



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela Ingeniería Mecánica

"USO Y APROVECHAMIENTO DE ELECTRODOS EN SOLDADURA MANUAL."

Tesis para optar al título de:
Ingeniero Mecánico.

Profesor Patrocinante:
Sr. Elias Carrasco Maira.
Ingeniero en Construcción Naval.
Licenciado en Ingeniería Naval.

ELIAS OCTAVIO SANCHEZ MANRIQUEZ.

VALDIVIA -CHILE

2005

El Profesor Patrocinante y Profesores Informantes del Trabajo de Titulación comunican al Director de la Escuela de Mecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería que el Trabajo de Titulación del señor:

ELIAS OCTAVIO SANCHEZ MANRIQUEZ

ha sido aprobado en el examen de defensa rendido el día. 12.../..1.../...06.., como requisito para optar al Título de Ingeniero Mecánico. Y, para que así conste para todos los efectos firman:

Profesor Patrocinante:

Sr. Elías Carrasco Maira
Ingeniero Construcción Naval




Profesores Informantes:

Sr. Marcelo Paredes Cifuentes
Ingeniero Civil Mecánico



Sr. José Salazar Corrales
Profesor



VºBº Director de Escuela

Sr. Enrique Salinas Aguilar
Ingeniero Mecánico



INDICE

	Pág.
Resumen en español	1
Resumen en inglés	2
Introducción	3
Objetivos general y específicos	3
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES DE LA SOLDADURA	
1.1 Historia de la soldadura	5
1.2 Soldadura por fusión	6
1.2.1 Soldadura por arco eléctrico	8
1.2.2 Soldadura con llama	8
1.3 Soldadura sin fusión	8
1.3.1 Soldadura por forjado	8
1.3.2 Soldadura por resistencia	8
1.3.3 Soldadura fuerte	9
CAPITULO II	
LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS PROCESOS ARCO ELÉCTRICO	
2.1 Corriente continua	11
2.2 Corriente alterna	12
2.3 Circuito eléctrico	14
2.4 Máquinas eléctricas	15
2.5 Máquinas rotativas	15
2.6 Fuentes de energía para soldadura por arco	15
2.7 Tipos de fuente de energía	15
2.7.1 Máquina soldadora de Transformador	16
2.7.2 Control por bobina móvil	17
2.7.3 Control de derivación móvil	19
2.7.4 Reactor de núcleo móvil	20

INDICE

	Pág.
2.8 Máquina soldadora de generador y alternador	21
2.9 Máquina soldadora de rectificador	21
2.10 Fuentes de potencia mecánica	22
2.11 Corriente constante	22

CAPITULO III PROCESO DE SOLDADURA

3.1 Soldadura por Arco de Metal Protegido	24
3.2 Principios de funcionamiento	24
3.3 Protección del arco	27
3.4 Ventajas del proceso SMAW	27
3.5 Desventajas del proceso SMAW	27
3.6 Espesores	28
3.7 Descripción del electrodo	28
3.7.1 Funciones de la cobertura del electrodo	29
3.7.2 Selección del electrodo adecuado	30
3.7.3 Almacenamiento de electrodos	31
3.7.4 Condiciones de mantención de electrodos	32
3.7.5 Reacondicionamiento o resecado de electrodos	32
3.8 Metales base	32
3.9 Discontinuidades	32
3.9.1 Porosidad	33
3.9.2 Inclusiones de escoria	34
3.9.3 Fusión incompleta	35
3.9.4 Socavamiento	35
3.9.4.1 Factores o causas que permiten la tendencia al socavamiento	36
3.9.4.2 Método de corrección para el Socavamiento	37

INDICE

	Pág.
3.9.5 Grietas	37
3.9.5.1 Agrietamiento del metal de soldadura	37
3.9.5.2 Tipos de grietas	38
3.9.5.3 Agrietamiento del metal base	38
3.10 Esquemas básicos de soldadura	40
3.11 Procedimiento para soldar acero al carbono	41
3.12 Procedimiento para soldar aceros de baja aleación	42
3.13 Procedimiento para soldar aceros de baja y mediana aleación (bajo hidrógeno)	42
3.14 Procedimiento para soldar acero fundido	43
3.15 Procedimiento para soldar hierro fundido	44
3.16 Procedimientos para soldar cobre – bronce	46
3.17 Procedimiento para soldar aceros al manganeso	46
3.18 Temperaturas de precalentamiento para diferentes aceros	47

CAPITULO IV CALIFICACIÓN DE SOLDADORES

4.1 Responsabilidades	49
4.2 Registros	49
4.3 Propósito de los ensayos	49
4.4 Ensayos de calificación	49
4.5 Expiración de la calificación	50
4.6 Calificación de procedimientos de soldadura	50
4.6.1 Especificación del Procedimiento de Soldadura (EPS)	50
4.6.2 Contenido del EPS	50
4.6.3 Cambios del EPS	50
4.6.4 Formato del EPS	51
4.6.5 Disponibilidad del EPS	51

INDICE

	Pág.
4.7 Variables esenciales	51
4.8 Variables esenciales suplementarias	51
4.9 Variables no esenciales	51
4.10 Calificación del soldador	52
4.11 Posiciones de uniones para ensayo	52

CAPITULO V NIVELES DE CALIDAD PARA UNIONES SOLDADAS POR ARCO ELECTRICO EN ACEROS

5.1 Calidad de la soldadura	53
5.2 Aseguramiento de la calidad	53
5.3 Inspección	53
5.4 Tolerancia de las uniones	54
5.5 Conductas para controlar la calidad de las uniones soldadas	54
5.6 Clasificación de las soldaduras	54
5.7 Método de Ensayos no destructivos a las uniones soldadas	56
5.8 Símbolos para indicar pruebas no destructivas	58

CAPITULO VI EVALUACIÓN DE COSTOS DE SOLDADURA

6.1 Generalidades del costo de soldadura	60
6.2 Variables que determinan los costos de soldadura	60
6.3 Factor operativo	61
6.4 Procedimiento básico para evaluar costo de soldadura	66
6.5 Costo mano de obra	66
6.6 Costos de consumo de soldadura	68
6.7 Velocidad de avance	72

INDICE

	Pág.
6.7.1 Peso de electrodos requeridos	72
6.8 Área de sección transversal (AST)	73
CONCLUSIONES	
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	74
Anexo N°1	75
Anexo N°2	77
Anexo N°3	81
Anexo N°4	82
Anexo N°5	83-84

RESUMEN

La necesidad de ensamblar piezas a llevado al hombre a la creación de diversas técnicas y métodos de unión, tales como: uniones apernadas, atornilladas, remachadas, uniones pegadas etc., sin embargo, la técnica de unión a través de **soldadura al arco** creada aproximadamente en el año 1900 , es un proceso que actualmente sus niveles de uso lo posicionan como el más utilizado en todo el mundo, es por ello, que nace la inquietud por parte del autor de realizar un estudio recopilando aspectos técnicos del proceso de soldadura de arco manual. Su alto porcentaje de aplicación se debe a las características de uso simple y bajo costo de los elementos que componen el proceso, máquina de soldar, cables de conexión a la red eléctrica, porta electrodo y electrodo, además que puede ser aplicado en la diversidad de aleaciones de acero.

Sobre la calificación de soldadores se puede decir que, el hecho de que el proceso sea simple, no quiere decir que debe ser aplicado por cualquier persona; ésta debe ser certificada por alguna entidad calificadora que este de acuerdo a códigos tales como: Código ASME (American Society of Mechanical Engineers) Sección IX ó Código ANSI (American Nacional Standard Institute) Sección 4 AWS (American Welding Society) D1.1.

Este estudio también se refiere a la importancia que tiene la preparación de procedimientos de soldadura, pues a través de estos, se logra entregar instrucciones al soldador y al personal que participa en las uniones soldadas. Además, se hace mención a los efectos de la energía eléctrica en la soldadura al arco, un conocimiento básico de esta, facilita el aprovechamiento de los electrodos y el trabajo en distintas posiciones.

También se incorpora a este trabajo, aspectos de calidad que deben tener las uniones soldadas, ya que, es necesario evaluar cual será el grado de aceptación o cual será la función que estas desempeñarán y de acuerdo a esto se emitirán los informes de ensayos correspondientes. Por último, se entrega información de cómo proceder o que factores son importantes para una evaluación de los costos del proceso de soldadura al arco manual.

SUMMARY

the necessity to assemble pieces taken to the man to the creation of diverse techniques and methods of union, such as: bolt´ union, screwed unions, riveted, stuck unions etc., nevertheless, the technique of union through weld to the arc created approximately in 1900, is a process that at the moment their levels of use position it like the most used anywhere in the world, is for that reason, that is born the restlessness on the part of the author to make a study compiling technical aspects of the process of weld of manual arc. Its high percentage of application must to the characteristics of simple use and low cost of the elements that compose the process, machine to weld, cables of connection to the mains, carries electrode and electrode, in addition that can be applied in the steel alloy diversity.

On the qualification of soldering irons it is possible to be said that, the fact that the process is simple, does not mean that it must be applied by any person; this one must be certified by some examining organization that this according to codes such as: Code ASME (American Society of Mechanical Engineers) Section IX or Code ANSI (National American Standard Institute) Section 4 AWS (American Welding Society) D1.1.

This study also talks about the importance that has the preparation of welding procedures, because through these, it is managed to give instructions to the welder and to the personnel who participates in the welded unions. In addition, mention to the effects of the electrical energy in the weld to the arc, a basic knowledge of this becomes, facilitates the advantage of the electrodes and the work in different positions.

Also one gets up to this work, quality aspects that must have the welded unions, since, it is necessary to evaluate as it will be the acceptance degree or as it will be the function that these will carry out and according to this the information of corresponding tests will be emitted. Finally, information of how coming is given or that factors are important for an evaluation of the costs of the process of weld to the manual arc.

INTRODUCCION

El requerimiento de unir piezas de manera permanente, simple y económica, ha posicionado al proceso de soldadura al arco a un nivel muy necesario en la fabricación y ensamble de estructuras metálicas y maquinarias en general. Este proceso nace aproximadamente en el año 1900 y los libros técnicos referentes a este tema lo clasifican como el proceso de soldadura más usado a nivel mundial, adaptándose a los metales mas diversos.

Se espera que al momento de consultar este estudio, adquiera el conocimiento esencial del proceso (SMAW), ya que la información que se entrega esta basada en aspectos generales de soldadura, energía eléctrica utilizada, calificación de soldadores, calidad de las uniones soldadas y costos involucrados en el proceso de soldadura.

Para lograr este material guía, se consultó a textos relacionados con el proceso en sí, trabajos de titulación, académicos, radiólogos, técnicos, páginas de Internet, bibliografía técnica y la experiencia del autor en terreno.

Objetivo general

Promover a los profesionales que participan directa o indirectamente en los procesos de fabricación o armado, los aspectos técnicos básicos para un buen uso tanto del proceso SMAW, como también del aprovechamiento de electrodos.

Objetivo específicos

- Introducir alguna base histórica sobre el proceso SMAW.
- Conocer el funcionamiento y la importancia de los dispositivos de potencia para el proceso SMAW.
- Ventajas y limitaciones del proceso SMAW.
- Manejo de personal calificado y la importancia de los procedimientos.
- Aplicar evaluación de costos al proceso de soldadura.

CAPÍTULO I GENERALIDADES DE LA SOLDADURA

La soldadura es el método de unir metales más prácticos y pocos son los objetos de uso hoy en día que no dependan de una unión soldada en alguna fase antes de llegar a nosotros. Por su extenso uso industrial, implica que el conocimiento de los procesos de soldadura es esencial no sólo para los ingenieros, sino también para los diseñadores, fabricantes y usuarios de productos de soldado. (P.T. Houldcroft 1990, Pág. 9)

La soldadura de arco o soldadura eléctrica es el proceso de más amplia aceptación como el mejor, el más económico, el más natural y el más práctico para unir metales. En el proceso de soldadura manual por arco, que es de uso más común, el soldador obtiene un electrodo adecuado, sujeta el cable de tierra a la pieza de trabajo, y ajusta la corriente eléctrica para “hacer saltar el arco”, es decir para crear una corriente eléctrica intensa que salte entre el electrodo y el metal. Enseguida mueve el electrodo a lo largo de las líneas de unión del metal que ha de soldar, dando suficiente tiempo para que el calor del arco funda el metal. El metal fundido, procedente del electrodo, o metal de aporte, se deposita en la junta y junto con el metal fundido de los bordes, se solidifica para formar una junta sólida. (Henry Horwitz, P.E.1997, Pág. 2)

El núcleo del electrodo consiste en una varilla de metal sólido 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 del revestimiento 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. (American Welding Society, 1996, capítulo 2, Pág. 44)

La confiabilidad de una unión soldada, dependerá de la calidad del material base, de su forma, del metal de aportación, de las características del equipo con el cual se realiza la unión, del factor ambiente y sobre todo es de vital importancia la experiencia y eficiencia del soldador y la posición en que realiza el trabajo. (Héctor Saratiel Escobar D.1996, Pág. s/n)

El costo es uno de los factores más importante en cualquier procedimiento de soldadura. En el proceso de arco eléctrico, el electrodo revestido es económico, sin embargo, tiene una velocidad de deposición moderada, y bajo costo operativo. El costo de los procesos de soldadura involucra entre otros los costos de consumibles, de mano de obra y gastos generales.

1.1 Historia de la soldadura

Dice la tradición que hace aproximadamente 2500 años antes de Cristo, un herrero griego de nombre Glaukos, que vivía en la ciudad de Khios, invento la forma de soldar el hierro. Con el procedimiento de este herrero, se calentaban las piezas en un horno o forja hasta que se ablandaba el metal. Después valiéndose del martillo, se les fusionaba hasta convertirlas en una unidad. Anteriormente a ese tiempo, los metales se unían por remachado o por soldadura, mediante un procedimiento que no involucraba fusión, y en el que a menudo se utilizaba el oro como soldadura. La práctica de la soldadura por forjado continuo casi sin sufrir cambio alguno hasta hace alrededor de 70 años, cuando la invención de nuevos procesos de soldadura dio pasos a medios de eficiencia creciente para unir placas o perfiles metálicos, piezas fundidas, etc. La primera en desarrollarse fue la soldadura al arco. Es difícil obtener una relación exacta del perfeccionamiento de la soldadura y de las personas que participaron, porque se estaban efectuando muchos experimentos y técnicas de soldadura en diferentes países y al mismo tiempo. Aunque el trabajo en los metales y la unión de los mismos datan de hace siglos, tal parece que la soldadura, tal como la conoce en la actualidad, hizo su aparición alrededor del año 1900. Sin embargo, es interesante tener en cuenta, en la lista parcial mostrada en el cuadro N°1, las personas de diferentes nacionalidades relacionadas en alguna forma con el desarrollo y perfeccionamiento de los procesos de soldadura.

Todos los metales son soldables siempre que se aplique la técnica y el proceso adecuado. En ocasiones fracasa el intento de soldar metales porque se ha pasado por alto uno o más procedimientos del proceso, pero, si el ingeniero

y el soldador comprenden la composición, la estructura y las propiedades del metal, estarán en condiciones de diseñar y hacer soldaduras. El tipo de soldadura más adecuado para unir dos piezas de metal depende de las propiedades físicas de los metales, de la utilización a la que está destinada la pieza y de las instalaciones disponibles.

El proceso de soldadura por arco metálico con electrodos desnudos provocan muy poca estabilidad en el arco y además las soldaduras son de mala calidad, estos procesos están catalogados como obsoletos según la (AWS) American Welding Society, sin embargo, el proceso de arco de carbón es muy utilizado para cortar o ranurar metales. El desarrollo de los recubrimientos en los electrodos, conocidos comúnmente como fundente, resolvió en gran parte los problemas de estabilización del arco y condujo a lo que se conoce como Soldadura por Arco de Metal Protegido (SMAW), que es el proceso de soldadura al arco más ampliamente utilizado en el mundo.

La tecnología y la ciencia de la soldadura han avanzado con tal rapidez en los últimos años que ha permitido la creación de muchos procesos de soldadura al arco (ver figura N°1) pero, no es la intención del presente trabajo enumerar todas los métodos diferentes de soldadura que actualmente están en uso. Sin embargo, todos están incluidos en dos categorías diferentes: soldadura por fusión y soldadura sin fusión.

La soldadura por fusión es cualquier proceso para unir metales que implica fundirlos. La soldadura sin fusión es cualquier proceso para unir metales que implica no fundirlos. La soldadura sin fusión, por su puesto, no incluye el uso de tornillos o pernos, remaches (roblones) ni de cualquier sujetador del tipo mecánico.

1.2 Soldadura por fusión

Los dos procesos principales en la soldadura por fusión, son la soldadura por arco eléctrico y la soldadura con llama.

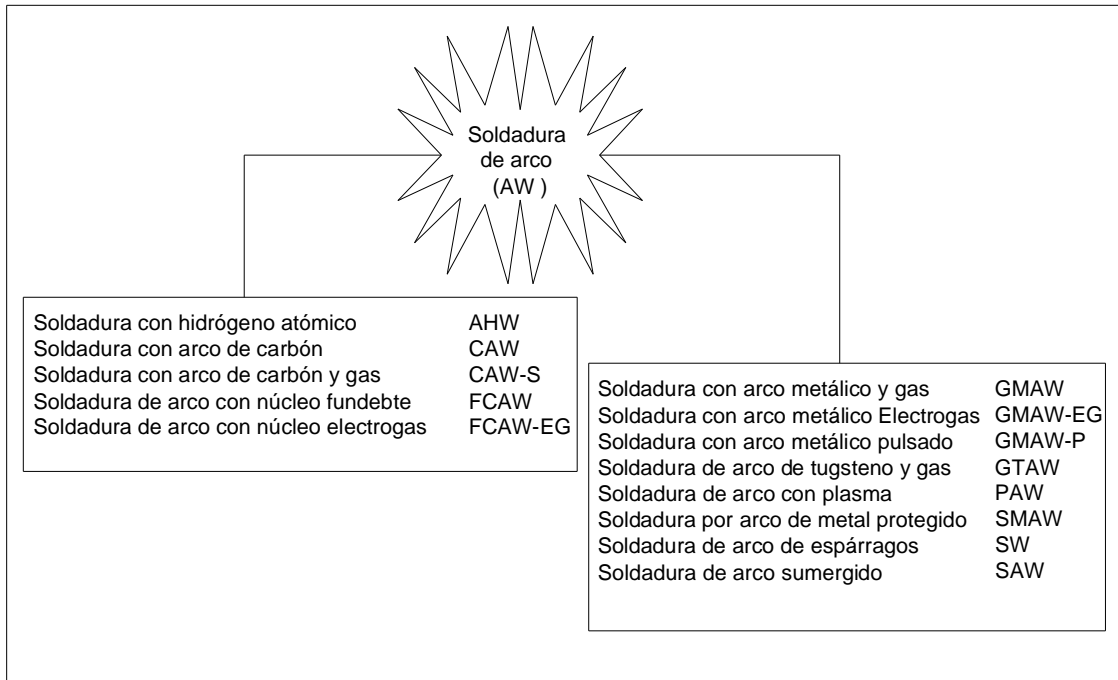


Figura Nº1. - Procesos de soldadura al arco. (Extracción simplificada del texto SOLDADURA, APLICACIONES Y PRÁCTICAS, Henry Horwitz, ed., 1997, Capítulo1, Pág. 5).

AHW	= Welding with Atomic Hydrogen
CAW	= Welding with Arc of Coal
CAW – S	= Welding with Arc of Coal – Shield
FCAW	= Welding of Arc with Nucleus Founds you
FCAW - EG	= Welding of Arc with Nucleus Founds you – Electrogas
GMAW	= Welding with Metallic Arc and Gas
GMAW – EG	= Welding with Metallic Arc – Electrogas
GMAW – P	= Welding with Pressed Metallic Arc
GTAW	= Welding of Tugsteno Arc and Gas
PAW	= Arch Welding with Plasm
SMAW	= Shield Metal Arc Welding
SW	= Welding of Arc of Asparaguses
SAW	= Welding of Submerged Arc

1.2.1 Soldadura por arco eléctrico

En los procesos de soldadura por arco eléctrico, se emplea el calor creado por una corriente eléctrica y de esta manera elevar la temperatura de los metales hasta fusionarlos. La corriente es transmitida por un electrodo que puede ser consumible, como también no consumible.

1.2.2 Soldadura con llama

En los procesos de soldadura con llama se utiliza el calor de gases en combustión para fundir los metales. La soldadura con llama se suele hacer con llama de oxiacetileno, aunque algunas veces se emplea otras mezclas de gas combustible y oxígeno.

