrodo: 98.00 (%)
 Tipo de método de aplicación: Semiautomático
 Factor Operador recomendado: 10% - 60%
 Ingreso factor operador: 50.00 (%)

Iniciar proceso de cálculo
 Regresar al Paso 1 de 2

Inicio Sistema para el cálculo... Microsoft Word - pantallas... 05:43 PM

Calculando Costos

Luego de haber ingresado todos los datos requeridos de acuerdo al tipo de proceso, de electrodo y junta escogidos se presionará el botón **Iniciar el proceso de cálculo**.

Este proceso se realiza automática e internamente. Básicamente consiste en consultar la base de datos que contienen las fórmulas involucradas en dicho cálculo. Desde el punto de vista del usuario, sólo le bastará presionar el botón de **Iniciar proceso de cálculo** para lograr los resultados deseados.

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

Soldadura por arco de metal protegido (SMAW)

Paso 2 de 2

Elija tipo de material de aporte: Aluminio

Ingrese densidad del metal de aporte: 0.00270 (kg/cm3)

Elija longitud del electrodo: 14" (pulgadas)

Método de aplicación según longitud del electrodo: Proceso de Cálculo de Costos

Rango de rendimiento

Ingrese rendimiento de

Factor Operador recor

Ingrese factor operado

Calculando costos ... % completo

Ingrese datos para cálculo final

| | | |
|----------------------------------|--------|--------|
| Diámetro del electrodo | 1.25 | cm |
| Precio del electrodo | 18.00 | \$/kg |
| | 8.00 | \$/hr |
| | 5.00 | m/hr |
| | 1.25 | m/min |
| | 16.00 | \$/hr |
| | 20.00 | % |
| | 4.00 | |
| | 75.00 | \$/kwh |
| Voltaje de soldadura | 220.00 | V |
| Corriente de soldadura | 5.00 | A |
| Rendimiento de máquina de soldar | 85.00 | % |
| Longitud soldada | 20.00 | m |
| # de pasadas | | |
| Costos adicionales | 85.00 | \$ |

Iniciar proceso de cálculo

Regresar al Paso 1 de 2

INS NÚM MAY

Resultados del cálculo

Esta pantalla forma parte del objetivo principal del sistema: mostrar los cálculos involucrados en un determinado tipo de proceso de soldadura. Estos costos se dividen básicamente en 7 grandes grupos: costo del electrodo, costo de mano de obra, costo por gastos indirectos, costo de energía eléctrica, costo del gas de protección, costo del fundente y costos adicionales. Además totaliza dichos rubros. No debemos perder de vista que todo el proceso de cálculo se realiza en moneda de Dólares Americanos (US\$).

Debemos hacer notar que para el proceso SMAW el sistema además de calcular los costos de soldadura, también calcula el número de varillas necesarias para realizar una determinada operación de soldadura. El sistema permite imprimir los resultados obtenidos del proceso de cálculo si el usuario lo desea. Para regresar a la pantalla Paso 2 de 2, debemos presionar el botón **Salir**.

Resultados del proceso de cálculo (SMAW)

Resultados obtenidos:

| | | |
|---------------------------------|-------------------|-------------|
| Costo del electrodo | 4,174.0139 | US\$ |
| Costo de mano de obra | 114.2857 | US\$ |
| Costo por gastos indirectos | 228.5714 | US\$ |
| Costo de energía eléctrica | 270.9572 | US\$ |
| Costos adicionales | 25.0000 | US\$ |
| Costo Total | 4,812.8283 | US\$ |
| # de varillas necesarias | 34.0000 | |

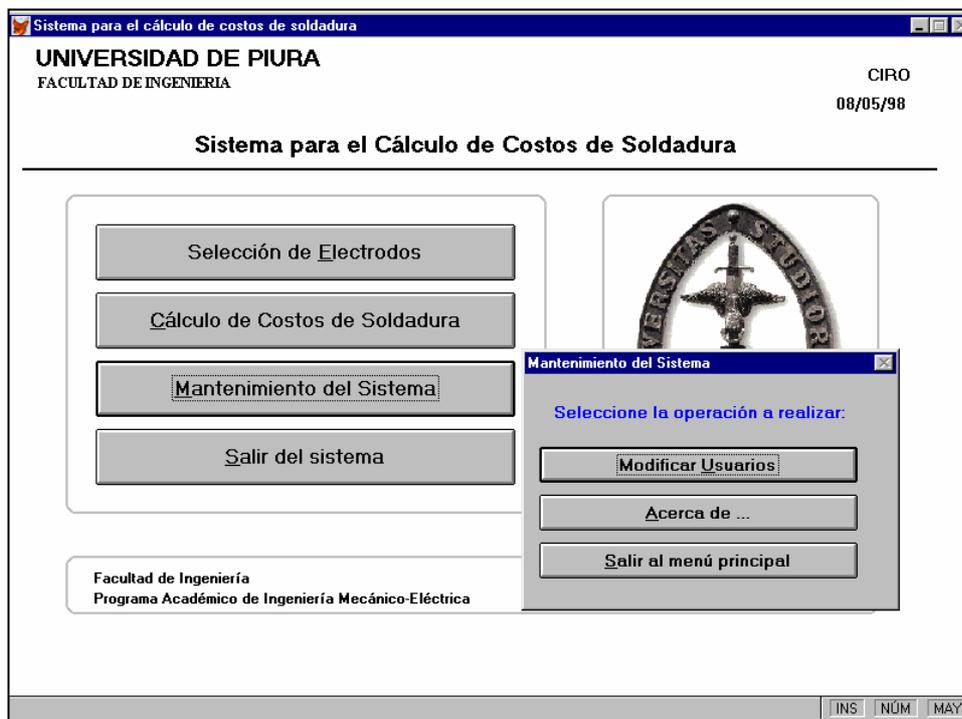
0.80 cm
8.00 \$/kg
8.00 \$/hr
2.50 m/hr
1.00 m/min
6.00 \$/hr
5.00 %
5.00 \$/kwh
0.00 v
2.50 A
0.00 %
5.00 m
1.00

Costos adicionales 25.00 \$

INS NÚM

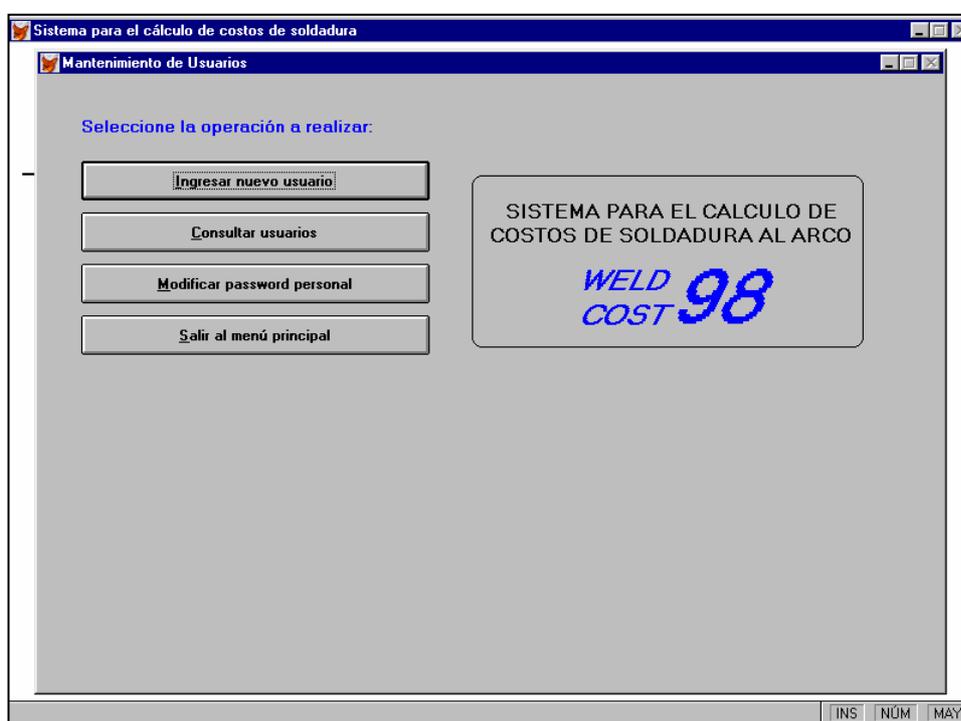
Mantenimiento del sistema

El sistema ofrece, desde su menú principal, un módulo de mantenimiento, que le proporciona flexibilidad para el control de usuarios y que a la vez brinda información referida a los autores del sistema: personas que realizaron el análisis teórico, el diseño y programación del mismo.



Modificación de usuarios

Accedemos a esta parte del **Mantenimiento del Sistema**, presionando el botón correspondiente en el submenú citado. Una vez dentro de este módulo, el usuario tiene la posibilidad de **Ingresar nuevos usuarios**, **Modificar el password personal** y **Consutar los usuarios** del sistema, tal como se muestra en la siguiente figura. Para regresar al menú principal se deberá presionar el botón Salir al menú principal.