1.3 Soldadura sin fusión

Hay tres tipos de soldadura sin fusión: soldadura por forjado, soldadura por resistencia y soldadura fuerte o con bronce o estaño (latón).

1.3.1 Soldadura por forjado

En el forjado se calienta las piezas de metal que se van a unir en una fragua. Mientras se calienta, se las mantiene en reposo sobre una capa gruesa de coque y se mantienen lo más limpias que sea posibles. Hay que calentar las piezas con uniformidad hasta la temperatura correcta. Después, se les coloca en la posición deseada y se les martilla para unir las. Los metales se unen por la presión del martilleo.

1.3.2 Soldadura por resistencia

Se realiza por el calentamiento que experimentan los metales debido a su resistencia al flujo de una corriente eléctrica (efecto Joule). Los electrodos se aplican a los extremos de las piezas, se colocan juntas a presión y se hace pasar por ellas una fuerte corriente eléctrica durante un instante. La zona de unión de las dos piezas, como es la que mayor resistencia eléctrica que ofrece, se calienta y funde los metales. Este procedimiento se utiliza mucho en la

industria para la fabricación de láminas y alambres de metal, y se adapta muy bien a la automatización. En las soldaduras a tope, por puntos de costuras y de proyección también se utilizan el proceso de resistencia.

1.3.3 Soldadura fuerte

La técnica de soldadura fuerte o de aleación, es un método utilizado para unir metales con aleaciones metálicas que se funden a temperaturas relativamente bajas. Se suele diferenciar entre soldaduras duras y blandas, según el punto de fusión y resistencia de la aleación utilizada. Los metales de aportación de las soldaduras blandas son aleaciones de plomo y estaño y, en ocasiones, pequeñas cantidades de bismuto. En las soldaduras duras se emplean aleaciones de plata (soldadura de plata), o de cobre y cinc (latón-soldadura).

Para unir dos piezas de metal con aleación, primero hay que limpiar su superficie mecánicamente y recubrirla con una capa de fúndente, por lo general resina o bórax. Esta limpieza química ayuda a que las piezas se unan con más fuerza, ya que elimina el óxido de los metales. A continuación se calientan las superficies con un soplete, y cuando alcanzan la temperatura de fusión del metal de aportación se aplica éste, el cual escurre libremente, endureciéndose una vez que se enfría. En el proceso llamado de resudación se aplica el metal de aportación a las piezas por separado, después se colocan juntas y se calientan. En los procesos industriales se suelen emplear hornos para calentar las piezas. Este tipo de soldadura lo practicaba ya, hace más de 2.000 años antes de Cristo, los fenicios y los chinos. En el siglo I (d.C.), Plinio habla de la soldadura con estaño como procedimiento habitual de los artesanos en la elaboración de ornamentos con metales preciosos; en el siglo XV se conoce la utilización del bórax como fundente.

Cuadro N°1. - Personajes importantes en la soldadura.

Nombre	Fecha Nacimiento	Nacionalidad	Aporte realizado al campo de la soldadura
J. PRIESTLEY	1774	INGLESA	Calentó óxido de mercurio para producir oxígeno
VOLT	1800	ITALIANO	Descubrió que dos metales desiguales, cualesquiera, contactados por una sustancia que se volvía conductora al humedecerla, formarían una pila voltaica. La unidad volt se deriva de su apellido.
J. AMPERES	1820	FRANCESA	Fue un precursor en el campo del electromagnetismo. La unidad amperaje se deriva de su nombre.
H.C. ORESTED	1820	DANESA	Estableció la relación entre la electricidad y magnetismo
G.S. OHM	1827	ALEMÁN	Descubrió la resistencia en un circuito eléctrico. La unidad ohm se deriva de su apellido

CAPITULO II LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS PROCESOS ARCO ELÉCTRICO

La corriente eléctrica es el transporte de cargas eléctricas llamadas electrones a través de un conductor, siendo la intensidad de corriente la cantidad transportada en unidad de tiempo. La corriente eléctrica se clasifica en corriente continua o directa (cd) y corriente alterna (ca). La aplicación principal de la corriente eléctrica, ya sea cd o ca, es la transmisión de energía en forma silenciosa, flexible y conveniente de un lugar a otro. Para ser más específico, ver figura N°2, en donde se aprecia el detalle 1 y detalle 2, los cuales serán mostrados en la figura N°4 y figura N°6 (comportamiento físico de la cc y ca).

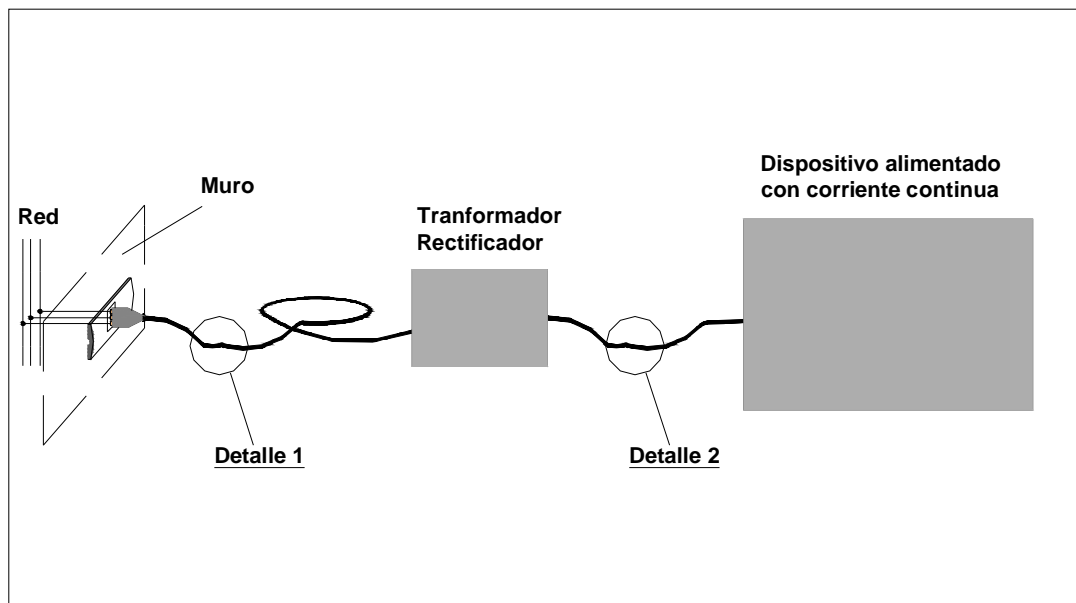


Figura N°2. – Esquema de secuencia de transformación de ca-cc, a través de un transformador rectificador.

2.1 Corriente continua

La corriente continua tiene la característica de tener un valor constante a través del tiempo, puesto que los electrones se mueven siempre en el circuito en la misma dirección. Ver figura N°3

Si se compara la corriente continua con un fluido, el cual lleva un flujo laminar en donde las partículas se mueven a lo largo de trayectorias suaves o

capas, en donde no hay transferencia de masa ni de cantidad de movimiento, por tanto, no se generan pérdidas por calor. Ahora realizando una semejanza, considerando que el flujo laminar es la corriente continua y las partículas los electrones, se puede representar esta analogía en un alambre conductor en corte mostrado en la figura N°4.

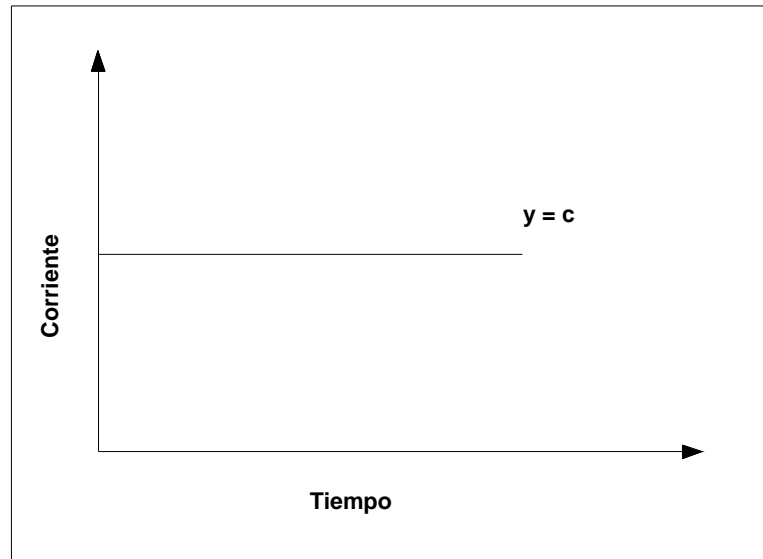


Figura N°3. - Comportamiento gráfico de la corriente continua.

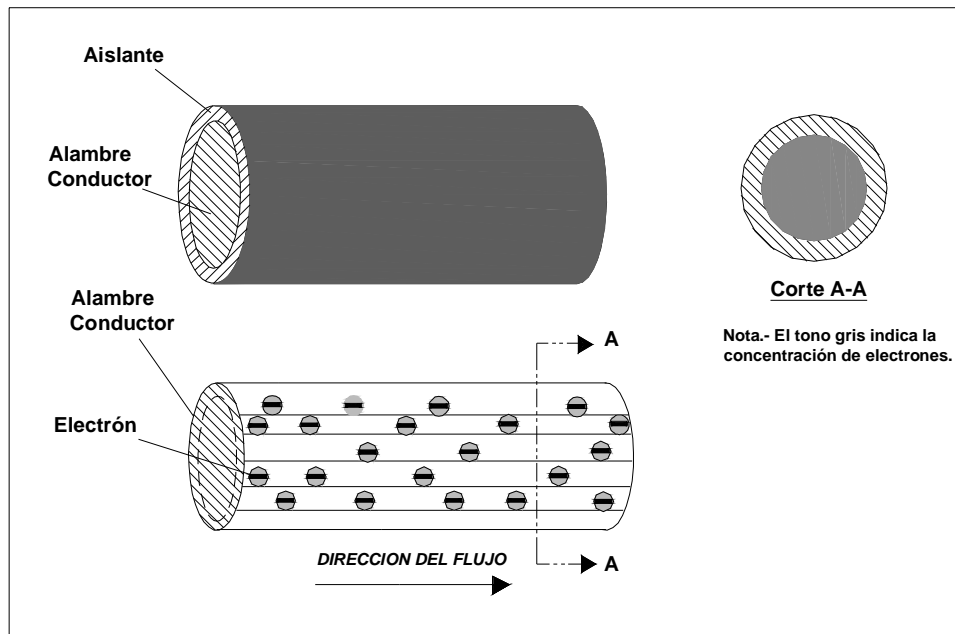


Figura N° 4. - Detalle 2 de la fig. N°2, comportamiento físico de corriente continua.

En la corriente continua también puede cambiarse la polaridad o signo de los polos y quedar automáticamente invertido el sentido de la corriente.

2.2 Corriente alterna

La corriente alterna se comporta como su nombre lo indica. Los electrones del circuito se desplazan primero en una dirección y luego en sentido opuesto, con un movimiento de vaivén en torno a posiciones relativamente fijas, esto se ve representado gráficamente en la figura N°5.

La popularidad de que goza la corriente alterna proviene del hecho de que la energía eléctrica en forma de ca se puede transmitir a grandes distancias por medio de fáciles elevaciones de voltaje que reducen las pérdidas de calor en los cables.

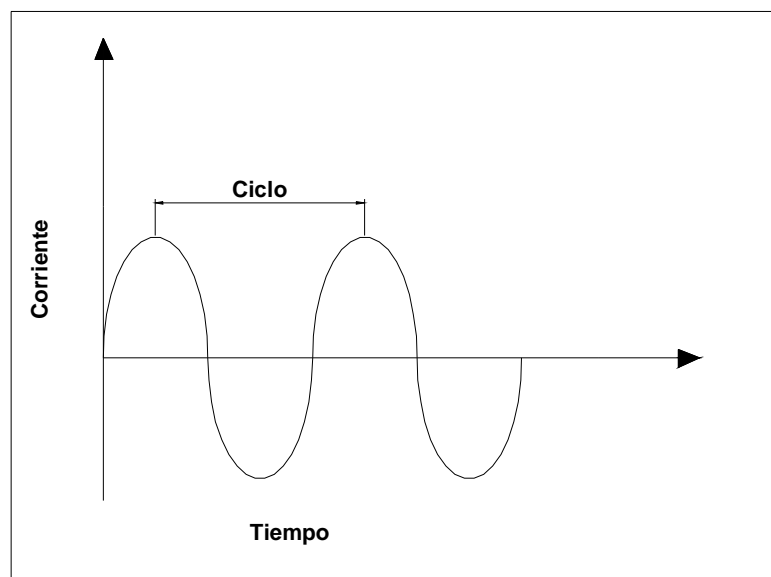


Figura N°5. - Comportamiento gráfico de la corriente alterna.

El comportamiento de esta corriente es muy similar al flujo denominado turbulento, en el cual las partículas se mueven en trayectorias muy irregulares que causan un intercambio de cantidad de movimiento de una porción del fluido a otra. Es porque en la corriente alterna se producen pérdidas por generación de calor producido por los electrones que viajan por la pared exterior del

conductor. Ahora si, el flujo turbulento pasa a ser la corriente alterna y las partículas los electrones, esto se ve representado en la figura N°6.

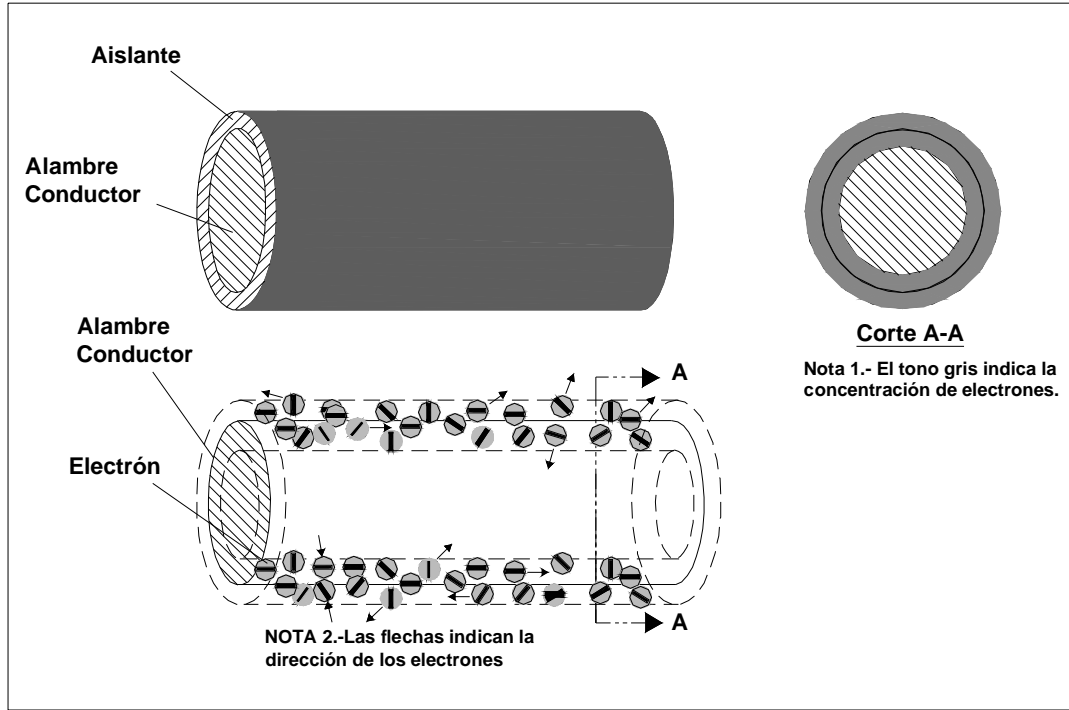


Figura N°6. - Detalle 1 de la fig. N°2, comportamiento físico de corriente alterna.

2.3 Circuito eléctrico

En la figura N°7 se presenta un esquema del circuito eléctrico básico para soldadura metálica.

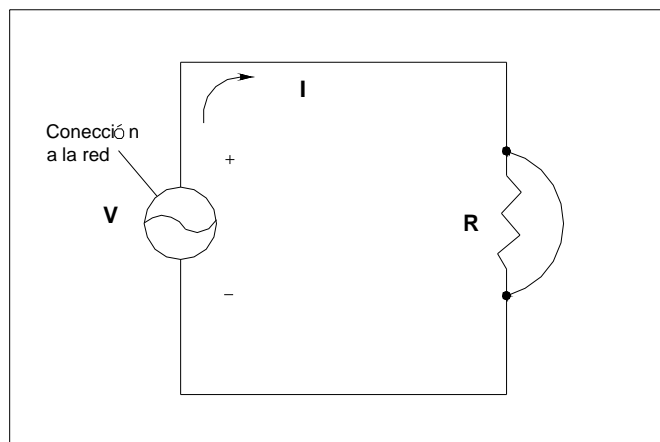


Figura N°7. - Circuito eléctrico básico para el proceso de soldadura al arco.

V = Fuente de poder o máquina de soldar, sólo si usa un transformador como máquina de soldar.

I = Corriente eléctrica cc o ca, es el calor necesario para derretir el material.

R = Resistencia eléctrica o pieza a soldar.

Debido a las exigencias eléctricas se requiere de muchos tipos de fuentes de potencia para satisfacer los diversos procesos de soldadura por arco.

El propósito del presente capítulo, es servir como guía para la comprensión y selección de la fuente de potencia apropiada para soldar. Para esto, tratará los aspectos técnicos de la potencia.

2.4 Máquinas eléctricas

Las máquinas eléctricas son aquellas que permiten efectuar cambios en la tensión y la intensidad de la corriente. Las máquinas eléctricas utilizadas en soldadura son denominadas transformadores.

2.5 Máquinas rotativas

Las máquinas rotativas son aquellas capaces de transformar la energía mecánica en energía eléctrica. Las máquinas de tipo rotativas utilizadas en soldadura son el generador y el alternador.

2.6 Fuentes de energía para soldadura por arco

Las fuentes de energía o máquinas soldadoras proporcionan energía eléctrica de corriente y potencial adecuados para producir y mantener el arco, para soldar.

2.7 Tipos de fuente de energía

En general existen tres tipos de máquinas soldadoras, estos tipos son:

1. Máquina soldadora de transformador.
2. Máquina soldadora de generador y alternador.

3. Máquina soldadora de rectificador.

2.7.1 Máquina soldadora de Transformador

La máquina soldadora de Transformador es una de las de más bajo costo que se utiliza para el proceso de soldadura. Estos transformadores de corriente alterna están formados de un núcleo de hierro, un devanado de entrada (devanado primario), un devanado de salida (devanado secundario) y un sistema de ajuste de la corriente de soldadura.

La función principal de los transformadores (figura N°8), consiste en cambiar la característica (baja corriente y alto potencial) de la energía eléctrica de la línea de alimentación, en energía eléctrica de soldadura cuyas características son: alta intensidad de corriente y potencial bajo.

Ventajas

- Bajo costo de adquisición.
- Mayor duración y menor gasto de mantenimiento.
- Mayor rendimiento y menor consumo de energía en vacío.
- Menor influencia del soplo magnético.

Desventajas

- Limitación en el uso de diferentes tipos de electrodo.
- Dificultad para establecer y mantener el arco.

En un transformador, las relaciones significativas entre el número de vueltas de los devanados (N_1 y N_2), los voltajes (E_1 y E_2) y corriente de entrada y salida (I_1 e I_2), se ven representados en la ecuación (2.1).

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (2.1)$$

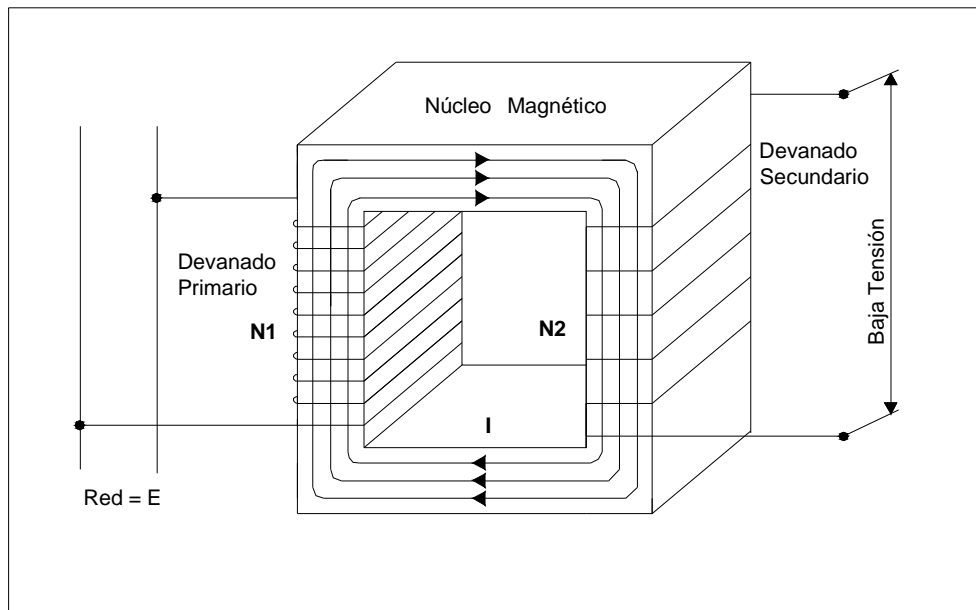


Figura N°8. - Transformador eléctrico para soldadura (Manual de soldadura eléctrica, Ediciones CEAC / Perú, 164 / Barcelona, Pág. 47).

Hay máquinas soldadoras de transformador que contienen características o cualidades para mejorar en forma considerable las condiciones eléctricas requeridas por el operario. Algunos tipos de máquinas soldadoras de transformador son: Control por bobina móvil, Control de derivación móvil, Reactor de núcleo móvil, etc.

2.7.2 Control por bobina móvil

En esencia, un transformador de bobina móvil consiste en un núcleo alargado en el cual se encuentran las bobinas primaria y secundaria. Una de las bobinas puede ser móvil mientras la otra se mantiene fija. La mayor parte de los transformadores de CA que siguen este diseño tiene la bobina secundaria fija. La bobina primaria generalmente se conecta a un tornillo terminal; cuando este gira, la bobina se acerca o se aleja de la bobina secundaria.

La variación de la distancia entre las dos bobinas regula el acoplamiento inductivo de las líneas de fuerza magnética que hay entre ellas. Cuando más separadas estén las dos bobinas, más vertical será la curva de salida volt – ampere y menor será el valor de corriente en cortocircuito máxima. En cambio,

cuando las dos bobinas están cerca una de la otra, la corriente máxima en cortocircuito es mayor y la pendiente de la curva de salida volt – ampere es menor empinada.

Ahora si se observa la figura N°9 a), muestra las bobinas lo más lejanas posible. Se indica la curva volt – ampere con salida máxima, con una pendiente muy empinada. Si observa la figura N°9 b), se ve claramente que la curva volt – ampere es menos empinada entregando una salida de corriente mucho mayor que en la figura anterior.

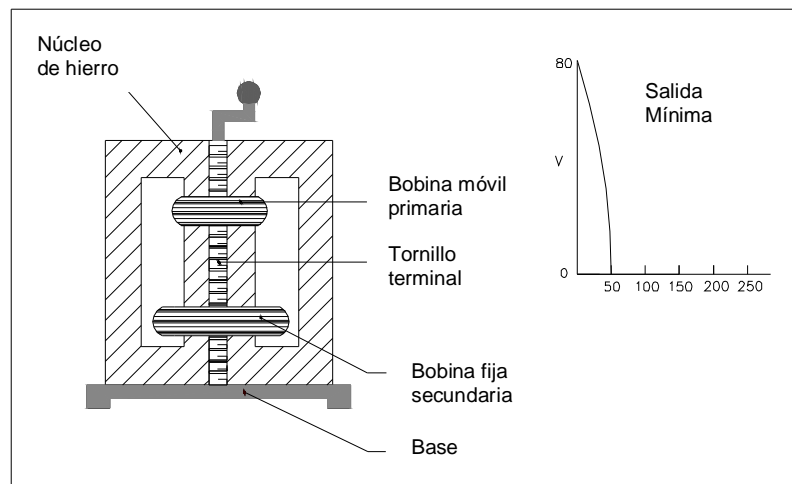


Figura N°9 a). - Transformador de CA con bobinas separadas (AMERICAN WELDING SOCIETY, Manual de soldadura, Tomo I, Pág. 20)

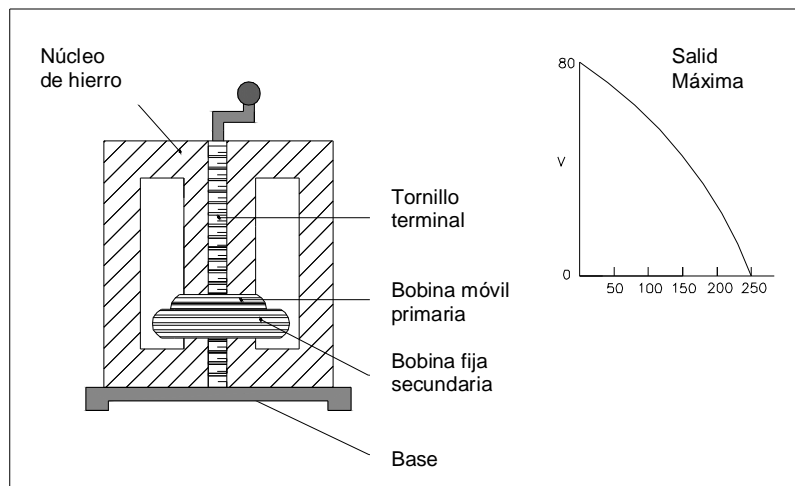


Figura N°9 b). - Transformador de CA con bobinas lo mas juntas posible (AMERICAN WELDING SOCIETY, Manual de soldadura, Tomo I, Pág. 20)

2.7.3 Control de derivación móvil

En este diseño, las bobinas secundarias y primarias están fijas, y el control se logra a través de una derivación de núcleo de hierro laminado que se mueve entre las bobinas primarias y secundarias. Se fabrica con el mismo material que se emplea para el núcleo del transformador.

Cuando la derivación se coloca entre las bobinas primarias y secundarias, como se muestra en la figura N°10 A, algunas líneas de fuerza magnética se desvían a través de la derivación de hierro en vez de llegar a las bobinas secundarias. Con la ubicación de hierro en esta posición, la pendiente de la curva volt – ampere aumenta y la corriente disponible para soldadura disponible disminuye. La corriente de salida mínima se obtiene cuando la derivación a entrado por completo entre las bobinas.

Ahora si observamos la figura N°10 B, la disposición de las líneas de fuerza magnética, o flujo magnético, no encuentran ningún obstáculo cuando la derivación de hierro se separa de las bobinas primarias y secundarias. En este caso la corriente de salida es máxima.

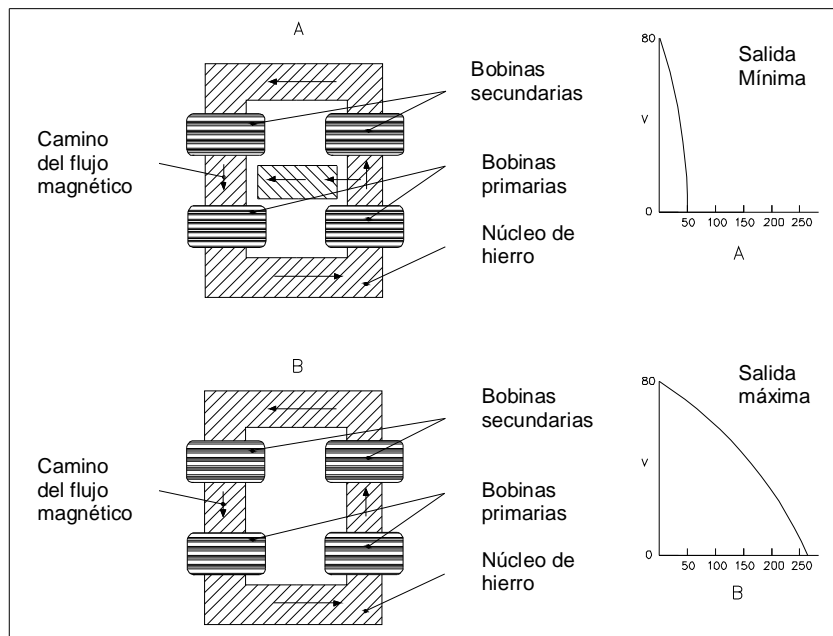


Figura N°10 A y B. - Comportamiento de la corriente en un transformador de CA de derivación móvil (AMERICAN WELDING SOCIETY, Manual de soldadura, Tomo I, Pág. 21)

2.7.4 Reactor de núcleo móvil

La máquina soldadora de CA del tipo de reactor de núcleo móvil consiste en un transformador de voltaje constante y un reactor en serie. La inductancia del reactor se modifica moviendo mecánicamente una sección de su núcleo de hierro. En la figura N°11, se presenta un diagrama de la máquina. Cuando la sección móvil del núcleo está en posición retraída, la permeabilidad del trayecto es muy baja debido al espacio del aire. El resultado es una reactancia inductiva baja que permite el flujo de una corriente de soldadura grande. Cuando la sección móvil del núcleo penetra en el núcleo estacionario, como se indica con líneas punteadas, el aumento en la permeabilidad hace que aumente la reactancia inductiva, reduciendo la corriente de soldadura.

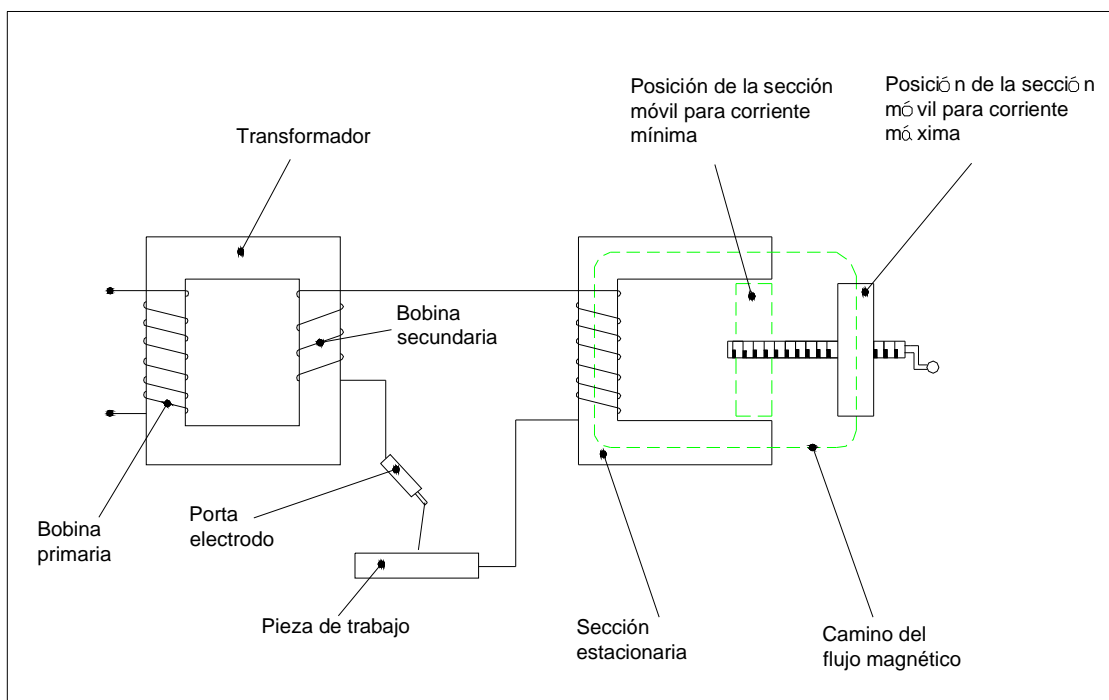


Figura N°11. – Comportamiento de la corriente en un transformador de CA del tipo de reactor de núcleo móvil (AMERICAN WELDING SOCIETY, Manual de soldadura, Tomo I, Pág. 21).

2.8 Máquina soldadora de generador y alternador

El generador es impulsado por un motor eléctrico para uso en el taller o por un motor de combustión interna para uso en el campo. Estas máquinas pueden ser de enfriamiento con agua o aire. Las máquinas soldadoras de generador pueden proporcionar corriente directa. Un alternador para máquina soldadora es un generador eléctrico que produce corriente alterna. Entonces los dos tipos básicos de fuente de potencia rotatoria serán el generador y el alternador. Normalmente un generador es un dispositivo eléctrico trifásico. Los sistemas trifásicos producen la potencia de soldadura más uniforme de todas las fuentes de potencia electromecánicas.

Ventajas

- Proporcionar estabilidad en el arco.
- Permite disponer de la polaridad adecuada para cada electrodo.
- Proporciona tensión constante de salida, la cual da buena presentación en los cordones.
- La mayor ventaja de las máquinas accionadas por motor de combustión interna, es la posibilidad de soldar en lugares, donde, no hay electricidad.

Desventajas

- El uso de este tipo de máquina, está limitado por su alto costo de adquisición y de operación.
- Requieren de un servicio de mantenimiento programado.

2.9 Máquina soldadora de rectificador

Estas máquinas están constituidas por transformadores y ya se dijo que los transformadores entregan CA, sin embargo, este transformador en el devanado secundario tiene un rectificador de silicio. La función del rectificador es dejar pasar la corriente en un sólo sentido, obteniéndose corriente rectificada o directa. Hay transformadores rectificadores con bobina móvil y éstos suministran corriente directa y corriente alterna.

Las características básicas de la máquina soldadora de rectificador se describen a continuación:

- Son económicas, son máquinas de transformador y anteriormente se indicaron las ventajas relativas al transformador.
- Son transformadores trifásicos.
- Pueden proporcionar corriente directa y corriente alterna.
- Produce un arco estable y por lo tanto, esta condición mejora la apariencia de los cordones.

2.10 Fuentes de potencia mecánica

Existen generadores con motores impulsores de corriente alterna con diversas especificaciones de voltaje y frecuencia y también con motores de corriente continua. Los generadores para soldaduras impulsados por motores de inducción normalmente se fabrican para requerimientos de entrada estándar para alimentación con potencia trifásica de 220,380 y 440 V a 50 Hz. Pocos se fabrican con motores monofásicos, ya que las fuentes de potencia del tipo de transformador por lo general satisfacen las necesidades de operación monofásica.

2.11 Corriente constante

La figura N°12 muestra curvas de salida volt-ampere típicas de una fuente de potencia de corriente constante convencional. A veces se dice que la fuente es de caída a causa de la marcada pendiente descendente (negativa) de las curvas. La fuente de potencia puede contar con regulación de voltaje de circuito abierto además del control de la corriente de salida. Al variar cualquiera de estos controles se modificará la pendiente de la curva volt-ampere.

Analizando el gráfico $V - A$ de la figura N°12 se puede apreciar que la curva "A" tiene un circuito abierto de 80 volts, un aumento uniforme en el voltaje de arco de 20 a 25 volts (25 %) produciría una disminución en la corriente de 123 a 115 amperes (6,5%). El cambio en la corriente es relativamente pequeño.

Por lo tanto, en un proceso con electrodo consumible, la tasa de fusión del electrodo se mantendría más o menos constante si el cambio en la longitud de arco no es muy grande. Ahora si se ajusta la fuente de potencia para un circuito abierto de 50 volts y una pendiente menos empinada que intercepte la misma posición de 20 volts y 123 amperes, se obtendrá la curva "B". En este caso, el mismo incremento en el voltaje del arco de 20 a 25 volts reducirá la corriente de 123 a 109 amperes, o sea, (11.4 %), que es un cambio significativo. En la soldadura manual, la curva V – A más plana daría la oportunidad a un operador más experimentado variar sustancialmente la corriente modificando la longitud de arco. Esto podría ser útil para soldar fuera de posición, porque el soldador podría controlar la tasa de fusión del electrodo y el tamaño de la piletta fundida. El control de corriente sirve para suministrar una salida más baja. Produciría curvas V –A con pendientes más abruptas como se muestran las curvas C y D, las cuales ofrecen una ventaja de la salida de corriente casi constante que permite cambios de mayor magnitud en el voltaje con variaciones pequeñas en la corriente.

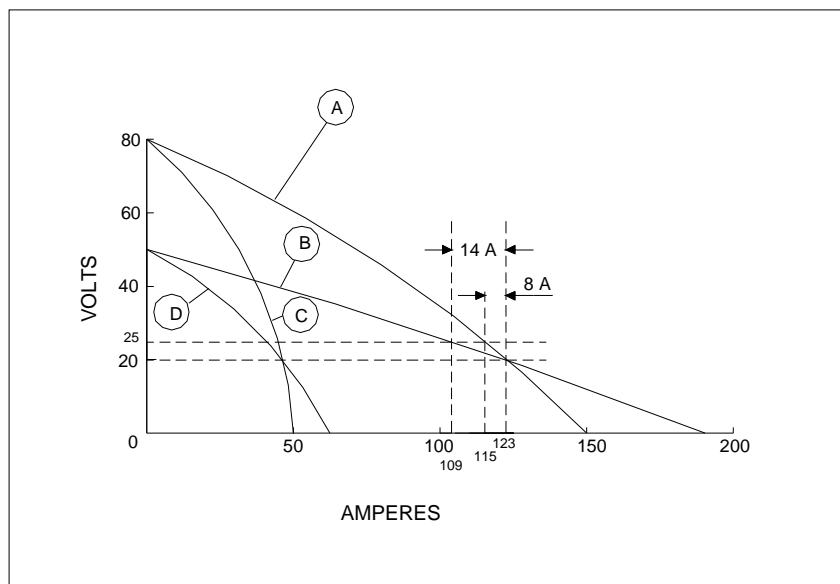


Figura Nº12. - Características volt-ampere típicas de una fuente de potencia “ de caída con voltaje de circuito abierto ajustable (AMERICAN WELDING SOCIETY, Manual de soldadura, Tomo I, Pág. 13).

CAPITULO III PROCESO DE SOLDADURA SMAW

3.1 Soldadura por Arco de Metal Protegido (SMAW)

La soldadura por arco de metal protegido (SMAW) es un proceso de soldadura por arco en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor que se produce entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie de metal base en la unión a soldar.

3.2 Principios de funcionamiento

La soldadura por arco de metal protegido (SMAW) es uno de los procesos de soldadura por arco más ampliamente utilizado, en el cual se aprovecha el calor del arco eléctrico para fundir la pieza de trabajo y el electrodo consumible. El electrodo y la pieza de trabajo forman parte de un circuito eléctrico. Este circuito eléctrico comienza con la conexión a la red de alumbrado o a un motor generador como fuente de potencia eléctrica o máquina soldadora e incluye cables para la conducción eléctrica, un porta electrodos, una conexión con la pieza de trabajo y un electrodo, tal como se muestra en la figura N°13 a).

La soldadura se inicia cuando se enciende un arco eléctrico entre la punta del electrodo y la pieza de trabajo. El intenso calor del arco funde la punta del electrodo y la superficie de trabajo inmediata al arco. El metal de aporte se deposita a través del arco en pequeños glóbulos de metal fundido formando así una pileta de soldadura fundida. Mientras, el arco se mueve sobre la pieza de trabajo con una longitud de arco y una velocidad de desplazamiento apropiada, el electrodo se va consumiendo. La fusión del metal base se efectúa en forma casi instantánea al iniciarse el arco, en la figura N° 13 b) se muestra el detalle 1 en la zona del arco eléctrico en el proceso de soldadura.

Al realizar soldaduras en posición plana la transferencia de metal es inducida por la fuerza de gravedad, la expansión del gas, fuerzas eléctricas y electromagnéticas, además de la tensión superficial. Al soldar en otras posiciones el campo de gravedad actuará oponiéndose a las demás fuerzas.

El arco eléctrico es un proceso que desarrolla altas temperaturas y se han llegado a medir en fuentes de calor comerciales, temperaturas por sobre los 5000 °C (8727 °F) en su centro. Sin embargo, los tamaños y tipos de electrodos para SMAW definen los requerimientos de voltaje (16 a 40 Volt) y de amperaje (20 a 550 Amperes) del arco.

En el capítulo anterior, se observó que la corriente puede ser alterna o continua 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 la figura N°14, se aprecian los efectos de los tipos de corrientes usadas para el proceso SMAW.