Ingresar nuevos usuarios

Esta opción permite al usuario actual registrar a un nuevo usuario del sistema, ingresando su nombre y su password. Con esto logramos que el sistema no sea exclusividad de unos cuantos usuarios, si no más bien, logra una alta flexibilidad y se vuelve dinámico en cuanto al acceso al mismo.

Para realizar el proceso de registro se deberá ingresar el nombre del nuevo usuario, su password dos veces (sólo para que el usuario esté seguro de que lo escrito fue lo pensado) y elegir el tipo de atributo. Para guardar el ingreso en la base de datos, se presiona el **botón Registrar usuario**. Luego, para cualquier caso, en caso se desee abandonar la operación de Ingresar nuevo usuario, debemos presionar el botón **Cancelar**.



The screenshot displays a software window titled "Sistema para el cálculo de costos de soldadura" with a sub-window "Mantenimiento de Usuarios".

Operaciones:

- Ingresar nuevo usuario
- Consultar usuarios
- Modificar password personal
- Salir al menú principal

Logo: SISTEMA PARA EL CALCULO DE COSTOS DE SOLDADURA AL ARCO WELD COST 98

Formulario de Registro:

Registre los datos de nuevo usuario.

Ingrese usuario: JORGELUIS

Ingrese password: ****

Ingrese nuevamente password: ****

Seleccione atributo: Supervisor

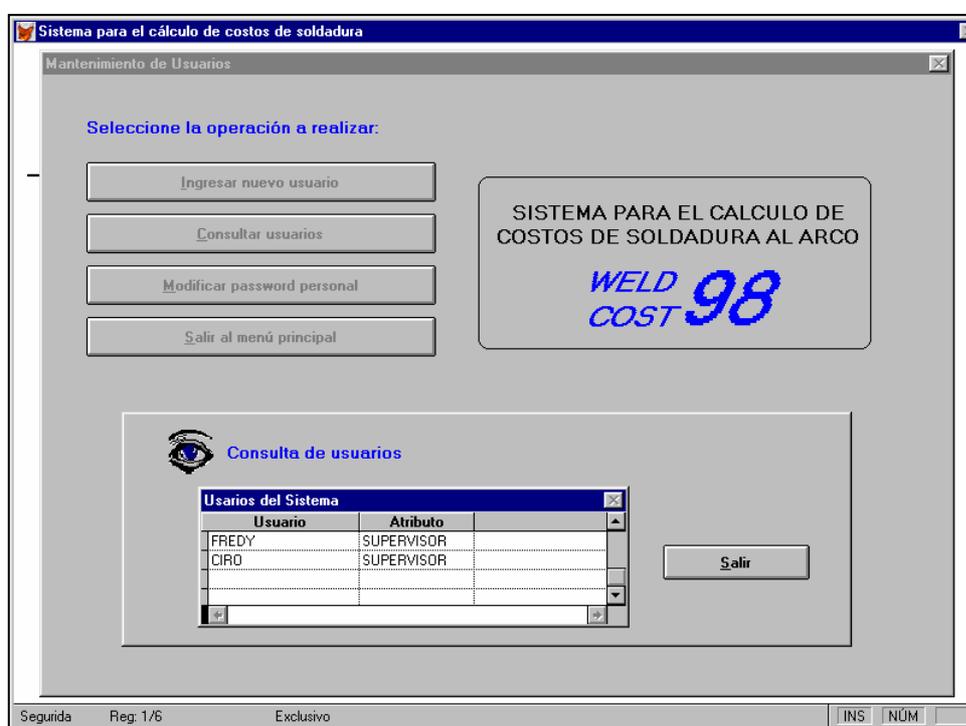
Botones: Registrar usuario, Cancelar

Barra de estado: INS | NÚM | MAY

Consultar usuarios

Opción sólo de consulta. El usuario puede visualizar a todos los usuarios registrados en el sistema. Puede resultar útil para el supervisor del sistema conocer los usuarios registrados hasta el momento.

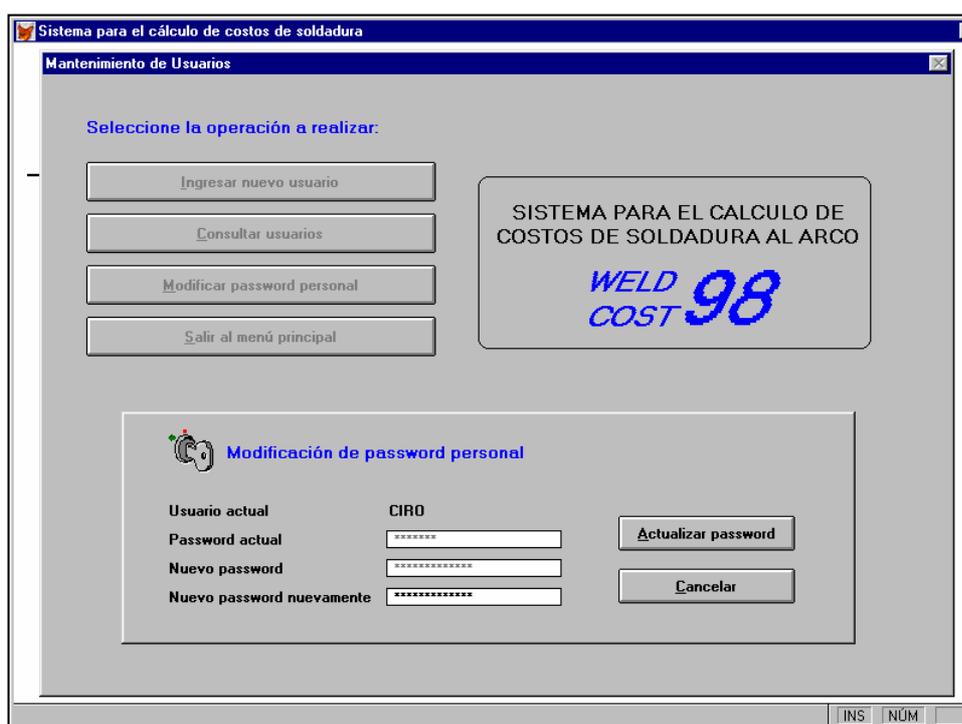
Abandonamos la opción de consulta presionando el botón **Salir**. El sistema automáticamente cierra la base de usuarios y devuelve el control al menú principal del **Mantenimiento de usuarios**.



Modificar password personal

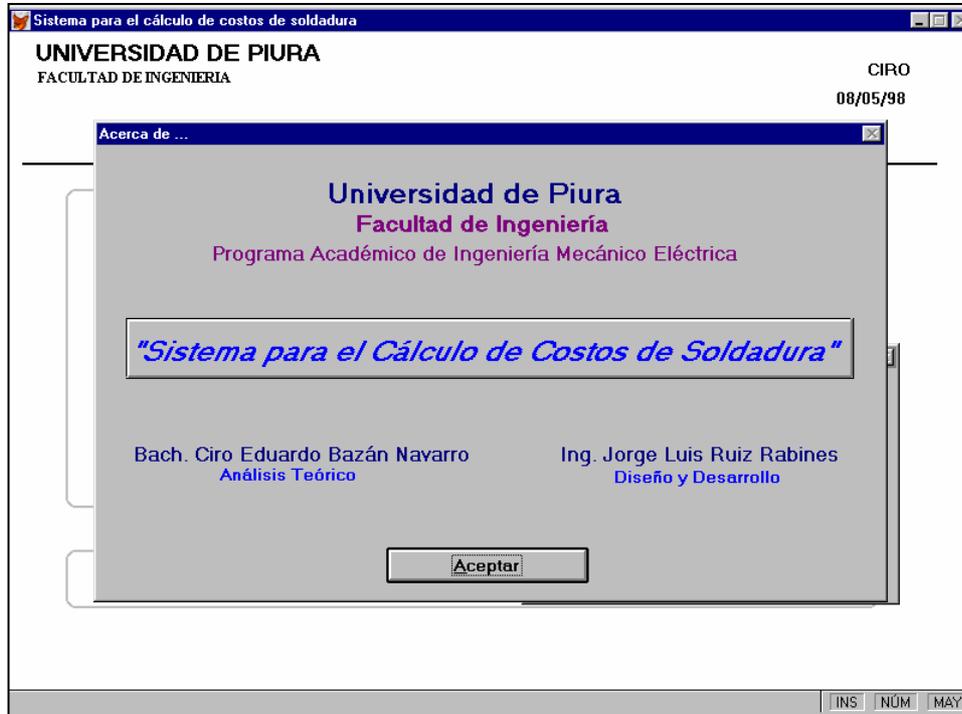
Permite al usuario cambiar su password personal para evitar el acceso de personas no autorizadas que en algún momento puedan haber conseguido de manera ilegal el password de determinado usuario. Es una muy buena costumbre realizar periódicamente dicho cambio para evitar ingresos indeseados.