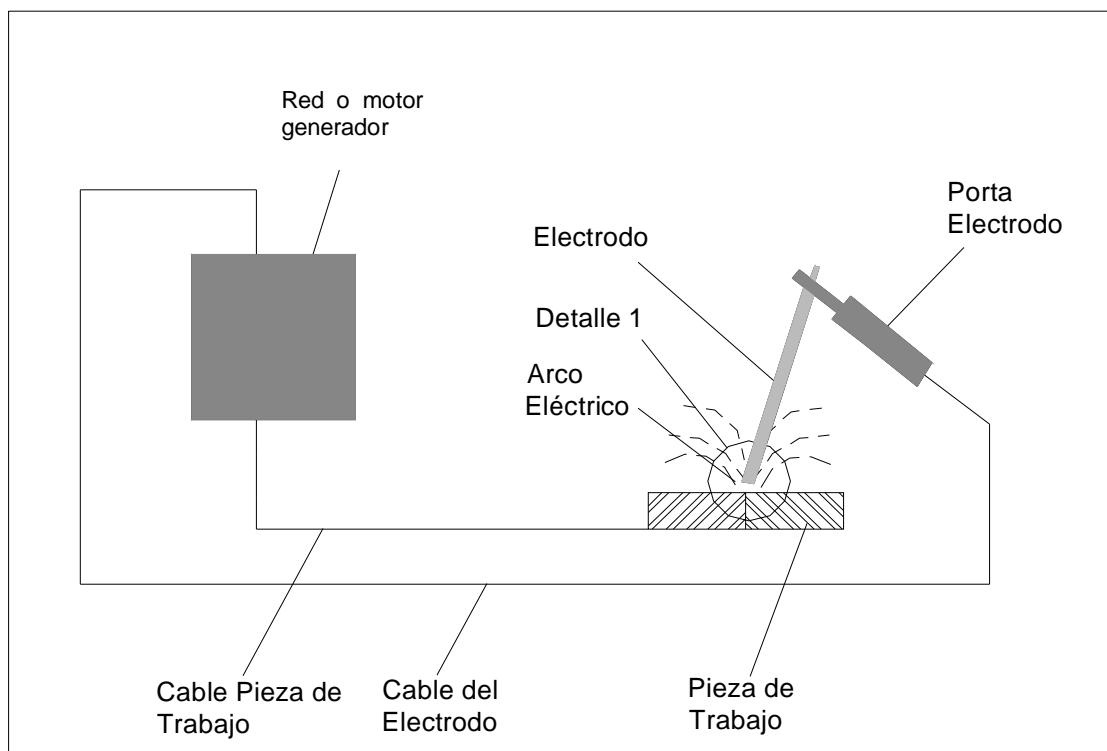


Figura N°13 a). – Elementos de un circuito de soldadura típico para soldadura por arco de metal protegido. (THE PRODUCE HANDBOOK OF ARC WELDING, sección 1, Pág. 1. 3 – 1)

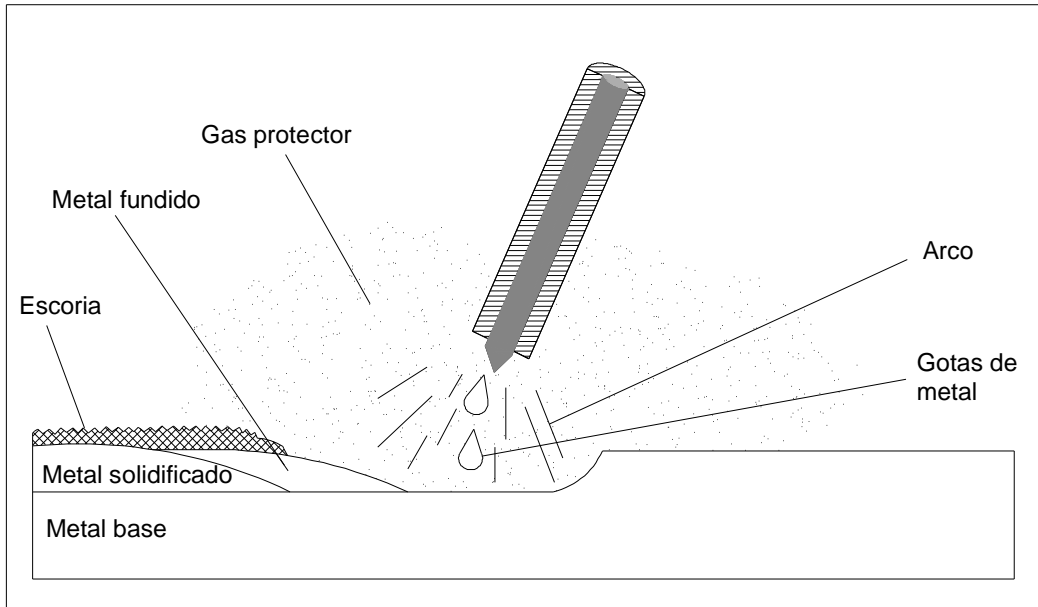


Figura N°13 b). - Detalle 1 de la figura N° 13 a) Acción del proceso SMAW en una unión a tope (Manual indura_ soldadura, Pág. 25).

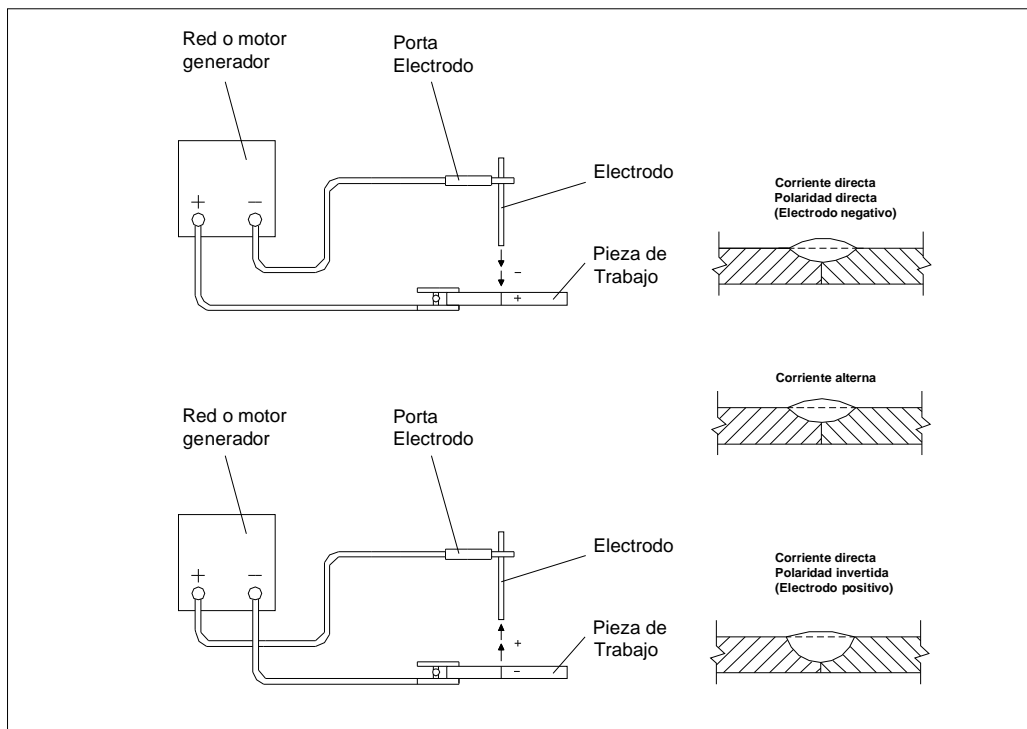


Figura N°14. – Efecto de la corriente directa (polaridad directa e invertida) y alterna en una unión de soldadura. (SOLDADURA, APLICACIONES Y PRACTICAS, Henry Horwitz, P.E.1997, capítulos 4 y 5, Pág. 53, 119).

3.3 Protección del arco

La acción de protección del arco es la misma para todos los electrodos. Dependiendo del espesor de la cobertura del electrodo será el volumen de gas generado. Una cobertura gruesa producirá un gran volumen de gas protector que actuará como escudo contra la atmósfera y a la vez produce una pequeña cantidad de escoria. Para el caso de un electrodo con recubrimiento delgado la situación cambia puesto que la mayor parte de esta cobertura se convierte en escoria. 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 por tener una densidad mucho menor que la del metal. Los electrodos que producen mucha escoria pueden transportar un amperaje elevado y ofrecen altas tasas de deposición, lo cual es bueno 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, son apropiados para soldar en cualquier posición.

3.4 Ventajas del proceso SMAW

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

3.5 Desventajas del proceso SMAW

- El proceso SMAW no suelda metales de bajo punto de fusión como el plomo, el estaño y el zinc, y sus aleaciones.

- Tampoco 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.
- El núcleo posee una resistencia eléctrica, por lo tanto, un amperaje excesivo puede sobrecalentar el electrodo y descomponer su cobertura esto a su vez altera las características del arco y de la nube protectora provocando tasas de deposición bajas.
- El ciclo de trabajo del operador y las tasas de deposición globales para los electrodos recubiertos suelen ser menor que en los procesos de electrodo continuo. Esto se debe a que los electrodos solo pueden consumirse hasta una cierta longitud mínima desechando la cola no consumida e insertando un nuevo electrodo en el porta electrodos.
- Además, casi siempre debe eliminarse escoria en los puntos donde se inicia y se detiene y antes de depositar una franja de soldadura frente a la otra previamente depositada o sobre ella.

3.6 Espesores

El proceso SMAW se puede adaptar a materiales de cualquier espesor dentro de ciertos límites prácticos y económicos. No se recomienda para espesores de menos de 1,6 mm, puesto que, el metal base se fundirá de lado a lado. La mayor parte de las aplicaciones del proceso SMAW implican espesores de entre 3 y 38 mm (1/8 y 1,5 pulg). Cuando la forma de las piezas son irregulares el proceso SMAW es el más adecuado y puede llegar a soldar materiales de hasta 250 mm (10 pulgadas) de espesor.

3.7 Descripción del electrodo

El electrodo es una varilla de metal sólido de material estirado o colado, o bien una varilla fabricada encerrando metal en polvo en una funda metálica. Esta varilla está recubierta de un material que puede ser celulósico, rutilico, de polvo de hierro, etc..., además esta varilla también llamada núcleo conduce la corriente eléctrica estableciendo el arco y suministra metal de aporte a la unión.

En la figura N°15, se aprecian las partes que componen a un electrodo recubierto.

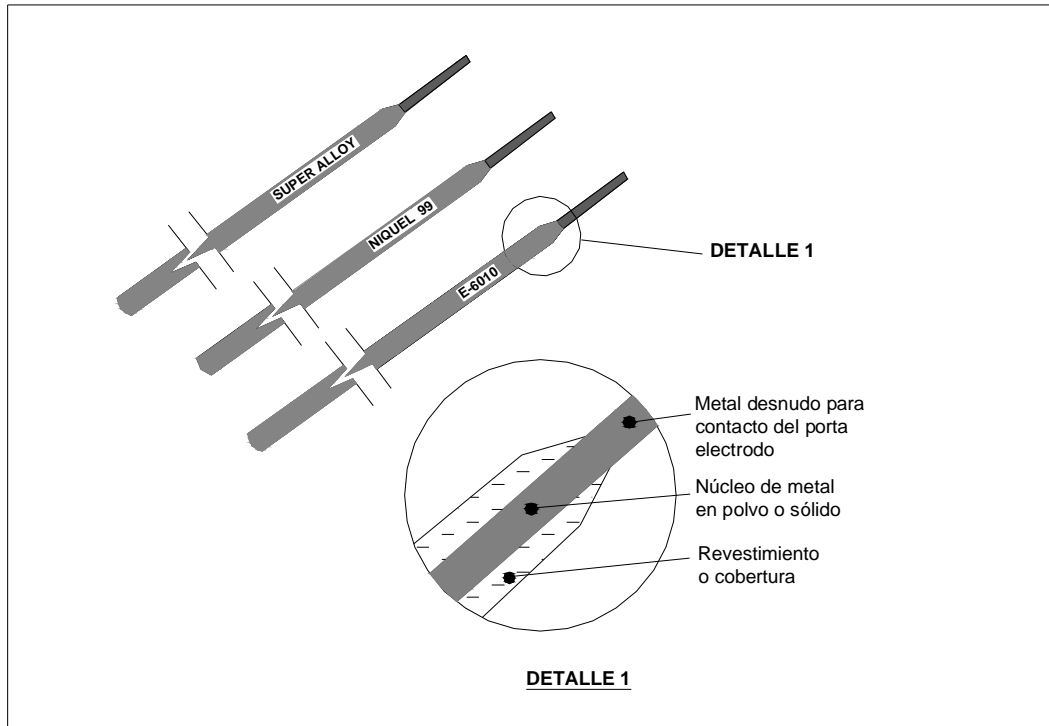


Figura N°15. – Elementos componentes de un electrodo para proceso SMAW.

3.7.1 Funciones de la cobertura del electrodo

Las funciones de la cobertura de un electrodo para el proceso SMAW, para las uniones soldadas son enumeradas como sigue:

1. Genera humos que protegen la zona del arco, que evita la contaminación de la zona soldada.
2. Suministra aditivos como, 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, la forma de la franja y la limpieza superficial de dicho metal.

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 fundido en la zona del arco y del metal de soldadura mientras se solidifica y enfría.

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 del trabajo 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. A menudo se emplean polvos metálicos distintos del hierro a fin de alterar las propiedades mecánicas del metal de soldadura.

3.7.2 Selección del electrodo adecuado

Para escoger el electrodo adecuado es necesario analizar las condiciones de trabajo en particular y luego determinar el tipo y diámetro del electrodo que más se adapte a estas condiciones.

Este análisis es relativamente simple, tomando en cuenta los siguientes factores:

- Naturaleza del metal base
- Dimensiones de la sección a soldar
- Tipo de corriente que entrega la máquina soldadora.
- En que posición o posiciones se soldará.
- Tipo de unión y facilidad de fijación de la pieza.
- Si el depósito debe poseer alguna característica especial, como son: resistencia a la corrosión, resistencia a la tracción, ductilidad, etc.
- Si la soldadura debe cumplir condiciones de alguna norma o especificaciones especiales.

Tomando en cuenta todos estos factores el electrodo durante su funcionamiento dará como resultado un arco estable, depósitos parejos, escoria fácil de remover y un mínimo de salpicaduras, que son las condiciones esenciales para obtener una ejecución óptima de la soldadura. La tabla N°1 (anexos) muestra algunos tipos de electrodos convencionales y la tabla N°2 (anexos) muestra algunos tipos de electrodos de bajo hidrógeno, ambas indicando parámetros necesarios para una correcta elección del electrodo a utilizar.

3.7.3 Almacenamiento de electrodos

Todos los revestimientos de electrodos contienen H₂O (cobertura higroscópica), esto es debido a que absorben la humedad con facilidad y la retienen. La humedad que captan durante la exposición a la atmósfera tiene los siguientes resultados:

- Hay una producción de hidrogeno y oxigeno durante la soldadura.
- Los átomos de hidrogeno se disuelven en la soldadura y en la zona térmicamente afectada, y pueden causar agrietamiento en frío.
- Un exceso de humedad en la cobertura de los electrodos puede causar porosidad en el metal de soldadura depositado.

Para minimizar los problemas de la humedad, es preciso empacarlos, almacenarlos y manejarlos correctamente. Algunos tipos como los celulósicos requieren algún contenido mínimo de humedad para trabajar correctamente (4 % para un AWS E- 6010). Para los casos, como los de bajo hidrógeno, se requiere de niveles bajísimos de humedad; 0.4 % para la serie 70 (ej. : 7018), 0.2 % para la serie 80 (ej. : E-8018); 0.15 % para las series 90, 100, 110 y 120 (Ej.: 9018, 11018 y 12018). Por consiguiente, los porcentajes descritos son de vital importancia cuando se trata de soldar aceros de baja aleación y alta resistencia, aceros templados y revenidos o aceros al carbono- manganeso en espesores gruesos. La humedad del revestimiento aumenta el contenido de hidrógeno en el metal de soldadura y de la zona afectada térmicamente (ZAT). Este fenómeno puede originar fisuras en aceros que presentan una estructura

frágil en la ZAT, como los mencionados anteriormente. Para evitar que esto ocurra se debe emplear electrodos que aporten la mínima cantidad de hidrógeno (electrodos bajo hidrógeno, ej. 7018), y además un procedimiento de soldadura adecuado para el material base y tipo de unión (precalentamiento y / o post – calentamiento según sea el caso).

3.7.4 Condiciones de mantención de electrodos

Son las condiciones que se deben observar, según lo indicado por el fabricante una vez que los electrodos se encuentran fuera de sus cajas, estas vienen indicadas en el embalaje.

3.7.5 Reacondicionamiento o resecado de electrodos

Aquellos electrodos que han absorbido humedad más allá de los límites recomendados por la norma requieren ser reacondicionados, a fin de devolver a los electrodos sus características.

La operación de resecado debe realizarse en hornos con circulación de aire. En el momento de introducir los electrodos en el horno, la temperatura del mismo no debe superar los 100 °C y las operaciones de calentamiento y enfriamiento deben efectuarse a una velocidad de alrededor de 200 °C / H, condición necesaria para evitar la fisuración y/o fragilización del revestimiento.

Las condiciones de mantención, almacenamiento y resecado de electrodos se indican en la tabla N°3 (anexos).

3.8 Metales base

El proceso SMAW se usa para aplicaciones de unión y recubrimiento de diversos metales base como aceros al carbono, aceros de baja aleación, aceros resistentes a la corrosión (inoxidables), acero fundido y Hierro fundido, cobre – Bronce, aceros al manganeso, etc.

3.9 Discontinuidades en SMAW

La soldadura por arco de metal protegido es un proceso como ya se ha mencionado en donde el operario realiza todos los pasos necesarios para llevar

a cabo la unión, por lo tanto, la calidad de esta depende de la habilidad del soldador que la produce.

En las uniones soldadas con SMAW generalmente se encuentran las siguientes discontinuidades o defectos:

- Porosidad
- Inclusiones de escoria
- Falta de penetración
- Socavamiento
- Grietas
- Fusión incompleta

3.9.1 Porosidad

Este término se emplea para describir las bolsas de gas atrapadas en la unión de forma globular y son representadas por espacios libres en el metal de soldadura. La porosidad se puede evitar de la siguiente manera:

1. Usando el amperaje apropiado.
2. Manteniendo la longitud correcta del arco.
3. Utilizando electrodos secos.

Esta discontinuidad se produce debido que al utilizar una corriente elevada o un arco largo, el recubrimiento del electrodo se consume fácilmente, por lo tanto, no se aporta la cantidad de gas protector suficiente en la deposición del metal derretido. Ver figura N°16.

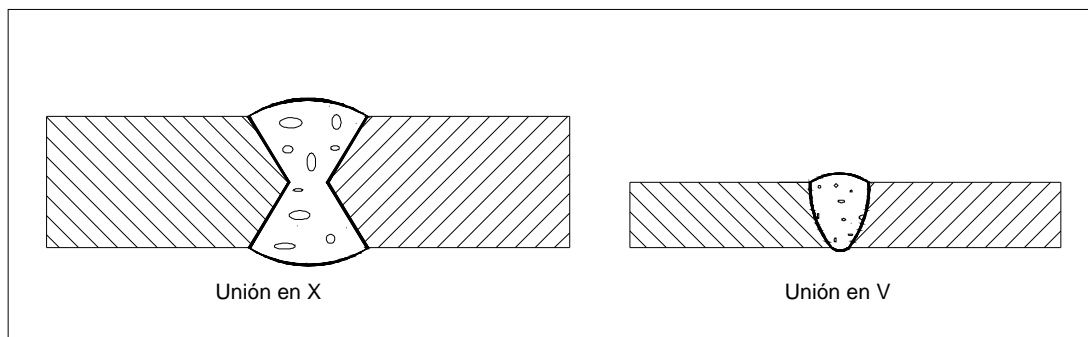


Figura N°16. - Porosidad en uniones soldadas en X y en V.

3.9.2 Inclusiones de escoria

Estos defectos, son los óxidos y sólidos no metálicos que a veces quedan atrapados en el metal de soldadura y metal base. Esta se produce bajo las siguientes condiciones:

- Cuando se agita el arco, debido a que estas partículas pueden meterse debajo de la superficie del metal fundido.
- Si el soldador no es cuidadoso la escoria puede fluir delante del arco.
- Cuando se suelda en posición vertical descendente. En tales casos el metal fundido puede fluir por encima de la escoria, atrapándola.
- Una corriente de soldadura insuficiente.
- Alta viscosidad del metal de soldadura.

Si las partículas de escoria están muy próximas entre sí, pueden reducir en forma considerable la resistencia de la junta. Ver figura N°17.

Las inclusiones de escoria se pueden evitar de la siguiente forma:

- Preparando correctamente el bisel o chafán antes de depositar cada cordón.
- Realizando un precalentamiento a la pieza de trabajo para retardar la solidificación del metal de soldadura.

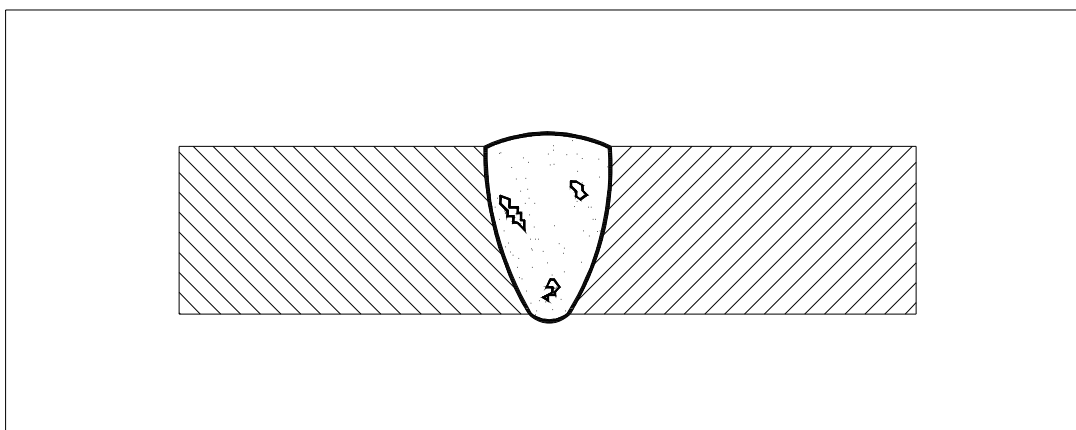


Figura N°17. - Inclusiones de escoria en una soldadura en V.

3.9.3 Falta de penetración

La falta de penetración (figura N°18), se usa para describir la situación en que el metal depositado y el metal base no se funden en forma integral en la raíz de la soldadura o sea no se logra fusión entre las capas adyacentes del metal de soldadura. Puede ocurrir en cualquier punto de la soldadura. Para evitarla se sugiere lo siguiente:

- Las superficies a soldar deben estar debidamente preparadas, limpias y lisas.
- Que la cara de la raíz no sea demasiado grande.
- Que la abertura de la raíz no sea demasiado angosta.
- Diseño de la unión adecuado para el proceso que se aplique.
- No usar un electrodo demasiado grande, compararlo con la unión.
- Aumentar la intensidad de corriente.
- Velocidad de soldadura inadecuada.

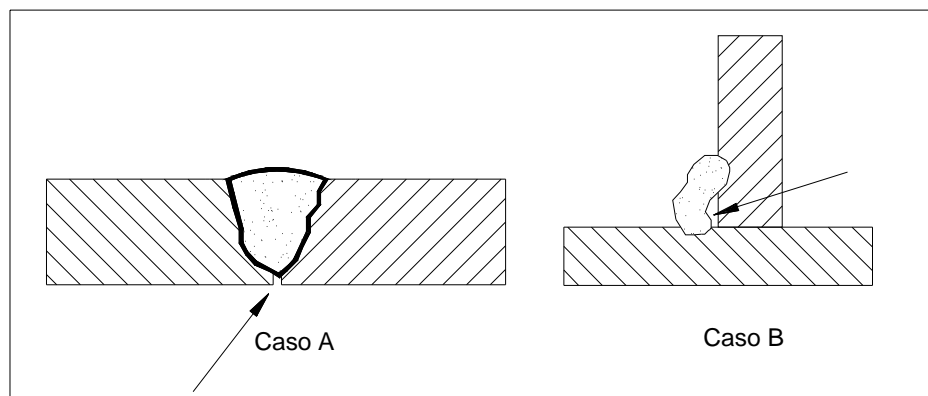


Figura N°18. – Falta de penetración en una soldadura en V caso A y unión filete o angular en caso b.

3.9.4 Socavamiento

El socavamiento se describe de dos formas:

1. Cuando se funde la pared lateral inmediata a la soldadura, con la formación de un nicho agudo en el área donde se va a depositar la siguiente franja. Ver figura N°19.

2. La reducción del espesor del metal base en la línea en la que se unió por fusión, el último cordón a la superficie. Ver figura N°20.

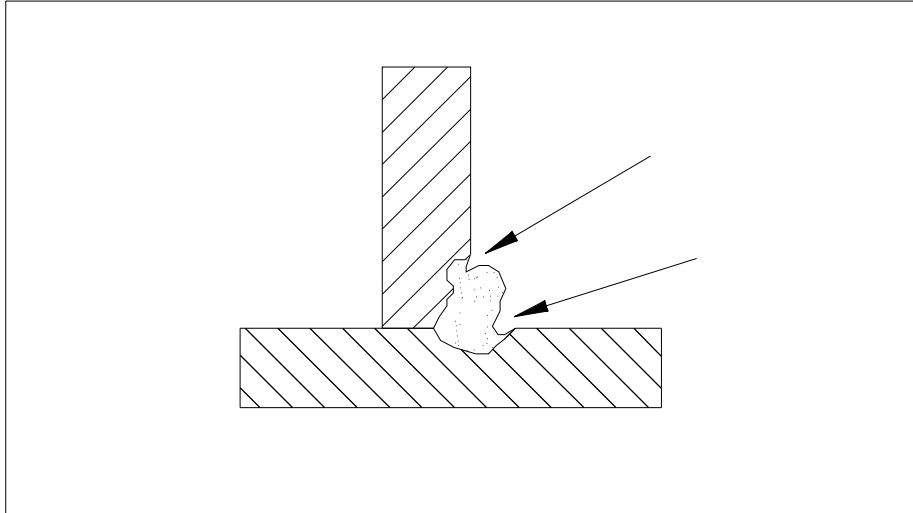


Figura N°19. - Socavamiento en una soldadura de filete o angular(SOLDADURA, APLICACIONES Y PRACTICAS, Henry Horwitz, P.E.1997, capítulo 22, Pág. 688).

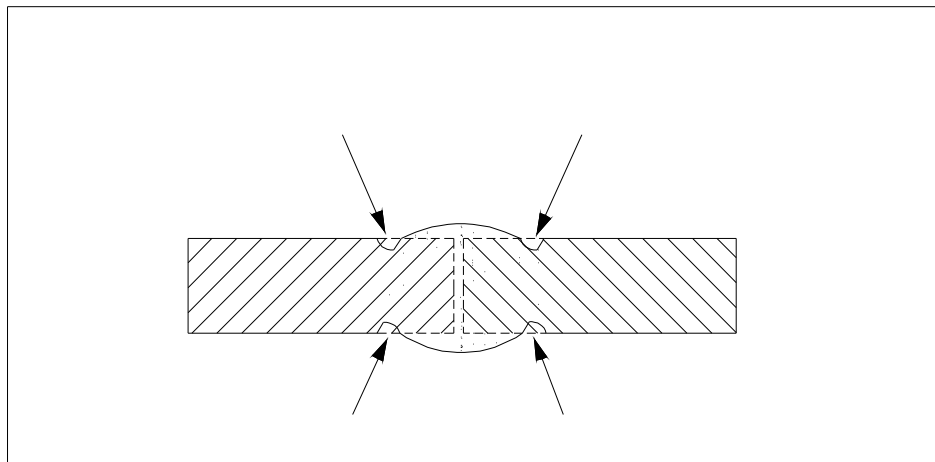


Figura N°20. - Socavamiento en soldadura a tope (SOLDADURA, APLICACIONES Y PRACTICAS, Henry Horwitz, P.E.1997, capítulo 22, Pág. 688).

3.9.4.1 Factores o causas que permiten la tendencia al socavamiento

- Falta de técnica del operario.
- Amperaje elevado.
- Arco largo.

- Posición incorrecta del electrodo.
- Velocidad de recorrido inadecuada (así como tardarse demasiado en los cambios de dirección de una soldadura zigzagueante).
- Electrodo inadecuado.

3.9.4.2 Método de corrección para el socavamiento

- Usando una piedra de amolar.
- Depositando un cordón de soldadura adicional.

Por suerte esta discontinuidad puede detectarse visualmente.

El socavamiento grave o acentuado no se puede permitir, pues reduce la resistencia mecánica de la junta y en particular a los esfuerzos de fatiga.

3.9.5 Grietas

Las grietas se producen por la presencia de esfuerzos multidireccionales localizados en algún punto, los cuales sobrepasan la resistencia máxima del metal. Este defecto puede darse en el metal de soldadura, como también en el metal base o en ambos a la vez. Una de las causas más frecuentes en el desarrollo de las grietas, son los impactos térmicos.

3.9.5.1 Agrietamiento del metal de soldadura

El agrietamiento del metal de soldadura tiene más posibilidad de ocurrir en la primera pasada que en cualquier otra parte; si no se repara a tiempo, continuará el agrietamiento a las otras pasadas depositadas posteriormente.

Cuando hay problema de agrietamiento en la primera pasada se puede realizar las siguientes modificaciones.

- Eliminar el cordón agrietado, perfeccionar bordes e iniciar nuevamente la soldadura.
- Modificar condiciones eléctricas o manipulación del electrodo; cambiará el contorno y la composición del depósito.
- Disminuir la rapidez de avance para aumentar el espesor del depósito, apor-

tando más metal de soldadura para resistir los esfuerzos que se están generando.

- Recurrir al precalentamiento para modificar el sistema de esfuerzos que se está imponiendo.
- Aislar la zona de impactos térmicos.

La presencia de las grietas en el metal de soldadura puede clasificarse en tres tipos. Ver figura N°21.

3.9.5.2 Tipos de grietas

Los tres tipos de grietas son definidos a continuación:

1. **Grietas transversales:** son las perpendiculares al eje del cordón.
2. **Grietas longitudinales:** estas se presentan predominantemente dentro del cordón, confinadas por lo general, al centro del mismo.
3. **Grietas de cráter:** siempre que se interrumpe la operación existe la tendencia a la formación de una grieta de cráter. Estas tienen generalmente forma de estrella.

3.9.5.3 Agrietamiento del metal base

Este tipo de agrietamiento por lo general es de naturaleza longitudinal, y casi siempre está asociado con los materiales templables. La dureza y la fragilidad que hay en la zona afectada por el calor (ZAT) en las uniones soldadas, son defectos metalúrgicos producidos por el ciclo térmico de soldadura, y se cuentan entre las causas principales del agrietamiento. Un caso particular de agrietamiento del metal base, se muestra en la figura N°22, que corresponde a una unión angular o de filete.

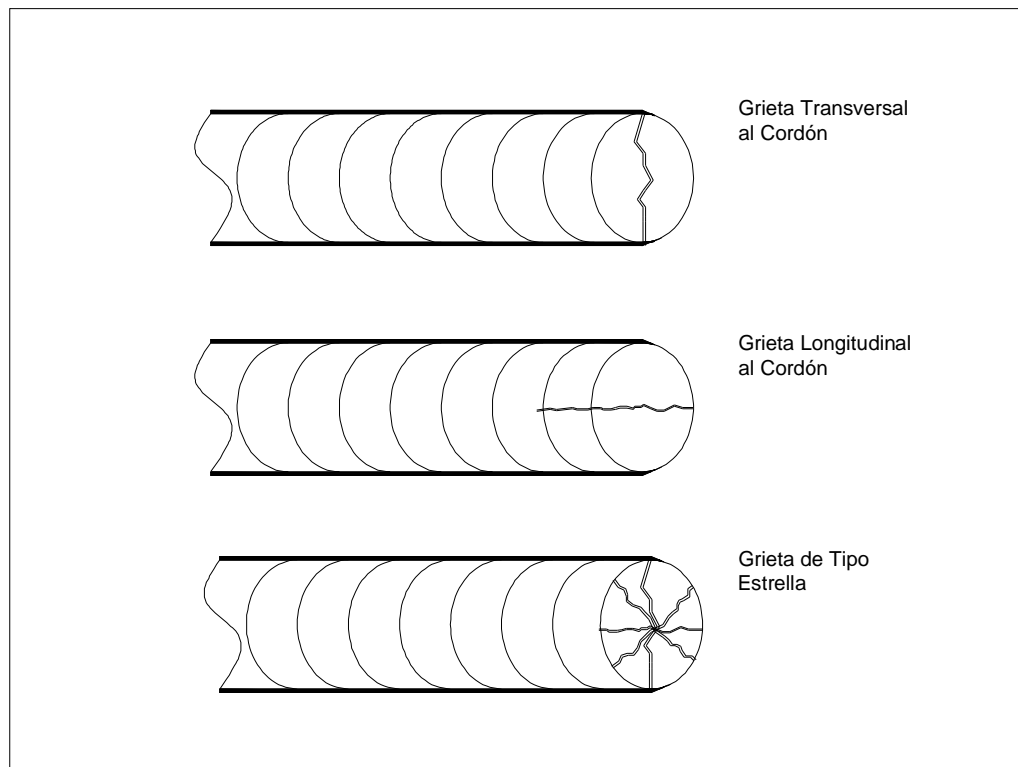


Figura N°21. - Tres tipos básicos de agrietamiento en cordones de soldadura (SOLDADURA, APLICACIONES Y PRACTICAS, Henry Horwitz, P.E.1997, capítulo22, Pág. 692).

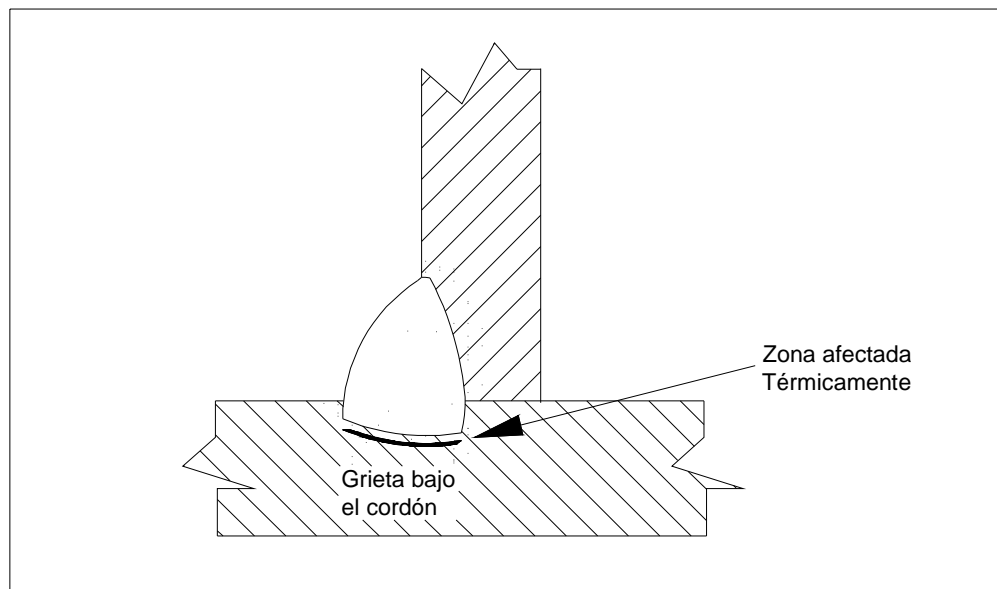


Figura N°22. - Agrietamiento en metal base de una unión de filete (SOLDADURA, APLICACIONES Y PRACTICAS, Henry Horwitz, P.E.1997, capítulo 22, Pág. 692).

3.10 Esquemas básicos de soldadura

La figura N°23, muestra los cinco estilos de unión: unión a tope, unión esquina, unión en Te, unión de borde y unión traslape. La figura N°24, muestra los tipos de soldadura. Luego la figura N°25, muestra algunas variaciones de bisel para uniones soldadas.

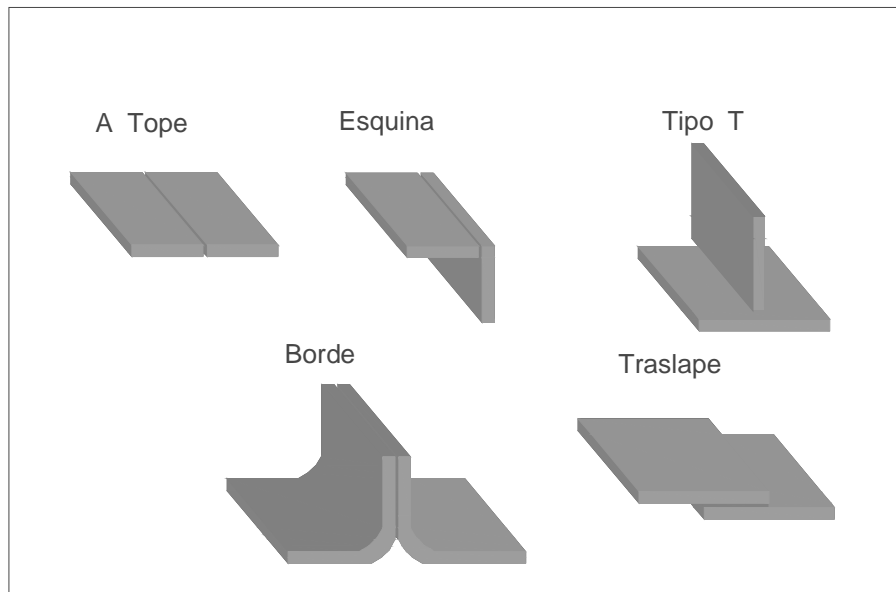


Figura N°23. - Estilos básicos de unión (Manual indura_ soldadura, Pág. 15).

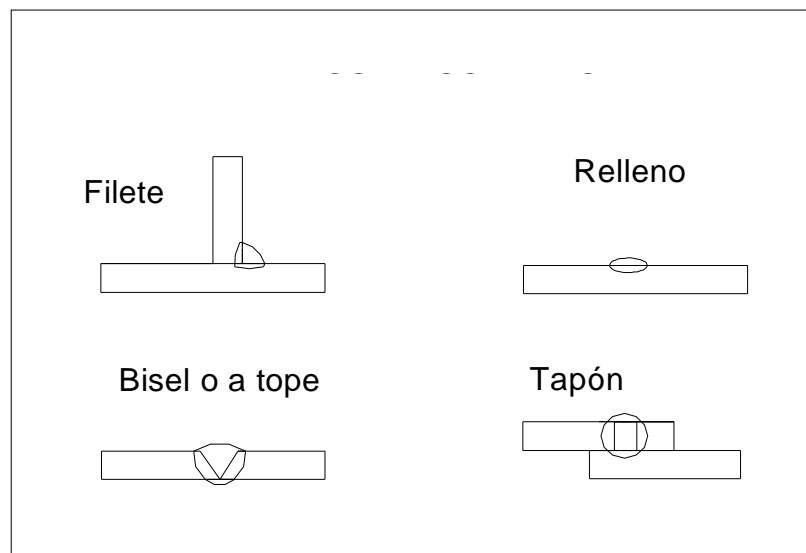


Figura N°24. – Tipos de soldadura, según perfil soldado (Manual indura_ soldadura, Pág. 15).

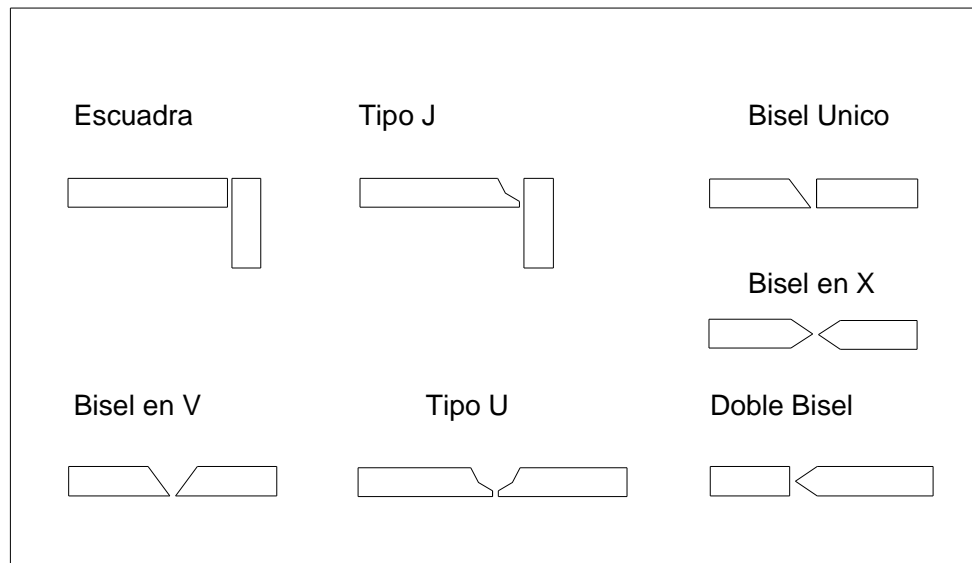


Figura N°25. – Tipos de variación de bisel o a tope (Manual indura_ soldadura, Pág. 15).