El procedimiento de modificación se realiza ingresando el password anterior y luego ingresando el nuevo password con su respectiva corroboración. Para guardar los cambios se presiona el botón **Actualizar password**. Si queremos abandonar la operación presionamos el botón **Cancelar**.



The screenshot shows a Windows-style application window titled "Sistema para el cálculo de costos de soldadura". Inside, there is a sub-window titled "Mantenimiento de Usuarios". The main area contains a menu with four buttons: "Ingresar nuevo usuario", "Consultar usuarios", "Modificar password personal", and "Salir al menú principal". To the right of this menu is a box containing the text "SISTEMA PARA EL CALCULO DE COSTOS DE SOLDADURA AL ARCO" and the logo "WELD COST 98". Below the menu is a section titled "Modificación de password personal" with a mouse cursor icon. This section contains four input fields: "Usuario actual" (with the value "CIRO"), "Password actual" (with asterisks), "Nuevo password", and "Nuevo password nuevamente" (with asterisks). To the right of these fields are two buttons: "Actualizar password" and "Cancelar". At the bottom right of the window, there are status indicators for "INS" and "NÚM".

Acerca de...



Salir del Sistema



APÉNDICE C

FÓRMULAS Y EJEMPLOS

Fórmulas Utilizadas

Proceso SMAW:

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

$$W.D = \rho \times v \times \left(\frac{100 + \% \text{ ref.}}{100} \right) \quad (\text{Ec.1})$$

donde:

W.D : Peso del depósito en kg.

ρ : Densidad del metal de aporte en kg/cm³.

V : Volumen de la junta en cm³.

% ref. : Porcentaje de refuerzo.

$$W.M.A = \left(\frac{W.D \times 100}{\eta} \right) \quad (\text{Ec.2})$$

donde:

W.M.A :Peso del metal de aporte necesario en kg.

η : Rendimiento del metal de aporte en %.

$$C.E = P.E \times W.M.A \times N.S \quad (\text{Ec.3})$$

donde:

C.E : Costo del electrodo en \$.

N.S :Número de soldaduras.

P.E : Precio del electrodo en \$/kg.

$$S.T = \left(\frac{\pi \times D^2}{4} \right) \quad (\text{Ec.4})$$

donde:

S.T : Sección transversal del electrodo en cm^2 .

D : Diámetro del electrodo en cm.

$$N.V = \left(\frac{W.M.A}{S.T \times 2.54 L.E \times \rho} \right) \quad (\text{E.c.5})$$

donde:

N.V : Número de varillas necesarias para soldar.

L. E : Longitud del electrodo en pulgadas.

$$W.M.A.N = 6000 \times V.F \times \rho \times S.T \quad (\text{Ec.6})$$

donde:

W.M.A.N : Peso del metal de aporte necesario en kg/hr.

V.F : Velocidad de fusión del electrodo en m/min.

$$V.D = \left(\frac{W.M.A.N \times 100}{\eta} \right) \quad (\text{Ec.7})$$

donde:

V.D : Velocidad de deposición del electrodo en kg/hr.

$$C.M.O = \left(\frac{T.S \times W.D \times N.S \times 100}{V.D \times F.O} \right) \quad (\text{Ec.8})$$

donde:

C.M.O : Costo de mano de obra en \$.

T.S : Tarifa de pago al soldador en \$/hr.

F.O : Factor operador en %.

$$C.G.I = \left(\frac{F.G.I \times W.D \times N.S \times 100}{V.D \times F.O} \right) \quad (\text{Ec.9})$$

donde:

C.G.I : Costo por gastos indirectos en \$.

F.G.I : Factor de gasto indirecto en \$/hr.

$$C.E.E = \left(\frac{T.E \times \text{Volt.} \times I \times W.D \times N.S \times 10}{V.D \times F.O \times \eta_m} \right) \quad (\text{Ec.10})$$

donde:

C.E.E : Costo de energía eléctrica en \$.

T.E : Tarifa eléctrica en \$/hr.

Volt. : Tensión de soldadura en voltios.

I : Corriente de soldadura en amperios.

η_m : Rendimiento de la máquina de soldar en %.

(**) Las fórmulas que presentamos a continuación son para el resto de juntas que aparecen en la figura 3.1 del capítulo III de la tesis.

- **Para 1 pasada de soldadura:**

$$W.D^* = C.S.A \times \rho \times (100 + \%ref.) \quad (Ec.11)$$

donde:

W.D* : Peso del depósito en kg/m.

C.S.A : Sección transversal de la junta en cm².

$$W.M.A.N^* = \left(\frac{W.D^* \times 100}{\eta} \right) \quad (Ec.12)$$

donde:

W.M.A.N* : Peso del metal de aporte necesario en kg/m.

$$C.E = P.E \times W.M.A.N^* \times L.S \quad (Ec.13)$$

donde:

L.S : Longitud soldada en m.

$$N.V = \left(\frac{W.M.A.N^*}{S.T \times L.E \times \rho} \right) \quad (Ec.14)$$

$$C.M.O = \left(\frac{T.S \times L.S \times 100}{V.R \times F.O} \right) \quad (Ec.15)$$

donde:

V.R : Velocidad de recorrido o velocidad de avance en m/hr.

$$C.G.I = \left(\frac{F.G.I \times L.S \times 100}{V.R \times F.O} \right) \quad (\text{Ec.16})$$

$$C.E.E = \left(\frac{T.E \times \text{Volt.} \times I \times W.D^* \times L.S \times 10}{V.D \times F.O \times \eta m} \right) \quad (\text{Ec.17})$$

- **Para varias pasadas:**

$$C.E = W.D^* \times N.P \quad (\text{Ec.18})$$

donde:

N.P : Número de pasadas de soldadura.

$$N.V = \left(\frac{W.M.A.N^* \times N.P}{S.T \times L.E \times \rho} \right) \quad (\text{Ec.19})$$

$$C.M.O = \left(\frac{T.S \times W.D^* \times L.S \times N.P \times 100}{V.D \times F.O} \right) \quad (\text{Ec.20})$$

$$C.G.I = \left(\frac{F.G.I \times W.D^* \times L.S \times N.P \times 100}{V.D \times F.O} \right) \quad (\text{Ec.21})$$

$$C.E.E = (\text{Ec.17}) \times N.P \quad (\text{Ec.22})$$

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.**

$$L.A = \left(\frac{1}{100 \times \rho \times S.T} \right) \quad (\text{Ec.23})$$

donde:

L.A : Longitud del alambre por unidad de longitud (m/kg).

$$W.M.A.N^{**} = \left(\frac{V.F \times 60}{L.A} \right) \quad (\text{Ec.24})$$

donde:

W.M.A.N** : Peso del metal de aporte necesario en kg/hr.

$$V.D = \left(\frac{W.M.A.N^{**} \times 100}{\eta} \right) \quad (\text{Ec.25})$$

$$W.M.A.N = \left(\frac{(\text{Ec.24}) \times D.A}{60} \right) \quad (\text{Ec.26})$$

donde:

D.A: Tiempo (en minutos) que permanece encendido el arco al rellenar una junta.

$$C.E = P.E \times W.M.N.A \times N.S \quad (\text{Ec.27})$$

$$C.G = \left(\frac{P.G \times C.G.P \times D.A \times N.S}{60} \right) \quad (\text{Ec.28})$$

donde:

C.G : Costo del gas de protección en \$.

P.G : Precio del gas de protección en \$/m³.

C.G.P : Caudal de salida del gas protector en m³/hr.

$$C.M.O = \left(\frac{T.S \times (\text{Ec.1}) \times N.S \times 100}{(\text{Ec.25}) \times F.O} \right) \quad (\text{Ec.29})$$

$$C.G.I = \left(\frac{F.G.I \times (\text{Ec.1}) \times N.S \times 100}{(\text{Ec.25}) \times F.O} \right) \quad (\text{Ec.30})$$

$$C.E.E = \left(\frac{T.E \times \text{Volt.} \times I \times (\text{Ec.1}) \times N.S \times 10}{(\text{Ec.25}) \times F.O \times \eta_m} \right) \quad (\text{Ec.31})$$

$$C.F = P.F \times (\text{Ec.1}) \times N.S \quad (\text{Ec.32})$$

donde:

C.F : Costo del fundente utilizado en el proceso SAW en \$.

P.F : Precio del fundente en \$/kg.

(**) Las fórmulas que presentamos a continuación son para el resto de juntas que aparecen en la figura 3.1 del capítulo III de la tesis.