3.11 Procedimiento para soldar acero al carbono

Los mejores resultados se obtienen manteniendo un arco mediano, con lo que se logra una fusión adecuada, permitiendo el escape de gases además de controlar la forma y apariencia del cordón.

Para cordones soldados planos y horizontales, conviene mantener el electrodo en un ángulo de 45° respecto a las planchas, efectuar un pequeño avance y retroceso del electrodo en el sentido de avance. Con ello se logra una buena fusión al avanzar, se controla la socavación y la forma del cordón al retroceder al cráter.

Para cordones soldados verticales ascendentes, se mantiene el electrodo perpendicular a la plancha moviéndolo en el sentido de avance. El movimiento debe ser lo suficientemente rápido y la corriente adecuada para permitir alargar el arco y no depositar cuando se va hacia arriba, para luego bajar al cráter y depositar el metal fundido, controlando la socavación y ancho del cordón.

La soldadura sobrecabeza se ejecuta en forma similar a la horizontal, pero la oscilación en el sentido de avance debe ser mayor para permitir que el metal depositado en el cráter se solidifique.

Cuando se suelda vertical descendente, el cordón de raíz se hace con un avance continuo, sin oscilar, y la fuerza del arco se dirige de tal manera que sujete el baño de fusión.

3.12 Procedimiento para soldar aceros de baja aleación

Los mejores resultados se obtienen manteniendo un arco mediano, con lo que se gana una fusión adecuada, permitiendo el escape de gases además de controlar la forma y apariencia del cordón. Para filetes planos y horizontales, conviene mantener el electrodo en un ángulo de 45° respecto a las planchas y efectuar un pequeño avance y retroceso del electrodo en el sentido de avance. Con ello se logra una buena fusión al avanzar, se controla la socavación y la forma del cordón al retroceder al cráter.

Para filetes verticales ascendentes, se mantiene el electrodo en un ángulo de 90° respecto a plancha moviéndolo en el sentido de avance. El movimiento debe ser lo suficientemente rápido y la corriente adecuada para permitir alargar el arco y no depositar cuando se va hacia arriba, para luego bajar al cráter y depositar el metal fundido, controlando la socavación y ancho del cordón.

La soldadura de sobrecabeza se hace en forma similar a la horizontal, pero la oscilación en el sentido de avance debe ser mayor para permitir que el metal depositado en el cráter se solidifique.

Cuando se realiza soldadura vertical descendente, el cordón de raíz se hace con un avance continuo, sin oscilar la fuerza del arco se dirige de tal manera que sujeta el baño de fusión. Para los pasos sucesivos se puede usar una oscilación lateral.

3.13 Procedimiento para soldar aceros de baja y mediana aleación (bajo hidrógeno)

El procedimiento para soldar todos los electrodos de bajo hidrógeno es básicamente el mismo. Las aleaciones incorporadas a sus revestimientos no afectan las características de operabilidad de los electrodos. Para los que

poseen hierro en polvo se debe usar una corriente ligeramente mayor, que para aquellos que no lo contengan.

El arco debe mantenerse lo más corto posible en todo momento, pudiéndose usar una oscilación muy suave para controlar la forma y ancho del cordón. En soldaduras de varias pasadas, el cordón debe quedar completamente limpio, o sea, toda la escoria debe ser removida.

Para soldaduras aplicadas en plano deben ser hechas con el mayor amperaje permitido por diámetro, para asegurar una buena fusión en los costados. Se puede usar una oscilación de $2 \frac{1}{2}$ veces el diámetro del electrodo, aunque se recomienda, para soldaduras anchas, varios cordones angostos.

Para soldaduras verticales el cordón de raíz debe hacerse ascendente, con un arco corto y muy poco movimiento en sentido de avance. El electrodo no debe ser movido bruscamente hacia arriba y por ningún motivo alargar el arco. Es preferible para este cordón usar un movimiento en forma de "v". El electrodo se mantiene un instante en el vértice de la "v" para lograr penetración y remoción de escoria. El largo de la "v" no debe ser mayor de 1/8 pulgada. El segundo cordón y los sucesivos pueden hacerse con un movimiento oscilatorio de lado a lado, deteniéndose en los costados para permitir que la escoria atrapada en el primer cordón pueda salir a la superficie.

Cuando se aplique soldadura sobrecabeza, se recomienda hacerlo con cordones angostos y mantener el electrodo en un ángulo de 30° respecto a la cara vertical.

Los cordones horizontales deben hacerse con un cordón angosto, con el electrodo dirigido dentro de la unión en un ángulo de 45° . El cordón angosto debe hacerse también en las pasadas subsiguientes.

3.14 Procedimiento para soldar acero fundido

Las reparaciones de hierro fundido son los trabajos comúnmente encontrados en la práctica diaria y son considerados como los trabajos de soldadura más difíciles.

Cuando se suelda hierro fundido con electrodos de aceros comunes, se forma una capa dura y frágil adyacente a la soldadura. Esta capa consiste en hierro fundido endurecido superficialmente como resultado del rápido enfriamiento. Si el metal de aporte es acero, este absorberá una cantidad considerable de carbón del hierro fundido, convirtiéndose en un acero de alto contenido de carbono. El resultado será que el cordón de soldadura quedará tan duro que será imposible su mecanizado. Otro aspecto importante que es causado por realizar soldadura con electrodos de acero al hierro fundido, es que la capacidad de contracción entre el metal fundido depositado y la fundición no son iguales, debido a que la resistencia del metal de aporte es mucho mayor que la del hierro fundido y al producir la contracción del acero puede desprenderse de la fundición. Es por ello de la importancia de realizar la soldadura con el electrodo especial adecuado. Al elegir el electrodo correcto el proceso de soldadura se torna más fácil, pero sin embargo, las características químicas y metalúrgicas del hierro fundido son tales que deben ser consideradas cuidadosamente para asegurar los mejores resultados. A continuación se mencionan algunas de sus características:

1. Si se calienta a una temperatura alta y luego se enfría rápidamente, el resultado será una fundición blanca, muy dura y difícilmente trabajable mecánicamente.
2. Si se calienta a una temperatura alta y luego se enfría lentamente, el resultado será un hierro fundido gris que es blando y fácilmente trabajable.
3. El hierro fundido es frágil y no se puede doblar como el acero y por tanto, si se produce un sobrecalentamiento durante la soldadura, las contracciones durante el enfriamiento pueden causar grietas en el cordón o en las zonas afectadas térmicamente por el calor.

3.15 Procedimiento para soldar hierro fundido

Para obtener los mejores resultados, es esencial que las piezas hayan sido preparadas adecuadamente, es decir, remover o limpiar todas las materias

extrañas, tales como óxido, grasa y aceites. Si estas zonas se han impregnado de aceite, agua u otros agentes, entonces se requiere un precalentamiento a una temperatura suficientemente alta, entre 300°C – 370°C, para evaporar los contaminantes antes de realizar la soldadura.

La soldadura del hierro fundido es relativamente fácil, pero sus características químicas y metalúrgicas son tales que deben ser consideradas cuidadosamente para asegurar los mejores resultados. Algunas de sus características son:

1. Si se calienta a una temperatura alta y luego se enfría rápidamente, el resultado será una fundición blanca, muy dura y difícilmente trabajable mecánicamente.
2. Si se calienta a una temperatura alta y luego se enfría lentamente, el resultado será un hierro fundido gris que es blando y fácilmente trabajable.
3. El hierro fundido es frágil y no se puede doblar o estirar como el acero y consecuentemente si se produce un sobrecalentamiento durante la soldadura, las contracciones durante el enfriamiento pueden causar grietas en la soldadura misma o en las zonas térmicamente afectadas entre ésta y el metal base.

Las consideraciones anteriores son principalmente las que han establecido un procedimiento fundamental para la soldadura del hierro fundido, independiente del tipo de electrodo utilizado, maquinable o no maquinable, que puede establecerse en los siguientes puntos:

1. Utilizar electrodos de poco diámetro y corriente lo más baja posible, pero suficiente para producir una buena fusión.
2. Hacer soldaduras cortas de no más de dos o tres pulgadas de longitud.
3. Es aconsejable el depósito de cordones delgados, en lugar de cordones anchos y oscilados.

3.16 Procedimientos para soldar cobre - bronce

La técnica de operación de estos electrodos es totalmente distinta a la empleada en la soldadura del acero al carbono, debido principalmente a la diferencia de conductividad térmica, coeficiente de expansión, menor punto de fusión y mayor fluidez a la temperatura de la zona de fusión. Al soldar cobre y sus aleaciones deberán considerarse los siguientes factores:

1. Dejar una separación mayor en la raíz de las uniones.
2. Emplear ángulos de bisel mayores que los usuales.
3. El punteo de las uniones debe tener un paso menor.
4. Usar temperatura de precalentamiento.
5. Emplear los rangos de corriente más altos para cada diámetro de electrodo.

Para soldar piezas de cobre - bronce, es frecuente el empleo de respaldos de cobre o de grafito, con el objeto de prevenir la sobrefusión en la raíz de las uniones, especialmente al soldar espesores delgados.

Como regla general al soldar cobre y sus aleaciones se recomienda el empleo de temperaturas de precalentamiento del orden de 200° C, y temperaturas pasadas de 200° C a 370° C para latones y de 400° C a 550° C para cobre.

El martillado de los depósitos de soldadura no es absolutamente indispensable, pero se emplea para reducir las tensiones y distorsiones en las uniones soldadas, a la vez de mejorar las propiedades mecánicas debido al afinamiento de los granos del depósito.

3.17 Procedimiento para soldar aceros al manganeso

El electrodo para soldar acero al manganeso ha sido diseñado para obtener gran resistencia a las fisuras. Al estar sometido a fuerte impacto, el depósito endurece rápidamente.

Los factores que deben considerarse al ejecutar una soldadura al arco en acero al manganeso son:

- a) **Mantener la temperatura lo más baja posible:** Esto se logra usando los amperajes mínimos admisibles y electrodos de menor diámetro. Es recomendable llevar cordones intermitentes y cortos. Se deberá mantener la zona contigua a la soldadura (12 mm) a una temperatura menor de 300° C.
- b) **Mantener al mínimo la dilución entre metal de aporte y metal base:** Esto se logra usando amperajes bajos, con corriente continua, electrodo positivo (se produce mayor calor en el arco). Al producirse la mezcla entre metal base y el metal de aporte, aumenta el contenido de carbono del último, lo que produce cordones frágiles.
- c) **Depositar cordones de sección suficiente:** Es fundamental lograr en el primer cordón de raíz con una buena sección, un depósito insuficiente tiende a producir grietas.
- d) **Reducir tensiones en el metal base y en el metal de aporte:** Los aceros austeníticos tienden a formar tensiones térmicas debido a su alto coeficiente de dilatación y baja conductividad térmica, produciendo zonas de alta temperatura. Estas tensiones pueden reducirse mediante un martillado neumático. Parte de la tensión de atracción se transforma en compresión, y parte queda anulada.

3.18 Temperaturas de precalentamiento para diferentes aceros

El precalentamiento de las piezas a reparar con soldadura resistente al desgaste puede ser necesario, para evitar grietas en el metal base, como también en el depósito.

La temperatura de precalentamiento para cada aleación está indicada en su descripción respectiva y dependerá del contenido de carbono y elementos de aleación en el metal base.

Cuanto más alto el contenido del carbono, mayor debe ser la temperatura de precalentamiento.

Las temperaturas indicadas en la tabla N°4 (anexos) representan los valores mínimos para cada material, por lo que se recomienda usar siempre la

temperatura más alta de las cifras indicadas para el metal base y el material de aporte.

CAPITULO IV CALIFICACIÓN DE SOLDADORES

La calificación del soldador es un aspecto fundamental para el aseguramiento de la calidad del desempeño de uniones soldadas.

4.1 Responsabilidades

El Código ASME “Para Calderas y Recipientes a Presión”, reconoce a un fabricante, contratista, montajista o instalador, como la organización que tiene el control operacional responsable de la producción de las piezas soldadas a ser fabricadas. (QW-103.1, Pág. 2).

4.2 Registros

Cada organización representada completará y firmará un registro de calificación del desempeño de cada soldador. (QW-300.3, Pág. 25).

Cada fabricante o contratista, deberá mantener un registro de los resultados obtenidos en el procedimiento de soldadura y de las calificaciones del desempeño de soldadores. Estos registros deberán ser certificados por el mismo fabricante o contratista, y deberán estar accesibles al Inspector Autorizado. (QW-103.2, Pág. 2).

4.3 Propósito de los ensayos

Los ensayos de calificación del desempeño de soldaduras tienen el propósito de determinar la capacidad de los soldadores para efectuar soldaduras sanas. (QW-301.1, Pág. 25).

4.4 Ensayos de calificación

Cada fabricante o contratista deberá calificar a cada soldador para cada proceso de soldadura a ser usado en su soldadura de producción. La preparación de los procedimientos de ensayo también está considerada dentro de los límites de las calificaciones de desempeño. (QW-301.2, Pág. 25).

4.5 Expiración de la calificación

Las calificaciones del desempeño de un soldador deberán ser canceladas bajo las siguientes condiciones:

- Cuando no ha efectuado soldadura por un período de seis o más meses en tal proceso en particular. (QW-322.1 a), Pág. 30).
- Cuando existiere una razón específica para cuestionar su capacidad para desarrollar soldaduras que atiendan las especificaciones, las calificaciones que soporte la soldadura que estuviese ejecutando, serán consideradas expiradas. Toda otra calificación no cuestionada permanecerá efectiva. (QW-322.1) b), Pág. 30).

4.6 Calificación de procedimientos de soldadura

Cada fabricante o contratista deberá preparar, por escrito, sus especificaciones de procedimientos de soldaduras, las que serán definidas como sigue:

4.6.1 Especificación del Procedimiento de Soldadura (EPS)

Un procedimiento de soldadura escrito será preparado para proporcionar instrucciones al soldador u operador de soldadura mientras efectúa soldaduras de producción. (QW-200.1) a), Pág. 15).

4.6.2 Contenido del EPS

La EPS enumera en detalle las variables esenciales, las suplementarias (cuando se requiera) y las variables no esenciales. (QW-200.1) b), Pág. 15).

4.6.3 Cambios del EPS

Se podrán efectuar cambios en las variables no esenciales para adecuarse a requisitos de producción sin recalificación del procedimiento, siempre que dichos cambios sean documentados con respecto a las variables esenciales, o las suplementarias (cuando se requieran) para cada proceso, ya sea con una enmienda a la EPS, original o en una nueva. (QW-200.1) c), Pág. 15).

4.6.4 Formato del EPS

La información de la EPS podrá ser presentada en cualquier formato, escrito o tabular, para satisfacer las necesidades de cada fabricante o contratista, siempre que se incluya cada variable esencial, las suplementarias (cuando se requiera), y no esencial. (QW-200.1) d), Pág. 15).

4.6.5 Disponibilidad del EPS

Una EPS usada para soldadura de construcción se encontrará disponible para referencia y revisión del Inspector Autorizado.

4.7 Variables esenciales

Las variables esenciales son aquellas en que un cambio, se considera que afecta las propiedades mecánicas de la pieza soldada, excepto la resistencia al impacto, deberá requerir recalificación de la EPS. (QW-251.2, Pág. 22).

Algunos de estos cambios podrían ser por ejemplo, en el proceso de soldadura, material de aporte, tratamiento de precalentamiento. También se considera como variable esencial un cambio en la condición de soldadura que afecte la habilidad de un soldador para depositar material de aporte sin defecto, o sea, técnica de ejecución.

4.8 Variables suplementarias

Las variables suplementarias, son exigidas para metales en que otras secciones especifican ensayo de tenacidad al entalle (QW-251.2, Pág. 22).

Algunas variables esenciales suplementarias pueden ser, cambio en el Proceso de soldadura, soldadura vertical ascendente o descendente, calor aportado, precalentamiento o tratamiento térmico pos - soldadura, etc.

4.9 Variables no esenciales

Las variables no esenciales son aquellas en las cuales un cambio, puede ser hecho en la EPS sin recalificación, esto quiere decir, que un cambio en la

condición de soldadura no altera las propiedades mecánicas de la junta soldada. Por ejemplo: Diseño de la junta, método de limpieza de la raíz, etc.

4.10 Calificación del soldador

Las pruebas para calificación de soldadores están ideadas para separar a los soldadores capaces de los aficionados.

Los soldadores por procedimiento manual y electrodo recubierto, deben calificarse por el Código de soldadura estructural de la AWS (AWS Structural Welding Code).

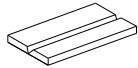

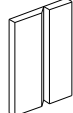
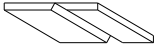

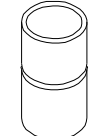

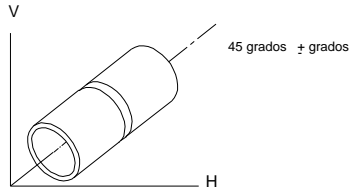
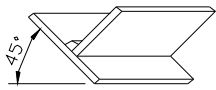
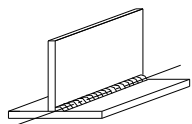
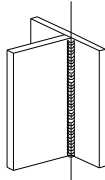
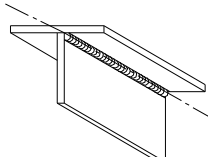
POSICIONES DE UNIONES PARA ENSAYOS				
	Plano	Horizontal	Vertical	Sobrecabeza
Uniones Biseladas	 <p>1 G</p>	 <p>2 G</p>	 <p>3 G</p>	 <p>4 G</p>
Uniones de Cañerías	 <p>1 G La cañería se rota mientras se suelda</p>	 <p>2 G</p>	 <p>5 G</p>	 <p>6 G</p>
Uniones de Filete	 <p>1 F</p>	 <p>2 F</p>	 <p>3 F</p>	 <p>4 F</p>

Figura N°26. - Posiciones de uniones para ensayo práctico manual. (Código ASME, sección IX, parte QW, edición 1995, Pág. 65).

4.11 Posiciones de uniones para ensayo

El Código ASME sección IX “PADRONES PARA LA CALIFICACION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA - SOLDADORES Y OPERADORES DE SOLDADURA”, muestra las posiciones de uniones para ensayo y, estas se ven representadas en la figura N°26.

CAPITULO V NIVELES DE CALIDAD PARA UNIONES SOLDADAS POR ARCO ELECTRICO EN ACEROS

El aseguramiento de la calidad, ha pasado a convertirse en la herramienta de uso más amplio y generalizado. Igualmente su uso es cada vez más frecuente en los contratos de fabricación y adquisición de productos instalaciones industriales etc.

La calidad es el conjunto de propiedades y características de un producto o servicio, que le confiere la aceptación para satisfacer necesidades expresas o implícitas.

5.1 Calidad de la soldadura

Para obtener buenas propiedades físicas y mecánicas, además de tamaños, forma de la unión, se debe considerar la participación o influencia de los siguientes factores:

1. Materiales base
2. Materiales de soldadura
3. Modo de soldar
4. Medio ambiente
5. Equipo de soldadura

5.2 Aseguramiento de la calidad

Todas aquellas acciones planificadas y sistemáticas necesarias para proporcionar la confianza adecuada que un producto o servicio satisfacen los requisitos de calidad establecidos.

La calidad de soldadura es una expresión cuyo significado depende del uso final que se le dé a la soldadura.

5.3 Inspección

Acción de medir, examinar, ensayar, comparar con calibres una o más características de un producto o servicio y comparación con los requisitos especificados para su conformidad.

5.4 Tolerancia de las uniones

La tolerancia o nivel de calidad permitida en la unión hecha manualmente comparada con la unión mecanizada es mayor, puesto que existe un aumento de las irregularidades de las piezas a soldar, debido a la participación directa del soldador, como el ejecutor de las uniones.

5.5 Conductas para controlar la calidad de las uniones soldadas

Es de importancia que en una empresa dedicada a la realización de trabajos que impliquen el proceso SMAW u otros, para sus productos o servicios, que cuenten con aspectos o conductas para controlar la calidad de las uniones soldadas, por ejemplo:

- Que el departamento de diseño o ingeniería de manufactura determine el grado de calidad que se requiere para cada soldadura en particular, de acuerdo al desempeño de la unión y su aspecto.
- Calificar los procedimientos de soldadura antes de aplicarse.
- Manejo de instructivo sobre el manejo y almacenamiento de metales de aporte.
- Instructivo de seguridad en trabajos de soldadura.
- Uso de una hoja de procedimiento de aplicación o reporte diario de la actividad realizada, etc...

5.6 Clasificación de las soldaduras

Los primeros intentos para la clasificación de las soldaduras, se hacen tomando como base los resultados de la inspección radiográfica de las mismas. Así, en el año 1952, la comisión V "Ensayos, medidas y control de las soldaduras" del Instituto Internacional de la Soldadura, inició la publicación de una colección de radiografías tipo. En la actualidad, la colección se compone de un total de 86 radiografías que muestran los defectos tipos de las soldaduras correspondientes a distintos grados de severidad. Esta colección esta destinada a servir de guía para la interpretación de las radiografías para la unificación de criterio en los distintos países y la instrucción de radiólogos e

inspectores; Por lo tanto, en su forma actual, esta colección de radiografías tipo no constituye un código de aceptación o rechazo y solamente debe ser considerada como una base de comparación en cuanto concierne a la importancia y naturaleza de los defectos que puedan presentarse en las soldaduras y que son puestos en evidencia por la radiografía. (RUIZ RUBIO, A., Aplicación de los Métodos de Ensayo No Destructivos al Examen de las Uniones Soldadas, Edición 1980, Pág. 4 - 5).

Las radiografías que forman esta colección y en consecuencia, las uniones soldadas a las que pertenecen, se han dividido en cinco grupos, según la importancia relativa de los defectos en ellas presentes, estos son:

Grupo 1. - Negro. Soldadura sana.

Puede contener algunas inclusiones gaseosas dispersas.

Grupo 2. - Azul. Soldadura buena.

Defectos muy pequeños en forma de una o varias de las imperfecciones siguientes:

- Inclusiones gaseosas.
- Inclusiones de escoria.
- Mordeduras.

Grupo 3. - Verde. Soldadura regular.

Con pequeños defectos en forma de uno o varios de los siguientes:

- Inclusiones gaseosas.
- Inclusiones de escoria.
- Mordeduras.
- Falta de penetración.

Grupo 4. - Marrón. Soldadura mala.

Con grandes defectos, que pueden ser en forma de uno o varios de los siguientes:

- Inclusiones gaseosas.
- Inclusiones de escoria.
- Mordeduras.
- Falta de penetración.
- Falta de fusión.

Grupo 5. - Rojo. Soldadura muy mala.

Con grandes defectos en forma de uno o varios de los siguientes:

- Inclusiones gaseosas.
- Inclusiones de escoria.
- Mordeduras.
- Falta de penetración.
- Falta de fusión.
- Grietas.

Como puede apreciarse cada uno de estos grupos se caracteriza por la presencia de un determinado defecto:

- Grupo 1: Ausencia de defectos o porosidad dispersa.
- Grupo 2: inclusiones de escoria o mordeduras.
- Grupo 3: Falta de penetración.
- Grupo 4: Falta de fusión.
- Grupo 5: Grietas.

5.7 Método de Ensayos no Destructivos a las uniones soldadas

Tanto en la soldadura manual como en la automática y cualquiera que sea el procedimiento que se haya empleado para realizarla, se pueden producir defectos o heterogeneidades, cuya posible presencia en la unión soldada aconseja que esta sea inspeccionada. Los Métodos de Ensayos no Destructivos, en su aplicación a las uniones soldadas, tienen como misión fundamental poner de manifiesto, por métodos físicos, aquellos defectos, internos o externos, que no pueden ser observados directamente. Si bien cada

uno de los métodos tiene su campo de aplicación, no es menos cierto que presentan ciertas limitaciones que terminan la necesidad, en muchos casos, de tener que recurrir al empleo de más de uno de ellos para poder efectuar un examen completo de una determinada unión soldada y alcanzar un conocimiento exacto de los defectos que en ella puedan encontrarse. Las limitaciones del método de que se trate para la obtención de una información o indicación propia depende de:

- Su naturaleza.
- Su morfología.
- Su orientación y tamaño.
- Su situación en la unión.
- El espesor de la unión.
- La técnica operatoria.

Cada uno de los métodos de ensayo no destructivo tiene su forma propia de proporcionar la información o indicaciones de los defectos que con cada uno de ellos es posible detectar. Sin embargo, todos ellos tienen una característica común y es la de seguir procedimientos que podrían denominarse indirectos, ya que proporcionan la información buscada a través de cualquier propiedad relacionada con ella. Así, por ejemplo, los métodos radiográficos dan su información en forma de imagen radiográfica de las heterogeneidades o defectos presentes en el objeto radiografiado; en el examen por ultrasonidos la indicación en un oscilograma en la pantalla de un tubo de rayos catódicos; los métodos magnéticos proporcionan su información en función de las modificaciones de las líneas de campo magnético como consecuencia de los defectos presentes en la pieza que se examina y, por último el método de líquidos penetrantes proporcionan, como consecuencia de fenómenos de capilaridad, una ampliación de los defectos que afloran a la superficie de observación.

5.8 Símbolos para indicar pruebas no destructivas

Los símbolos para pruebas no destructivas, ilustran la forma y el lugar que han de probarse las soldaduras terminadas sin que sufran daño alguno, para asegurarse de que son correctas.

El símbolo completo, está formado por la línea de referencia con flecha, los símbolos básicos de pruebas, el símbolo de probar todo alrededor, el número de pruebas (N), y la cola, con el alcance o grado al que se ha de hacer la prueba, la especificación, el proceso u otras referencias. La flecha une la línea de referencia con la parte que ha de probarse. El lado de la parte que ha de probarse, la cual apunta la flecha, se considera como el lado de la flecha. Al lado contrario simplemente se le llama el otro lado. En la figura N°27, se ilustra el símbolo completo para pruebas no destructivas. La localización de la abreviatura para las pruebas no destructivas a que se somete la unión soldada se muestra en la figura N°28.

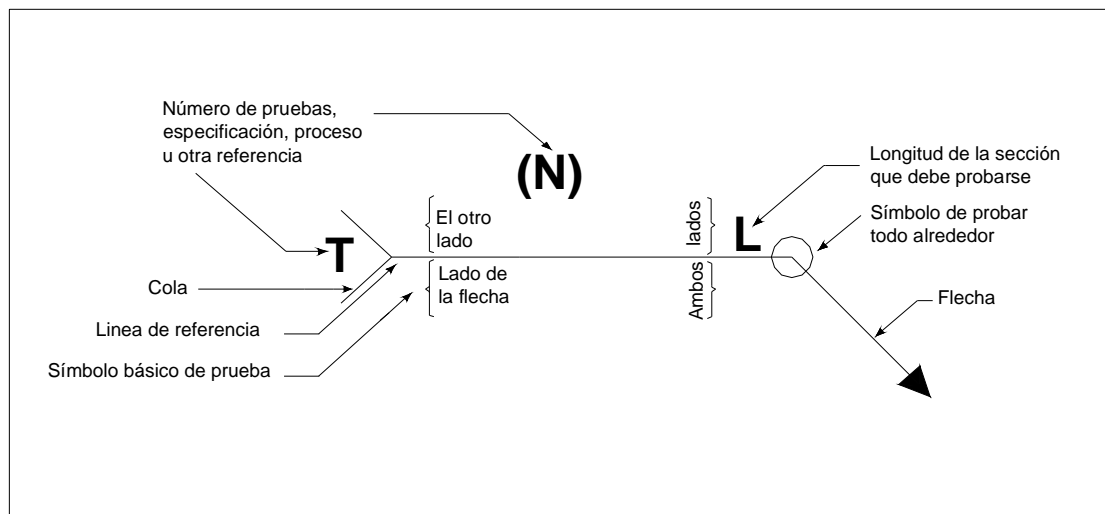


Figura N°27. - Símbolo completo de pruebas. (Redibujado de SOLDADURA, APLICACIONES Y PRÁCTICAS, Henry Horwitz, ed., 1997, Capítulo 3, Pág. 28).

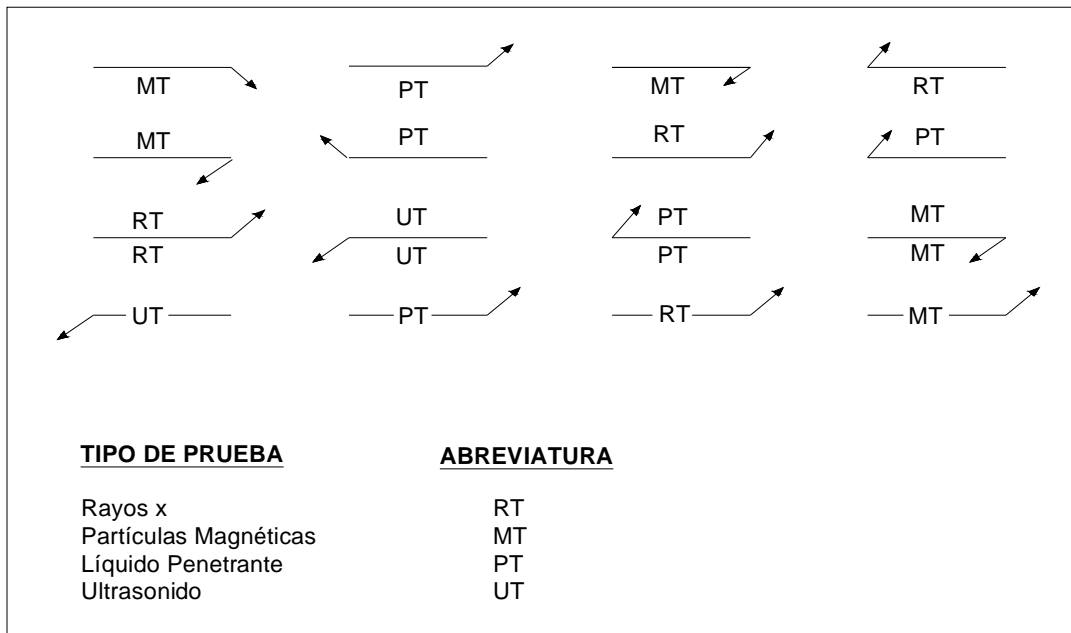


Figura N°28. - Localización de las abreviaturas de pruebas sobre la línea de referencia. (Redibujado de SOLDADURA, APLICACIONES Y PRÁCTICAS, Henry Horwitz, ed., 1997, Capítulo 3, Pág. 46).

CAPITULO VI EVALUACIÓN DE COSTOS DE SOLDADURA

6.1 Generalidades del costo de soldadura

La evaluación de costos de soldadura podría resultar muy complicada para un individuo que sólo utiliza el proceso, puesto que las ecuaciones matemáticas contienen muchas variables de desconocimiento para este. Sin embargo, para cualquier trabajo con soldadura es necesaria o recomendable una evaluación de costos. Hay varias razones, se mencionan algunas:

- Proporcionar los datos necesarios para la realización de un determinado trabajo.
- Se pueden incorporar cambios en los procedimientos.
- Comparar ventajas económicas entre un proceso u otro.
- Competitividad en el rubro de soldadura.

A pesar de las técnicas para determinar y estimar los costos de soldadura son seguros, y se han probado en la práctica, los resultados de cualquier análisis solo serán buenos, dependiendo de la inserción de los datos que correspondan en cada caso.

Refiriéndose a los datos que se usarán, algunos dependerán del factor humano y otros de las prácticas de contabilidad de la empresa. Ahora cuando se asignan cifras poco reales, por ejemplo: factor operativo, velocidad de avance de la soldadura, entre otros los resultados no serán reales. Es responsabilidad de la persona que realiza los costos de soldadura verificar la validez de los datos, antes de aplicarlos.

6.2 Variables que determinan los costos de soldadura

Antes de realizar cualquier procedimiento de costos, es necesario incorporar todas las variables posibles existentes en el proceso. Se realiza una operación a través de soldadura, suponiendo que las partes a soldar están dimensionadas en forma correcta, las variables que se podrían asumir como costos al proceso de fabricación serán:

- Tiempo de preparación de la junta.
- Tiempo para colocar los elementos auxiliares.
- Tiempo para apuntalar o fijar.
- Tiempo para soldar.
- Tiempo de cambio de electrodo, cambio de escena, ubicación.
- Tiempo muerto (ocupado por el personal para objetivos particulares).
- Tiempo para la limpieza.
- Tiempo para remover los elementos auxiliares.
- Tiempo para aliviar el estrés.
- Costos de los electrodos.
- Costos de los materiales de protección.
- Costo de la energía eléctrica.
- Costo de gastos generales fijos.

Se pueden considerar todas estas variables o sólo algunas de ellas, dependerá de usted o del criterio de la empresa. Es necesario acotar que la experiencia de utilizar personal sólo para la preparación del material, ubicar y fijar las partes a soldar a dado como resultado que el factor operativo y los costos del proceso a soldar resulten muy favorables.

6.3 Factor operativo

El factor operativo representa un porcentaje entre la razón del tiempo de arco y el tiempo total, tal como se expresa en la ecuación (6.1). (THE PRODUCE HANDBOOK OF ARC WELDING, Pág. 12. 1 – 3)

$$\text{Factor operativo} = \frac{\text{Tiempo de arco}}{\text{Tiempo total}} \quad (6.1)$$

Como ya se vio, hay variables de tiempos adicionales además de sólo unir la pieza; por lo tanto, el tiempo necesario para preparar la unión más el tiempo ocupado en soldar será estimado como el tiempo total. Es uno de los

factores básicos más importantes en el costo de soldadura y debe determinarse en forma precisa para entregar resultados reales de costo. La figura N°29, muestra un gráfico en función del tiempo de arco v/s tiempo de desocupación, en donde teniendo estos dos tiempos se puede obtener rápidamente el factor operativo.

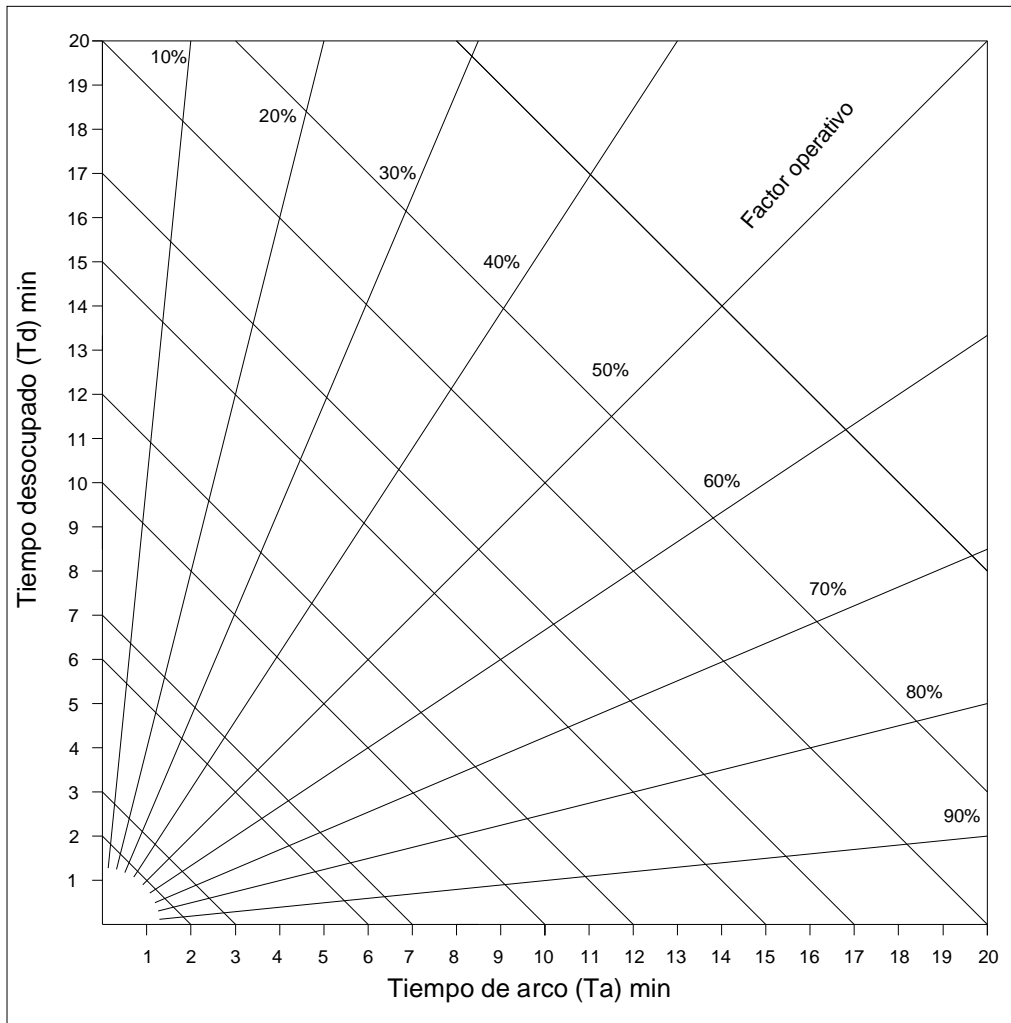


Figura N°29. – Representación del factor operativo en función del tiempo de arco y tiempo desocupado. (BRANT CELASO, ARTURO, Estimación de costos de soldadura con auxilio de software E.C.S., Pág. 28)

En la figura N° 30, se muestra un ejemplo donde el soldador debe realizar uniones en cañería de 2 pulgadas de diámetro, dos de estas en posición horizontal (2G) y cuatro en posición vertical (5G). Los tiempos de desocupación utilizados en este ejemplo son extraídos de manera real en un

ejercicio realizado en terreno, por lo tanto, no representan valores estimativos ya que pueden variar dependiendo de las condiciones de trabajo.

Las uniones analizadas serán 1 y 3, para ello se realiza un estudio de los tiempos a los siguientes pasos:

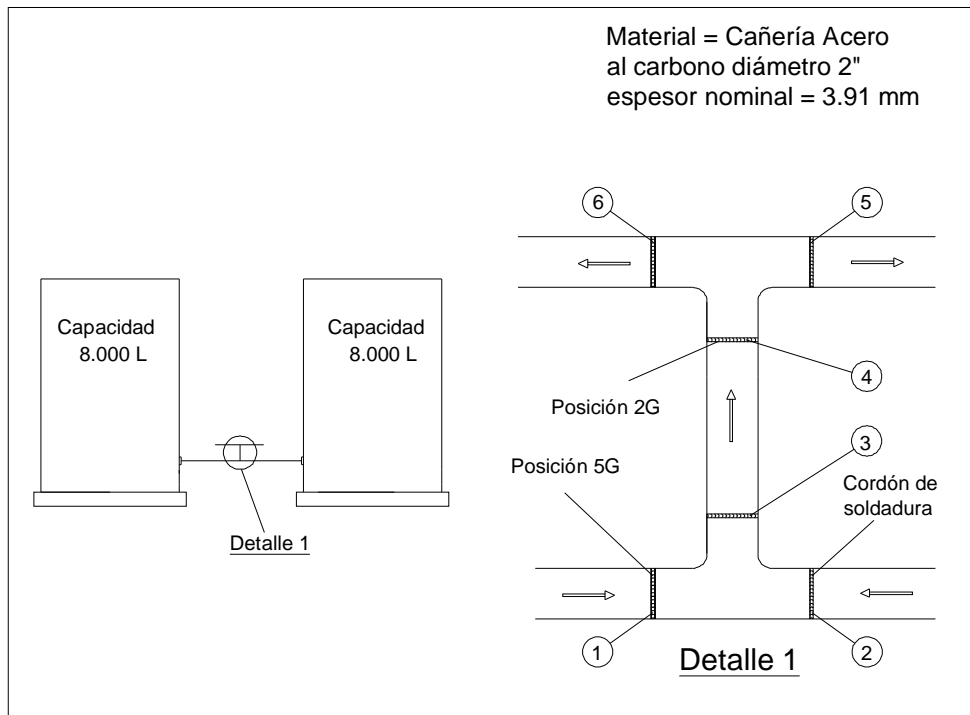


Figura N°30. – Ejemplo de aplicación gráfico factor operativo.

1. Dimensionado: Consta en trazar tres veces 1500 mm rotando la cañería 90° aprox., posterior a esto se coloca un anillo alrededor de esta haciendo coincidir los puntos ya medidos; después se dibuja una línea y se procede a realizar el corte de la pieza. Tiempo ocupado 5 minutos.