- **Para 1 pasada de soldadura:**

$$W.M.A.N^{**} = \frac{(Ec.25)}{V.R} \quad (Ec.33)$$

$$W.D^* = S.T \times \rho \times (100 + \%ref.) \quad (Ec.34)$$

$$C.E = P.E \times (Ec.33) \times L.S \quad (Ec.35)$$

$$C.G = \left(\frac{P.G \times C.G \times L.S}{V.R} \right) \quad (Ec.36)$$

$$C.M.O = \left(\frac{T.S \times L.S \times 100}{V.R \times F.O} \right) \quad (Ec.37)$$

$$C.G.I = \left(\frac{F.G.I \times L.S \times 100}{V.R \times F.O} \right) \quad (Ec.38)$$

$$C.E.E = \left(\frac{T.E \times Volt. \times I \times (Ec.34) \times L.S}{(Ec.25) \times F.O \times \eta m} \right) \quad (Ec.39)$$

$$C.F = P.F \times (Ec.34) \times L.S \quad (Ec.40)$$

- **Para varias pasadas de soldadura:**

$$C.E = (\text{Ec.18}) \quad (\text{Ec.41}) \quad C.G = \left(\frac{P.G \times C.G \times L.S \times N.P}{V.R} \right) \quad (\text{Ec.42})$$

$$C.M.O = \left(\frac{T.S \times (\text{Ec.11}) \times L.S \times N.P \times 100}{(\text{Ec.7}) \times F.O} \right) \quad (\text{Ec.43})$$

$$C.G.I = \left(\frac{F.G.I \times (\text{Ec.11}) \times L.S \times N.P \times 100}{(\text{Ec.7}) \times F.O} \right) \quad (\text{Ec.44})$$

$$C.E.E = \left(\frac{T.E \times \text{Volt.} \times I \times (\text{Ec.11}) \times L.S \times N.P \times 10}{(\text{Ec.7}) \times F.O \times \eta m} \right) \quad (\text{Ec.45})$$

$$C.F = (\text{Ec.40}) \times N.P \quad (\text{Ec.46})$$

Proceso GTAW:

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

$$C.E.T = \left(\frac{P.E.T \times D.A \times N.S}{V.U} \right) \quad (\text{Ec.47})$$

donde:

C.E.T : Costo del electrodo de tungsteno en \$.

P.E.T : Precio del electrodo de tungsteno en \$.

V.U : Vida útil del electrodo de tungsteno en minutos.

$$L.A = \left(\frac{1}{100 \times \rho \times S.T} \right) \quad (\text{Ec.48})$$

donde:

L.A : Longitud del alambre por unidad de longitud (m/kg).

$$W.M.A.N^{**} = \left(\frac{V.F \times 60}{L.A} \right) \quad (\text{Ec.49})$$

donde:

W.M.A.N** : Peso del metal de aporte necesario en kg/hr.

$$V.D = \left(\frac{W.M.A.N^{**} \times 100}{\eta} \right) \quad (\text{Ec.50})$$

$$W.M.A.N = \left(\frac{(\text{Ec.49}) \times D.A}{60} \right) \quad (\text{Ec.51})$$

donde:

D.A: Tiempo (en minutos) que permanece encendido el arco al rellenar una junta.

$$C.M.A = P.M.A \times W.M.N.A \times N.S \quad (\text{Ec.52})$$

donde:

C.M.A : Costo del material de aporte en \$.

P.M.A :Precio del metal de aporte en \$/kg.

$$C.G = \left(\frac{P.G \times C.G.P \times D.A \times N.S}{60} \right) \quad (\text{Ec.53})$$

donde:

C.G : Costo del gas de protección en \$.

P.G : Precio del gas de protección en \$/m³.

C.G.P : Caudal de salida del gas protector en m³/hr.

$$C.M.O = \left(\frac{T.S \times (\text{Ec.1}) \times N.S \times 100}{(\text{Ec.50}) \times F.O} \right) \quad (\text{Ec.54})$$

$$C.G.I = \left(\frac{F.G.I \times (\text{Ec.1}) \times N.S \times 100}{(\text{Ec.50}) \times F.O} \right) \quad (\text{Ec.55})$$

$$C.E.E = \left(\frac{T.E \times \text{Volt.} \times I \times (\text{Ec.1}) \times N.S \times 10}{(\text{Ec.50}) \times F.O \times \eta m} \right) \quad (\text{Ec.56})$$

$$C.F = P.F \times (\text{Ec.1}) \times N.S \quad (\text{Ec.57})$$

donde:

C.F : Costo del fundente utilizado en el proceso SAW en \$.

P.F : Precio del fundente en \$/kg.

(**) Las fórmulas que presentamos a continuación son para el resto de juntas que aparecen en la figura 3.1 del capítulo III de la tesis.

- **Para 1 pasada de soldadura:**

$$C.E.T = \left(\frac{P.E.T \times D.A}{V.U} \right) \quad (\text{Ec.58})$$

$$W.M.A.N^{**} = \frac{(\text{Ec.50})}{V.R} \quad (\text{Ec.59})$$

$$W.D^* = S.T \times \rho \times (100 + \%ref.) \quad (\text{Ec.60})$$

$$C.M.A = P.M.A \times (\text{Ec.59}) \times L.S \quad (\text{Ec.61})$$

$$C.G = \left(\frac{P.G \times C.G \times L.S}{V.R} \right) \quad (\text{Ec.62})$$

$$C.M.O = \left(\frac{T.S \times L.S \times 100}{V.R \times F.O} \right) \quad (\text{Ec.63})$$

$$C.G.I = \left(\frac{F.G.I \times L.S \times 100}{V.R \times F.O} \right) \quad (\text{Ec.64})$$

$$C.E.E = \left(\frac{T.E \times \text{Volt.} \times I \times (\text{Ec.60}) \times L.S}{(\text{Ec.50}) \times F.O \times \eta m} \right) \quad (\text{Ec.65})$$

$$C.F = P.F \times (\text{Ec.6}) \times L.S \quad (\text{Ec.66})$$

- **Para varias pasadas de soldadura:**

$$C.E.T = \left(\frac{P.E.T \times D.A \times N.P}{V.U} \right) \quad (\text{Ec.67})$$

$$C.M.A = (\text{Ec.61}) \times N.P \quad (\text{Ec.68})$$

$$C.G = \left(\frac{P.G \times C.G \times L.S \times N.P}{V.R} \right) \quad (\text{Ec.69})$$

$$C.M.O = \left(\frac{T.S \times (\text{Ec.11}) \times L.S \times N.P \times 100}{(\text{Ec.7}) \times F.O} \right) \quad (\text{Ec.70})$$

$$C.G.I = \left(\frac{F.G.I \times (\text{Ec.11}) \times L.S \times N.P \times 100}{(\text{Ec.7}) \times F.O} \right) \quad (\text{Ec.71})$$

$$C.E.E = \left(\frac{T.E \times \text{Volt.} \times I \times (\text{Ec11}) \times L.S \times N.P \times 10}{(\text{Ec.7}) \times F.O \times \eta m} \right) \quad (\text{Ec.72})$$

$$C.F = (\text{Ec66}) \times N.P \quad (\text{Ec.73})$$

Ejemplos

Los siguientes ejemplos mostrarán al usuario cómo se utiliza el sistema desarrollado 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 E7018, diámetro=4mm.

La densidad del alma del electrodo es de 0.00785kg/cm^3 .

La longitud de cada electrodo es de 22".

El método de aplicación es manual.

La eficiencia de deposición es de 66%.

El factor operador es de 40%.

El precio del electrodo recubierto es 1.72\$/kg.

La tarifa de pago al soldador es de 1\$/hr.

La velocidad de recorrido es de 24m/hr.

La velocidad de fusión es de 0.21m/min.

El factor de gasto indirecto es de 2\$/hr.

El porcentaje de refuerzo es de 18%.

La Tarifa de energía eléctrica es de 0.1\$/kwh.

El voltaje de soldadura es 24voltios.

La corriente de soldadura es 110amp.

El rendimiento de la máquina de soldar es 70%.

La longitud soldada es de 1m.

El número de pasadas es 2.

b) Soldadura por arco de metal y gas (GMAW):

Electrodo desnudo, diámetro=0.12cm.

La densidad del alambre es 0.00783kg/cm³.

La eficiencia de deposición es de 95%.

El método de aplicación es semiautomático.

El factor operador es 65%.

La velocidad de fusión es de 5.02m/min.

El precio del gas de protección es de 2.16\$/m³.

La velocidad del flujo del gas es de 2.2m³/hr.

La velocidad de recorrido es 6.33m/hr.

El precio del electrodo es 2.16\$/kg.

La longitud soldada es de 1m.

El sueldo del soldador es de 1\$/hora.

La tarifa eléctrica es de 0.1\$/kwh.

El factor de gasto indirecto es de 2\$/hr.

El voltaje de soldadura es de 24voltios.

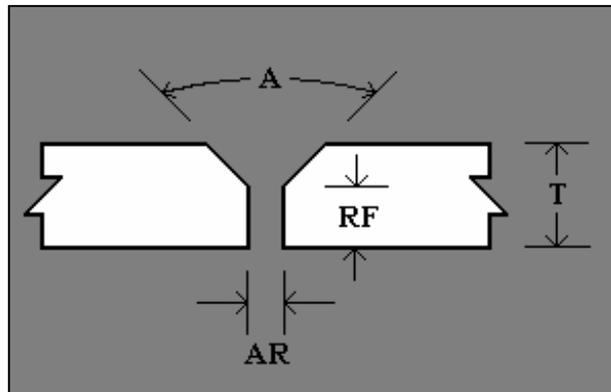
La corriente de soldadura es de 200amp.

El rendimiento de la máquina de soldar es de 50%.

El porcentaje de refuerzo es de 18%.

El número de pasadas es 2.

Junta a soldar:



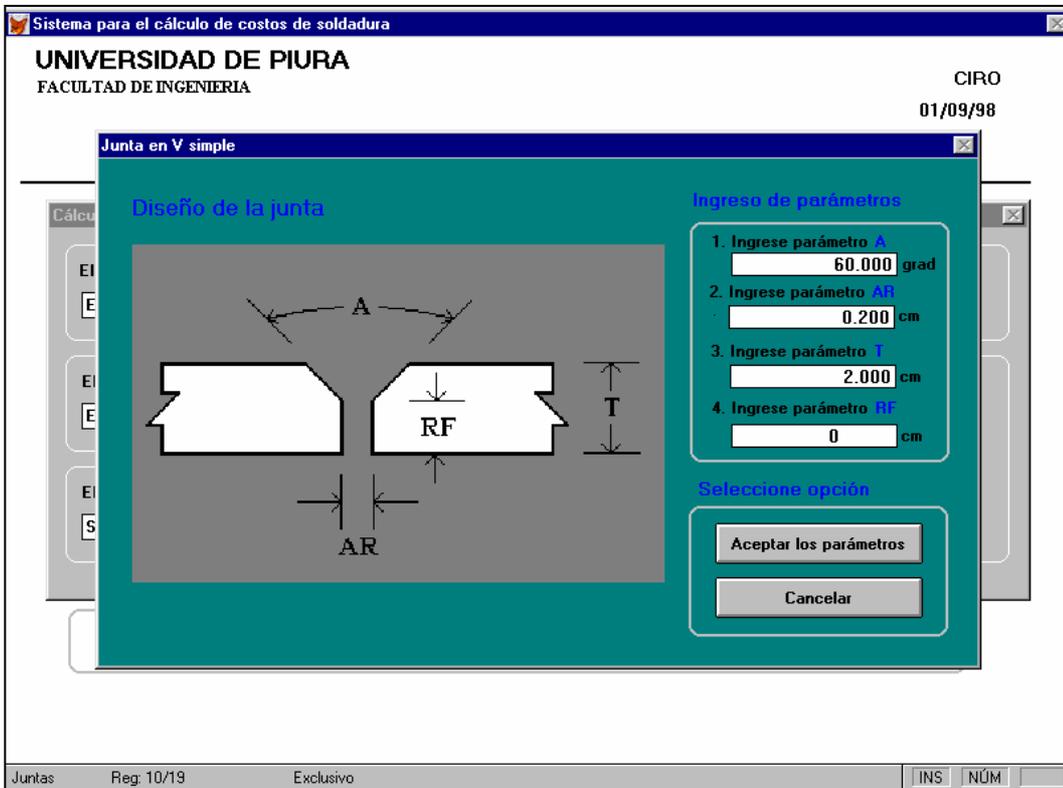
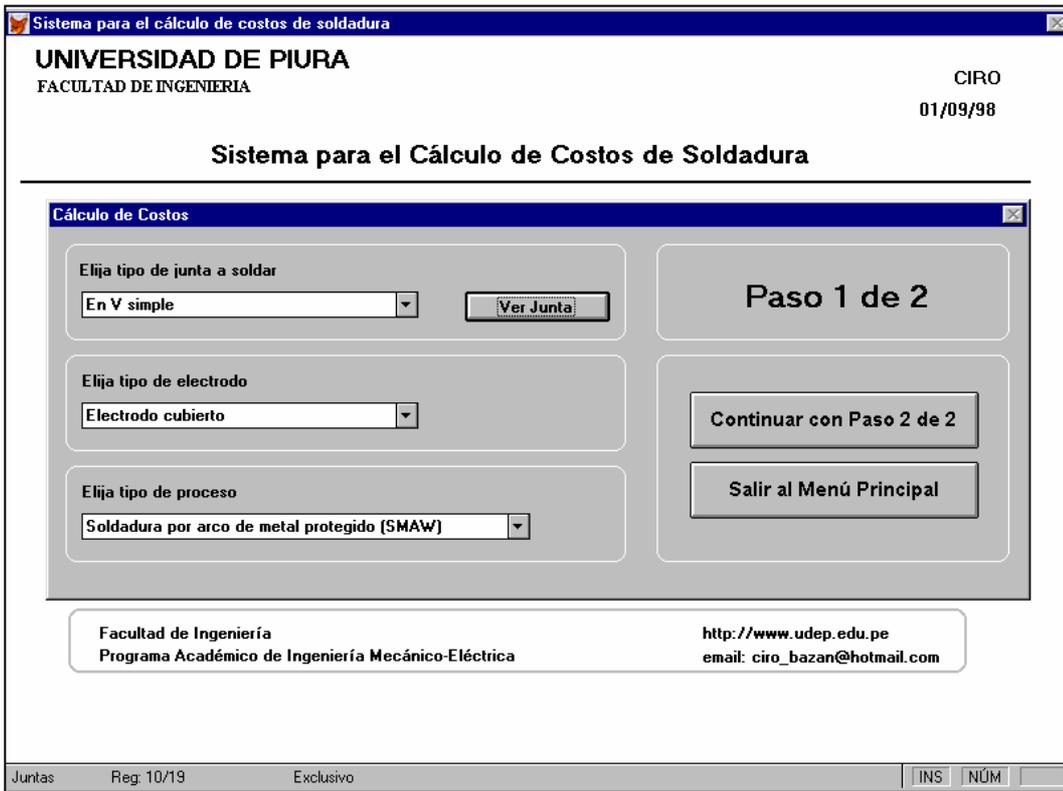
Datos de la junta:

$A=60^\circ$.

$AR=2\text{mm}$.

$T=20\text{mm}$.

$RF=0\text{mm}$.



Sistema para el cálculo de costos de soldadura

Soldadura por arco de metal protegido (SMAW)

Paso 2 de 2

Ingrese datos para cálculo final

Diámetro del electrodo: 0.40 cm

Precio del electrodo: 1.72 \$/kg

Tarifa de pago al soldador: 1.00 \$/hr

Velocidad de recorrido: 24.00 m/hr

Velocidad de fusión: 0.27 m/min

Factor de gasto indirecto: 2.00 \$/hr

% de refuerzo: 18.00 %

de soldaduras: []

Tarifa de energía eléctrica: 0.10 \$/kwh

Voltaje de soldadura: 24.00 V

Corriente de soldadura: 110.00 A

Rendimiento de máquina de soldar: 70.00 %

Longitud soldada: 1.00 m

de pasadas: 2.00

Costos adicionales: [] \$

Elija tipo de material de aporte: Acero

Ingrese densidad del electrodo: 0.00785 (kg/cm3)

Elija longitud del electrodo: Otros

Método de aplicación según longitud del electrodo: 22.00 pulg.

Rango de rendimiento usual: []

Ingrese rendimiento del electrodo: 66.00 (%)

Factor Operador Usual: []

Ingrese factor operador: 40.00 (%)

Iniciar proceso de cálculo

Regresar al Paso 1 de 2

Juntas Reg: 10/19 Exclusivo INS NÚM

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

Soldadura por arco de metal protegido (SMAW)

Paso 2 de 2

Resultados del proceso de cálculo (SMAW)

Resultados obtenidos:

| | | |
|-----------------------------|----------------|-------------|
| Costo del electrodo | 13.0809 | US\$ |
| Costo de mano de obra | 5.1825 | US\$ |
| Costo por gastos indirectos | 10.3651 | US\$ |
| Costo de energía eléctrica | 1.9545 | US\$ |
| Costos adicionales | | US\$ |
| Costo Total | 30.5831 | US\$ |
| # de varillas necesarias | 138.0000 | |

Diámetro del electrodo: 0.40 cm

Precio del electrodo: 1.72 \$/kg

Tarifa de pago al soldador: 1.00 \$/hr

Velocidad de recorrido: 24.00 m/hr

Velocidad de fusión: 0.27 m/min

Factor de gasto indirecto: 2.00 \$/hr

% de refuerzo: 8.00 %

de soldaduras: []

Tarifa de energía eléctrica: 0.10 \$/kwh

Voltaje de soldadura: 24.00 V

Corriente de soldadura: 0.00 A

Rendimiento de máquina de soldar: 0.00 %

Longitud soldada: 1.00 m

de pasadas: 2.00

Costos adicionales: [] \$

Elija tipo de material de aporte: Acero

Ingrese densidad del electrodo: []

Elija longitud del electrodo: []

Método de aplicación según longitud: []

Rango de rendimiento usual: []

Ingrese rendimiento del electrodo: []

Factor Operador Usual: []

Ingrese factor operador: []

Imprimir

Salir

Juntas Reg: 10/19 Exclusivo INS NÚM

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

Soldadura por arco de metal y gas (GMAW)

Paso 2 de 2

Seleccione el material de aporte
 Acero 0.50 %C

Densidad del electrodo en kg/cm3: 0.00783
 Ingrese diámetro del electrodo en cm.: 0.12000

Rendimiento usual del electrodo: 90% - 95%
 Ingrese rendimiento del electrodo: 95.00 (%)

Tipo de método de aplicación: Semiautomático

Factor Operador Usual: 10% - 60%
 Ingrese factor operador: 65.00 (%)

Ingrese datos para cálculo final

Velocidad de fusión: 5.02 m/min
 Precio del gas de protección: 2.16 \$/m3
 Velocidad del flujo de gas: 2.20 m3/hr
 Duración del arco: min
 Precio del electrodo: 2.16 \$/kg
 Tarifa de pago al soldador: 1.00 \$/hr
 Velocidad de recorrido: 6.33 m/hr
 Factor de gasto indirecto: 2.00 \$/hr
 % de refuerzo: 18.00 %
 # de soldaduras:
 Tarifa de energía eléctrica: 0.10 \$/kwh
 Voltaje de soldadura: 24.00 V
 Corriente de soldadura: 200.00 A
 Rendimiento de máquina de soldar: 50.00 %
 Longitud soldada: 1.00 m
 # de pasadas: 2.00
 Costos adicionales: \$

Iniciar proceso de cálculo

Regresar al Paso 1 de 2

Juntas Reg: 10/19 Exclusivo INS NÚM

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

Soldadura por arco de metal y gas (GMAW)

Paso 2 de 2

Seleccione el material de aporte
 Acero 0.50 %C

Densidad del electrodo en kg/cm3: 0.00783
 Ingrese diámetro del electrodo en cm.: 0.12000

Rendimiento usual del electrodo: 90% - 95%
 Ingrese rendimiento del electrodo: 95.00 (%)

Tipo de método de aplicación: Semiautomático

Factor Operador Usual: 10% - 60%
 Ingrese factor operador: 65.00 (%)

Resultados del proceso de cálculo (GMAW)

Resultados obtenidos:

| | | |
|-----------------------------|----------------|-------------|
| Costo del electrodo | 11.3835 | US\$ |
| Costo de mano de obra | 2.7433 | US\$ |
| Costo por gastos indirectos | 5.4867 | US\$ |
| Costo de energía eléctrica | 2.6336 | US\$ |
| Costo de gas de protección | 1.5014 | US\$ |
| Costos adicionales | | US\$ |
| Costo Total | 23.7487 | US\$ |

Imprimir **Salir**

Regresar al Paso 1 de 2

Longitud soldada: 1.00 m
 # de pasadas: 2.00
 Costos adicionales: \$

Juntas Reg: 10/19 Exclusivo INS NÚM

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 1/8”.

La densidad del metal de aporte es de 0.0086kg/cm³.

El precio del electrodo de tungsteno es de 75\$.

La vida útil del electrodo de Tungsteno es de 150 horas de soldadura.

El porcentaje de refuerzo es de 10%.

El rendimiento del metal de aporte es 65%.

El precio del metal de aporte es 2 \$/kg.

El sueldo del soldador es 1\$/hora.

El Número de pasadas es 2.

La duración del arco es de 10min.

El precio del gas es de 1.2\$/hora.

La velocidad del flujo del gas es de 2m³/min.

La velocidad de recorrido es de 15m/hr.

El factor de gasto indirecto es de 2\$/hora.

El factor operador es de 55%.

La tarifa eléctrica es de 0.1\$/kwh.

El rendimiento de la máquina es de 60%.

El voltaje de soldadura es de 26 voltios.

La corriente de soldadura es de 220amp.

La velocidad de fusión es de 0.7m/min.

- **b) Proceso SAW:**

El método de aplicación es a máquina.

La densidad del electrodo es 0.0086kg/cm³.

El diámetro del electrodo es de 1/8".

El rendimiento del electrodo es de 98%.

El factor operador es de 50%.

La velocidad de fusión es de 0.6m/min.

La velocidad de recorrido es de 18m/hr.

El precio del fundente es de 1.5\$/kg.

El precio del electrodo es de 1.8\$/kg.

El sueldo del soldador es de 1\$/hora.

El factor de gasto indirecto es de 2\$/hora.

El porcentaje de refuerzo es de 10%.

El Número de pasadas es 2.

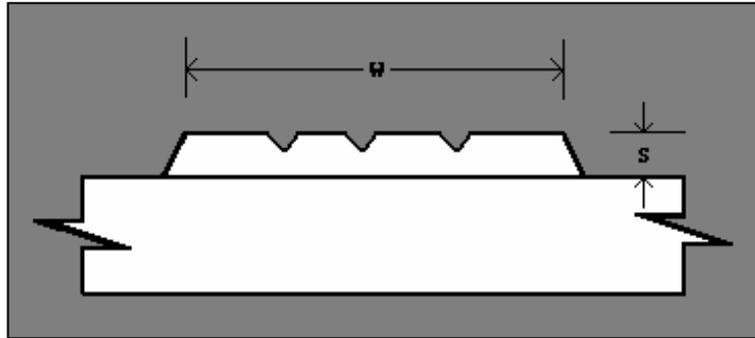
La tarifa eléctrica es de 0.1\$/kwh.

El voltaje de soldadura es 30voltios.

La corriente de soldadura es de 130 amp.

El rendimiento de la máquina de soldar es de 70%.

Junta a soldar:



Datos de la junta:

S=0.3cm.

W=10cm.

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA

CIRO
21/09/98

Junta de Revestimiento

Diseño de la junta

Ingreso de parámetros

1. Ingrese parámetro S
0.300 cm

2. Ingrese parámetro W
10.000 cm

Seleccione opción

Aceptar los parámetros

Cancelar

Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica
email: ciro_bazan@hotmail.com

Juntas Reg: 3/19 Exclusivo INS NÚM

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

Soldadura por arco de tungsteno y gas (GTAW)

Paso 2 de 2

Seleccione el material de aporte
 Bرونce Tobin

Densidad del metal de aporte en kg/cm³: 0.00860
 Ingrese diámetro del material de aporte en cm.: 0.31750

Ingrese rendimiento del material de aporte: 65.00 (%)
 Tipo de método de aplicación: Automático
 Factor Operador Usual: 50% - 100%
 Ingrese factor operador: 55.00 (%)

Iniciar proceso de cálculo

Regresar al Paso 1 de 2

Ingrese datos para cálculo final

Vida Util Electrodo de Tungsteno: 9.000.00 min
 Costo del electrodo de Tungsteno: 75.00 \$
 Velocidad de fusión: 0.70 m/min
 Precio del gas de protección: 1.20 \$/m³
 Velocidad del flujo de gas: 2.00 m³/hr
 Duración del arco: 10.00 min
 Precio del metal de aporte: 2.00 \$/kg
 Tarifa de pago al soldador: 1.00 \$/hr
 Velocidad de recorrido: 15.00 m/hr
 Factor de gasto indirecto: 2.00 \$/hr
 % de refuerzo: 10.00 %
 # de soldaduras:
 Tarifa de energía eléctrica: 0.10 \$/kwh
 Voltaje de soldadura: 26.00 V
 Corriente de soldadura: 220.00 A
 Rendimiento de máquina de soldar: 60.00 %
 Longitud soldada: 1.00 m
 # de pasadas: 2.00
 Costos adicionales: \$

INS NÚM

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

Soldadura por arco de tungsteno y gas (GTAW)

Paso 2 de 2

Seleccione el material de aporte
 Bرونce Tobin

Densidad de aporte en kg: 0

Ingrese rendimiento del material de aporte:
 Tipo de método de aplicación:
 Factor Operador Usual:
 Ingrese factor operador:

Resultados GTAW

Resultados Obtenidos

| | | |
|----------------------------------|----------------|-------------|
| Costo del electrodo de Tungsteno | 0.1666 | US\$ |
| Costo del material de aporte | 17.4646 | US\$ |
| Costo de mano de obra | 2.3456 | US\$ |
| Costo por gastos indirectos | 4.6913 | US\$ |
| Costo de energía eléctrica | 2.2362 | US\$ |
| Costo del gas de protección | 0.3200 | US\$ |
| Costos adicionales | | US\$ |
| Costo total | 27.2245 | US\$ |

Imprimir Cerrar

de pasadas: 2.00
 Costos adicionales: \$

Inicio Explorando - Instalar Microsoft Word - ANEXO3... Sistema para el cálculo... Es 10:21 AM

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

Soldadura por arco sumergido (SAW)

Paso 2 de 2

Seleccione el material de aporte
 Acero 0.15/0.30 %C

Densidad del electrodo en kg/cm3: 0.00785
 Ingrese diámetro del electrodo en cm: 0.31750

Rendimiento usual del electrodo: 95% - 100%
 Ingrese rendimiento del electrodo: 98.00 (%)

Tipo de método de aplicación: A máquina

Factor Operador Usual: 40% - 90%
 Ingrese factor operador: 50.00 (%)

Iniciar proceso de cálculo

Regresar al Paso 1 de 2

Ingrese datos para cálculo final

Duración del arco: [] min
 Velocidad de fusión: 0.60 m/min
 Precio del fundente: 1.50 \$/kg
 Precio del electrodo: 1.80 \$/kg
 Tarifa de pago al soldador: 1.00 \$/hr
 Velocidad de recorrido: 18.00 m/hr
 Factor de gasto indirecto: 2.00 \$/hr
 % de refuerzo: 10.00 %
 # de soldaduras: []
 Tarifa de energía eléctrica: 0.10 \$/kwh
 Voltaje de soldadura: 30.00 V
 Corriente de soldadura: 130.00 A
 Rendimiento de máquina de soldar: 70.00 %
 Longitud soldada: 1.00 m
 # de pasadas: 2.00
 Costos adicionales: [] \$

Inicio | Explorando - Instalar | Microsoft Word - ANEX03... | Sistema para el cálculo... | 10:24 AM

Sistema para el cálculo de costos de soldadura

Soldadura por arco sumergido (SAW)

Paso 2 de 2

Seleccione el material de aporte
 Acero 0.15/0.30 %C

Densidad del electrodo en []

Rendimiento []

Ingrese rend []

Tipo de mé []

Factor Oper []

Ingrese fact []

Resultados del proceso de cálculo (SAW)

Resultados obtenidos:

| | | |
|-----------------------------|----------------|-------------|
| Costo del electrodo | 9.5161 | US\$ |
| Costo de mano de obra | 4.5385 | US\$ |
| Costo por gastos indirectos | 9.0771 | US\$ |
| Costo de energía eléctrica | 2.5286 | US\$ |
| Costo del fundente | 7.7715 | US\$ |
| Costos adicionales | | US\$ |
| Costo Total | 33.4320 | US\$ |

Imprimir | Salir

Regresar al Paso 1 de 2

Longitud soldada: 1.00 m
 # de pasadas: 2.00
 Costos adicionales: [] \$

Inicio | Explorando - Instalar | Microsoft Word - ANEX03... | Sistema para el cálculo... | 10:25 AM

APÉNDICE D

TABLAS

| CLASE | TIPO DE ACERO | SAE | C | MN | S | SI | NI | CR | MO | V | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 |
|--|--------------------------------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1030 | 0.28-0.34 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 70 °C | 180 °C | 220 °C | 250 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1035 | 0.32-0.38 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 140 °C | 220 °C | 260 °C | 290 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1040 | 0.37-0.44 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 130 °C | 240 °C | 290 °C | 320 °C | 330 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1045 | 0.43-0.50 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 60 °C | 240 °C | 300 °C | 340 °C | 360 °C | 370 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1050 | 0.48-0.55 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 170 °C | 290 °C | 330 °C | 360 °C | 380 °C | 390 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1052 | 0.47-0.55 | 1.20-1.50 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 200 °C | 300 °C | 340 °C | 390 °C | 390 °C | 400 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1055 | 0.50-0.60 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 240 °C | 320 °C | 350 °C | 380 °C | 400 °C | 410 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1060 | 0.55-0.65 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 280 °C | 340 °C | 370 °C | 400 °C | 420 °C | 430 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1065 | 0.60-0.70 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 320 °C | 370 °C | 400 °C | 430 °C | 440 °C | 450 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1070 | 0.65-0.75 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 330 °C | 380 °C | 410 °C | 440 °C | 450 °C | 460 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1080 | 0.75-0.88 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 380 °C | 420 °C | 450 °C | 470 °C | 480 °C | 490 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1085 | 0.80-0.93 | 0.70-1.00 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 400 °C | 440 °C | 460 °C | 480 °C | 490 °C | 500 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1090 | 0.85-0.98 | 0.90-1.03 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 410 °C | 450 °C | 470 °C | 490 °C | 500 °C | 510 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1095 | 0.90-1.03 | 0.30-0.50 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 420 °C | 460 °C | 480 °C | 500 °C | 510 °C | 520 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros de maquinado fácil | 1132 | 0.27-0.34 | 1.35-1.65 | 0.08-0.13 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 190 °C | 260 °C | 290 °C | 310 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros de maquinado fácil | 1137 | 0.32-0.39 | 1.35-1.65 | 0.08-0.13 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 140 °C | 220 °C | 260 °C | 290 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros de maquinado fácil | 1141 | 0.37-0.45 | 1.35-1.65 | 0.08-0.13 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 180 °C | 250 °C | 300 °C | 320 °C | 330 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al manganeso (< 2% Mn) | 1320 | 0.18-0.23 | 1.60-1.90 | -- | 0.20-0.35 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 150 °C | 210 °C | 240 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al manganeso (< 2% Mn) | 1330 | 0.28-0.33 | 1.60-1.90 | -- | 0.20-0.35 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 130 °C | 230 °C | 260 °C | 280 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al manganeso (< 2% Mn) | 1335 | 0.33-0.38 | 1.60-1.90 | -- | 0.20-0.35 | -- | -- | -- | -- | -- | 100 °C | 180 °C | 270 °C | 290 °C | 300 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al manganeso (< 2% Mn) | 1340 | 0.38-0.43 | 1.60-1.90 | -- | 0.20-0.35 | -- | -- | -- | -- | -- | 190 °C | 260 °C | 310 °C | 320 °C | 340 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel | 2317 | 0.15-0.20 | 0.40-0.60 | -- | 0.20-0.35 | 3.25-3.75 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 140 °C | 200 °C | 230 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel | 2330 | 0.28-0.33 | 0.60-0.80 | -- | 0.20-0.35 | 3.25-3.75 | -- | -- | -- | -- | -- | 110 °C | 240 °C | 270 °C | 290 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel | 2340 | 0.38-0.43 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | 3.25-3.75 | -- | -- | -- | 60 °C | 230 °C | 290 °C | 330 °C | 350 °C | 360 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel | 2345 | 0.43-0.48 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | 3.25-3.75 | -- | -- | -- | 180 °C | 290 °C | 330 °C | 370 °C | 380 °C | 390 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel | 2515 | 0.12-0.17 | 0.40-0.60 | -- | 0.20-0.35 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 160 °C | 220 °C | 240 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-cromo | 3115 | 0.13-0.18 | 0.40-0.60 | -- | 0.20-0.35 | 1.10-1.40 | 0.55-0.75 | -- | -- | -- | -- | -- | 160 °C | 220 °C | 240 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-cromo | 3120 | 0.17-0.22 | 0.60-0.80 | -- | 0.20-0.35 | 1.10-1.40 | 0.55-0.75 | -- | -- | -- | -- | 100 °C | 220 °C | 250 °C | 270 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-cromo | 3130 | 0.28-0.33 | 0.60-0.80 | -- | 0.20-0.35 | 1.10-1.40 | 0.55-0.75 | -- | -- | -- | 70 °C | 200 °C | 270 °C | 290 °C | 310 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-cromo | 3135 | 0.33-0.38 | 0.60-0.80 | -- | 0.20-0.35 | 1.10-1.40 | 0.55-0.75 | -- | -- | -- | 180 °C | 260 °C | 310 °C | 330 °C | 340 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-cromo | 3140 | 0.38-0.43 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | 1.10-1.40 | 0.55-0.75 | -- | -- | 140 °C | 270 °C | 320 °C | 350 °C | 370 °C | 380 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-cromo | 3141 | 0.43-0.48 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | 1.10-1.40 | 0.70-0.90 | -- | -- | 150 °C | 280 °C | 330 °C | 360 °C | 380 °C | 390 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-cromo | 3145 | 0.43-0.48 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | 1.10-1.40 | 0.70-0.90 | -- | -- | 250 °C | 330 °C | 360 °C | 390 °C | 400 °C | 410 °C |

| CLASE | TIPO DE ACERO | SAE | C | MN | S | SI | NI | CR | MO | V | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 |
|--|----------------------------------|------|-----------|-----------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-cromo | 3150 | 0.48-0.53 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | 1.10-1.40 | 0.70-0.90 | -- | -- | 300 °C | 360 °C | 390 °C | 420 °C | 430 °C | 440 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-cromo | 3240 | 0.38-0.45 | 0.40-0.60 | -- | 0.20-0.35 | 1.65-2.00 | 0.90-1.20 | -- | -- | 220 °C | 300 °C | 340 °C | 380 °C | 390 °C | 400 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-cromo | 3310 | 0.08-0.13 | 0.45-0.60 | -- | 0.20-0.35 | 3.25-3.75 | 1.40-1.75 | -- | -- | 150 °C | 280 °C | 320 °C | 360 °C | 370 °C | 380 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al molibdeno | 4023 | 0.20-0.25 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | -- | -- | 0.20-0.30 | -- | -- | -- | 70 °C | 180 °C | 230 °C | 250 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al molibdeno | 4027 | 0.25-0.30 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | -- | -- | 0.20-0.30 | -- | -- | -- | 110 °C | 210 °C | 250 °C | 270 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al molibdeno | 4032 | 0.30-0.35 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | -- | -- | 0.20-0.30 | -- | -- | -- | 150 °C | 250 °C | 280 °C | 290 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al molibdeno | 4037 | 0.35-0.40 | 0.75-1.00 | -- | 0.20-0.35 | -- | -- | 0.20-0.30 | -- | -- | 130 °C | 240 °C | 290 °C | 320 °C | 330 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al molibdeno | 4042 | 0.40-0.45 | 0.75-1.00 | -- | 0.20-0.35 | -- | -- | 0.20-0.30 | -- | 130 °C | 240 °C | 300 °C | 340 °C | 360 °C | 370 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al molibdeno | 4047 | 0.45-0.50 | 0.75-1.00 | -- | 0.20-0.35 | -- | -- | 0.20-0.30 | -- | 200 °C | 300 °C | 340 °C | 370 °C | 380 °C | 390 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al molibdeno | 4063 | 0.60-0.67 | 0.75-1.00 | -- | 0.20-0.35 | -- | -- | 0.20-0.30 | -- | 340 °C | 390 °C | 420 °C | 440 °C | 450 °C | 460 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al molibdeno | 4068 | 0.64-0.72 | 0.75-1.00 | -- | 0.20-0.35 | -- | -- | 0.20-0.30 | -- | 360 °C | 400 °C | 430 °C | 450 °C | 460 °C | 470 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al cromo-molibdeno | 4119 | 0.17-0.22 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | -- | 0.40-0.60 | 0.20-0.30 | -- | -- | -- | 150 °C | 250 °C | 280 °C | 300 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al cromo-molibdeno | 4125 | 0.23-0.28 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | -- | 0.40-0.60 | 0.20-0.30 | -- | -- | 110 °C | 210 °C | 280 °C | 300 °C | 320 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al cromo-molibdeno | 4130 | 0.28-0.33 | 0.40-0.60 | -- | 0.20-0.35 | -- | 0.80-1.10 | 0.15-0.25 | -- | -- | 110 °C | 230 °C | 290 °C | 310 °C | 330 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al cromo-molibdeno | 4137 | 0.35-0.40 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | -- | 0.80-1.10 | 0.15-0.25 | -- | 150 °C | 280 °C | 330 °C | 360 °C | 370 °C | 380 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al cromo-molibdeno | 4140 | 0.38-0.43 | 0.75-1.00 | -- | 0.20-0.35 | -- | 0.80-1.10 | 0.15-0.25 | -- | 250 °C | 330 °C | 360 °C | 390 °C | 400 °C | 420 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al cromo-molibdeno | 4145 | 0.43-0.48 | 0.75-1.00 | -- | 0.20-0.35 | -- | 0.80-1.10 | 0.15-0.25 | -- | 310 °C | 370 °C | 390 °C | 420 °C | 430 °C | 440 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al cromo-molibdeno | 4150 | 0.48-0.53 | 0.75-1.00 | -- | 0.20-0.35 | -- | 0.80-1.10 | 0.15-0.25 | -- | 350 °C | 400 °C | 420 °C | 450 °C | 460 °C | 470 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-cromo-molibdeno | 4320 | 0.17-0.22 | 0.45-0.65 | -- | 0.20-0.35 | 1.65-2.00 | 0.40-0.60 | 0.20-0.30 | -- | -- | 180 °C | 260 °C | 310 °C | 330 °C | 340 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-cromo-molibdeno | 4340 | 0.38-0.43 | 0.60-0.80 | -- | 0.20-0.35 | 1.65-2.00 | 0.70-0.90 | 0.20-0.30 | -- | 350 °C | 400 °C | 420 °C | 450 °C | 460 °C | 470 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-molibdeno | 4615 | 0.13-0.18 | 0.45-0.65 | -- | 0.20-0.35 | 1.65-2.00 | -- | 0.20-0.30 | -- | -- | -- | 70 °C | 190 °C | 230 °C | 260 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-molibdeno | 4620 | 0.17-0.22 | 0.50-0.65 | -- | 0.20-0.35 | 1.65-2.00 | -- | 0.20-0.30 | -- | -- | -- | 100 °C | 220 °C | 240 °C | 270 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-molibdeno | 4640 | 0.38-0.43 | 0.60-0.80 | -- | 0.20-0.35 | 1.65-2.00 | -- | 0.20-0.30 | -- | 130 °C | 270 °C | 320 °C | 350 °C | 370 °C | 380 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-molibdeno | 4815 | 0.13-0.18 | 0.40-0.60 | -- | 0.20-0.35 | 3.25-3.75 | -- | 0.20-0.30 | -- | -- | -- | 105 °C | 230 °C | 250 °C | 260 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al níquel-molibdeno | 4820 | 0.18-0.23 | 0.50-0.70 | -- | 0.20-0.70 | 3.25-3.75 | -- | 0.20-0.30 | -- | -- | -- | 190 °C | 270 °C | 290 °C | 310 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al cromo | 5120 | 0.17-0.22 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | -- | 0.70-0.90 | -- | -- | -- | -- | 70 °C | 180 °C | 230 °C | 250 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al cromo | 5130 | 0.18-0.33 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | -- | 0.80-1.10 | -- | -- | -- | -- | 170 °C | 250 °C | 280 °C | 300 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al cromo | 5140 | 0.38-0.43 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | -- | 0.70-0.90 | -- | -- | -- | 230 °C | 280 °C | 330 °C | 340 °C | 360 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al cromo | 5150 | 0.48-0.53 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | -- | 0.70-0.90 | -- | -- | 270 °C | 340 °C | 370 °C | 400 °C | 410 °C | 420 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al cromo | 5210 | 0.95-1.10 | 0.25-0.45 | -- | 0.20-0.35 | -- | 1.30-1.60 | -- | -- | 440 °C | 470 °C | 500 °C | 520 °C | 530 °C | 540 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al cromo-vanadio | 6150 | 0.48-0.53 | 0.70-0.90 | -- | 0.20-0.35 | -- | 0.80-1.10 | -- | >=0.15 | 330 °C | 380 °C | 400 °C | 430 °C | 440 °C | 450 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al silicio-manganeso | 9255 | 0.55-0.60 | 0.70-0.95 | -- | 1.80-2.20 | -- | -- | -- | -- | 280 °C | 340 °C | 370 °C | 400 °C | 410 °C | 420 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al silicio-manganeso | 9260 | 0.55-0.65 | 0.70-1.00 | -- | 1.80-2.20 | -- | -- | -- | -- | 300 °C | 360 °C | 390 °C | 420 °C | 430 °C | 440 °C |

| CLASE | TIPO DE ACERO | SAE | C | MN | S | SI | NI | CR | MO | V | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 |
|--|-------------------|------|-----------|-----------|----|----|----|----|----|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1030 | 0.28-0.34 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 70 °C | 180 °C | 220 °C | 250 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1035 | 0.32-0.38 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 140 °C | 220 °C | 260 °C | 290 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1040 | 0.37-0.44 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 130 °C | 240 °C | 290 °C | 320 °C | 330 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1045 | 0.43-0.50 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 60 °C | 240 °C | 300 °C | 340 °C | 360 °C | 370 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1050 | 0.48-0.55 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 170 °C | 290 °C | 330 °C | 360 °C | 380 °C | 390 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1052 | 0.47-0.55 | 1.20-1.50 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 200 °C | 300 °C | 340 °C | 390 °C | 390 °C | 400 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1055 | 0.50-0.60 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 240 °C | 320 °C | 350 °C | 380 °C | 400 °C | 410 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1060 | 0.55-0.65 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 280 °C | 340 °C | 370 °C | 400 °C | 420 °C | 430 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1065 | 0.60-0.70 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 320 °C | 370 °C | 400 °C | 430 °C | 440 °C | 450 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1070 | 0.65-0.75 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 330 °C | 380 °C | 410 °C | 440 °C | 450 °C | 460 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1080 | 0.75-0.88 | 0.60-0.90 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 380 °C | 420 °C | 450 °C | 470 °C | 480 °C | 490 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1085 | 0.80-0.93 | 0.70-1.00 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 400 °C | 440 °C | 460 °C | 480 °C | 490 °C | 500 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1090 | 0.85-0.98 | 0.90-1.03 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 410 °C | 450 °C | 470 °C | 490 °C | 500 °C | 510 °C |
| Temperaturas de precalentamiento de los aceros en soldaduras | Aceros al Carbono | 1095 | 0.90-1.03 | 0.30-0.50 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 420 °C | 460 °C | 480 °C | 500 °C | 510 °C | 520 °C |