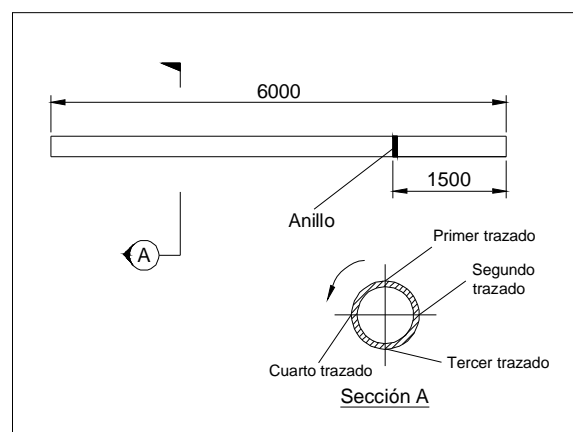


Figura N°31.-Dimensionado

2. Fabricación bisel: Para este caso se fabrica un bisel de 45° aprox., para ambos lados. Tiempo ocupado 8 minutos.

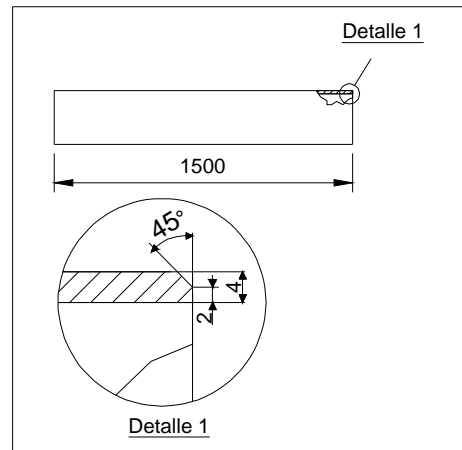


Figura N°32.- Esquema tipo de bisel.

3. Apuntalar: se presentan las piezas cañería v/s Te de conexión, se realiza la nivelación y empalme. Tiempo ocupado 12 minutos.

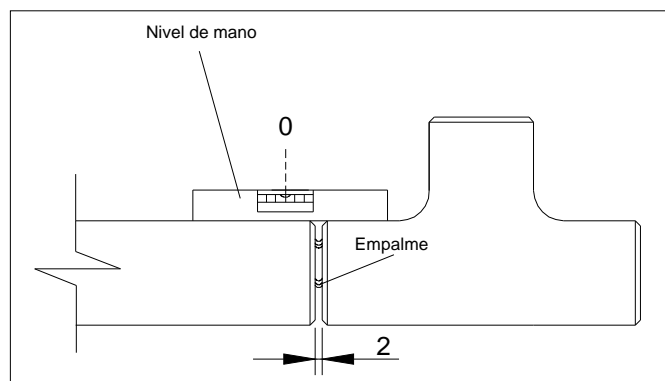


Figura N°33.- Apuntalado o fijación cañería v/s Te de conexión.

4. Soldadura: Tiempo ocupado 18 minutos.

Se tiene que la sumatoria de los tiempos de desocupación es de 25 minutos y el tiempo de arco es de 18 minutos.

Si se observa el gráfico de la figura N° 29, se aprecia que la ordenada tiene como valor máximo 20 minutos, por lo tanto, para demostrar el resultado del ejemplo propuesto se aumenta la graduación del tiempo desocupado y tiempo de arco a 30 minutos. El gráfico de la figura N° 34 muestra el punto de

intersección entre el tiempo desocupado y el tiempo de arco, entregando un porcentaje aproximado de 42%, valor que representa el factor operativo de la unión 1 de la figura N°30. Ahora para la unión 3, se mantiene el tiempo desocupado y varia el tiempo de arco a 24 minutos, dando un factor operativo de 49%. El uso de este gráfico resulta útil para uniones de piezas pequeñas. Ver figura N°34.

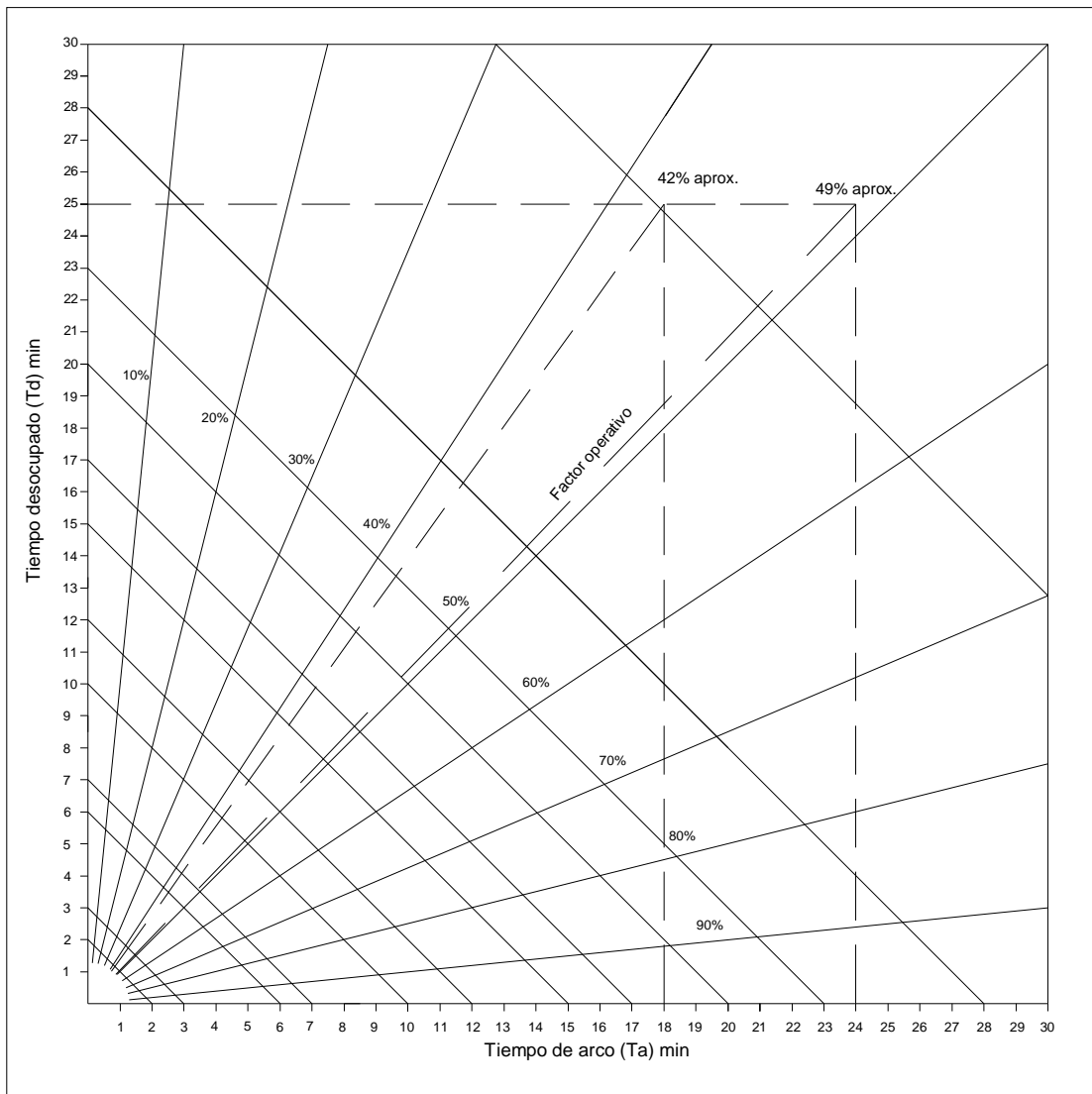


Figura N°34.-Valores de factor operativo para uniones 1 y 3 mostradas en figura N°30.

6.4 Procedimiento básico para evaluar costo de soldadura

Es lógico también emplear factores básicos que componen el costo total de soldar, estos son:

- Costos de mano de obra (CMO).
- Gastos generales (GG).
- Costos de los materiales consumibles (electrodos, cables, electricidad, etc.) (CMC).
- Costos de energía.

Por lo tanto, el costo total de soldadura puede ser expresado a través de la ecuación (6.2) de la siguiente manera:

$$CT = CMO + GG + CMC + E \quad (6.2)$$

CT = Costo Total.

CMO = Costo Mano de Obra.

GG = Gastos Generales.

CMC = Costo Material Consumible.

E = Energía Eléctrica Consumida.

(BRANT CELASO, ARTURO, Estimación de costos de soldadura con auxilio de software E.C.S., Pág. 29)

Para todos los procesos de soldadura por fusión, puede ser considerado aproximadamente como 4,0 kw hr/kg.

6.5 Costo mano de obra

El costo de mano de obra, representa la proporción más significativa del costo total en soldadura.

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

El diseño de la unión decide la cantidad de soldadura requerida y la cantidad de energía que se debe emplear al soldar. Sin embargo, los dos

principales ítems que controlan los costos de mano de obra son velocidad de deposición y factor de operación.

La **velocidad de deposición** se define en la ecuación (6.3) como, la cantidad de metal de aporte depositado por unidad de tiempo y, esta cantidad depende en gran parte de la corriente que se aplique; a mayor corriente aumenta la velocidad de fusión, por tanto, aumenta la velocidad de deposición (ver figura N°35). La velocidad de deposición se puede calcular midiendo el peso de metal depositado y el tiempo de arco respectivo.

$$Mh = \frac{WW}{T} \quad (6.3)$$

- Mh = Velocidad de Deposición, kg/h.
 WW = Peso de metal Depositado, kg/m.
 T = l_m / M =Tiempo Arco, min/electrodo.
 l_m = Largo del electrodo fundido, mm.
 M = Velocidad de avance, mm/min.

(THE PRODUCE HANDBOOK OF ARC WELDING, Pág. 12. 1 – 8)

Los costos de mano de obra y gastos generales fijos, se pueden obtener directamente de los registros de los costos de la mano de obra multiplicada por el porcentaje de gastos generales fijos atribuibles al proceso de soldadura.

El factor operativo será establecido por experiencia, registros o un estudio de los tiempos; sólo la velocidad de avance es probable que sea desconocida en el momento en que se intente el cálculo. Sin embargo para obtenerlo se puede optar por uno de los tres métodos siguientes:

- Usando el mismo material, iguales procedimientos, comparando con el mismo tipo de unión.
- Obtener el valor desde un manual, si existen procedimientos comunes para ese tipo de unión.

- Aplicando una soldadura de muestra y así obtener una cifra en metros por hora.

Después de haber calculado el valor para los costos de mano de obra y de gastos generales fijos, se usa la ecuación (6.4), para determinar los “costos de consumo de soldadura”.

6.6 Costos de consumo de soldadura

Estos se determinan a través de la siguiente ecuación:

$$CCS = (C.e.ms * T.ms * $.e) + (M.pr.kg.e * T.kg.e.c * $. M.pt) \quad (6.4)$$

CCS	= Costo de consumo de soldadura.
C.e.ms	= Consumo de electrodos por metro de soldadura.
T.ms	= Total metros de soldadura.
\$. e	= precio de electrodo.
M.pr.kg.e	= Materiales de protección por kilogramo de electrodos.
T.kg.e.c	= Total de kilos de electrodos consumidos.
\$. M.pt	= Precio de materiales de protección.

(THE PRODUCE HANDBOOK OF ARC WELDING, Pág. 12. 1 – 2)

Los metros de soldadura no son problema si están los planos de fabricación o generales de las estructuras a soldar.

Para llegar a una buena aproximación de la cantidad de kilos de electrodos consumidos, se debe considerar que para la soldadura manual el valor estimado para la eficiencia de deposición está entre un 65 a 70%. Realizando un paréntesis con respecto a las pérdidas se puede decir que estas son producidas por las siguientes razones:

- Colillas
- Escoria
- Salpicaduras
- Protección gaseosa

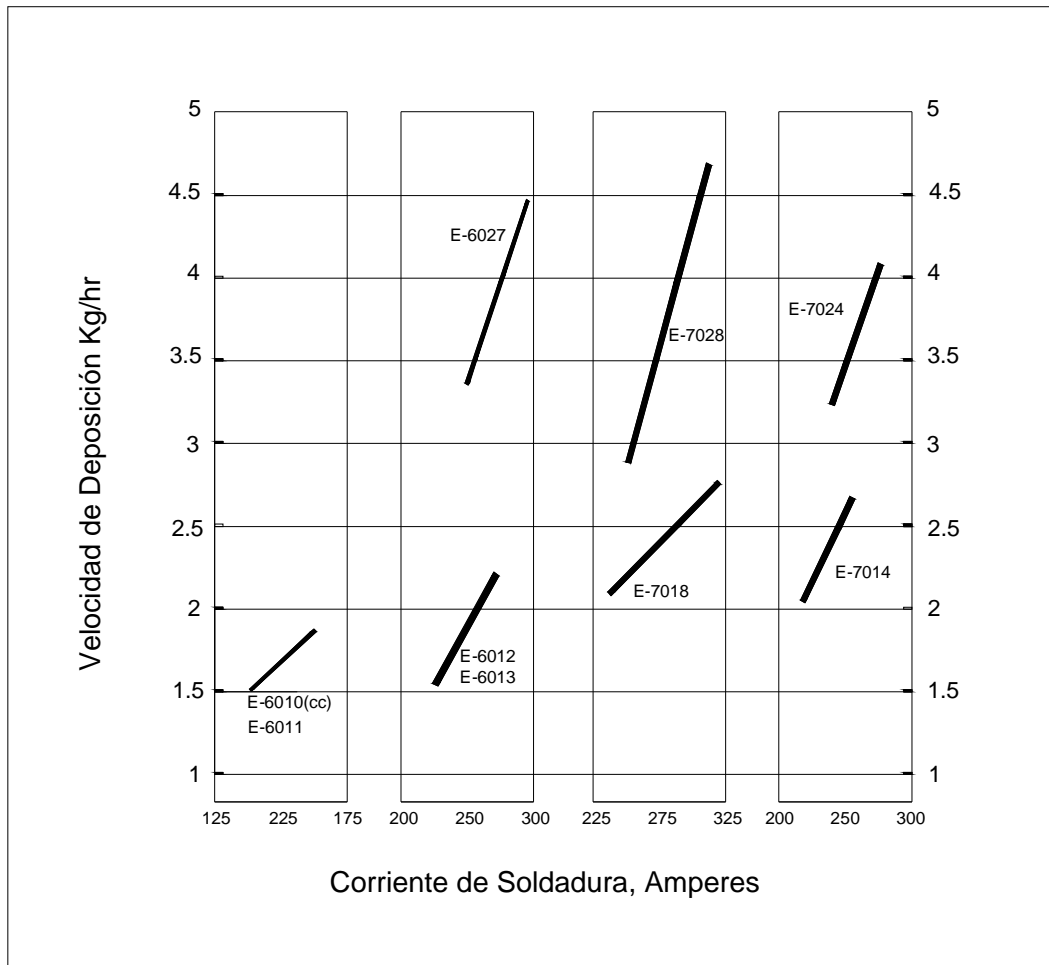


Figura N°35. - Relación entre tasa de deposición y corriente de soldadura para diversos tipos de electrodos de acero al carbono de 4.8 mm (3/16) de diámetro. (AMERICAN WELDING SOCIETY, Manual de soldadura, Tomo I, Pág. 63)

Haciendo referencia a las pérdidas por colillas, esta dependerá de la posición y las condiciones en las cuales el soldador realiza el trabajo de soldadura.

Las pérdidas por escoria están directamente relacionadas con los espesores de recubrimiento, a mayor espesor, mayor pérdida por escoria.

Las salpicaduras forman parte de lo normal del proceso SMAW, pero si se estas son demasiadas, se puede atribuir a falta de técnica del soldador, un arco largo, electrodos defectuosos, entre otros.

Otro procedimiento básico para evaluar la cantidad de material de aporte, sería a través de figuras geométricas conocidas, simplificando así la obtención

del peso del material depositado. Para esto se dispone de la tabla N°5 a) en unidades del sistema internacional y tabla N°5 b) en unidades del sistema inglés.

Por ejemplo, se necesita aplicar una unión de tipo angular cóncavo, las dimensiones de la unión aparecen en la figura N°36.

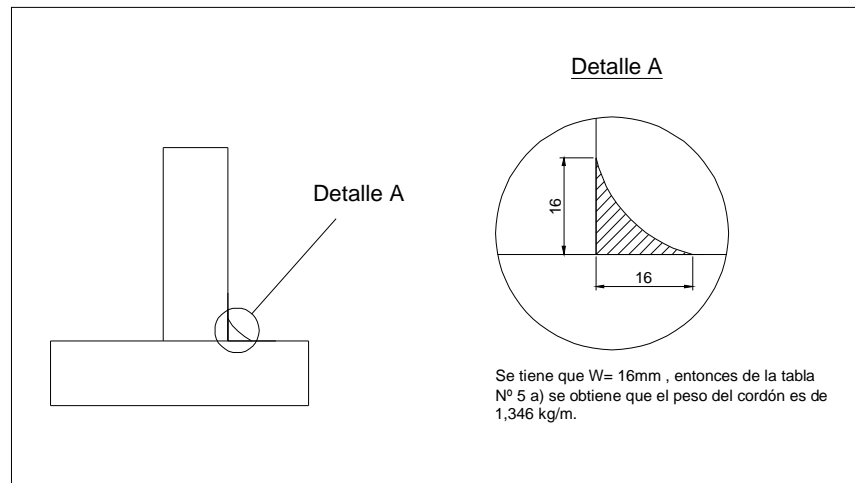


Figura N°36. - Ejemplo ilustrativo para uso de las tablas N°5 a).

De la figura se puede concluir que en el tramo de 1 metro se necesitan $1,346\text{ Kg}$ de material de aporte y como se mencionaba la eficiencia de deposición varía entre 65 y 70% para la soldadura manual, entonces

$$1,346\text{ Kg} / 0,7 = 1,92\text{ Kg}$$

Por lo tanto, se necesita $1,92\text{ Kg} / \text{m}$ de electrodos. Considerando otro ejemplo en donde se puedan combinar figuras geométricas que aparecen en la tabla N°5 a), se supone que se necesita hacer una unión de tipo U soldada por un solo lado, para esto observar la figura N°37.

Como se aprecia la forma de la sección transversal de la soldadura se descompone en áreas geométricas conocidas tales como triángulos, rectángulos, arcos etc..., indicadas por las letras A, B, C y D respectivamente.

Luego es posible a través de la lectura de la tabla N°5 a) obtener el peso de la soldadura por metro lineal.

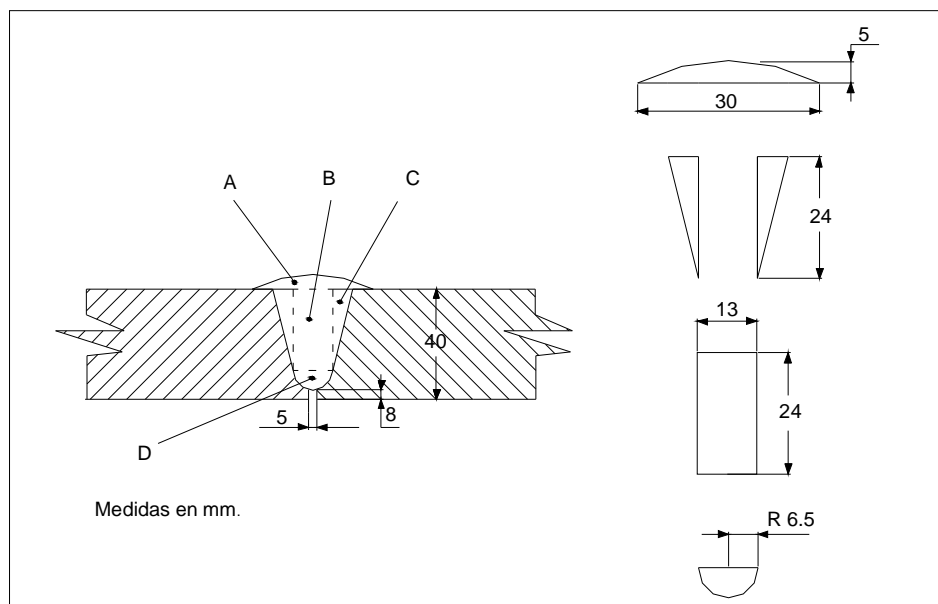
Para A se tiene que $d = 30 \text{ mm}$ y $t = 5 \text{ mm}$, por lo tanto, el trozo de metal de soldadura aportado es de $0,752 \text{ Kg / m}$.

Para B se tiene que $d = 24 \text{ mm}$ y $t = 13 \text{ mm}$, por lo tanto, el trozo de soldadura aportado es de $2,367 \text{ Kg / m}$.

Para C se tiene que $d = 24 \text{ mm}$ y tomando un ángulo de 20° , por lo tanto, el trozo de soldadura aportado es de $0,784 \text{ Kg / m}$.

Para D se tiene que $R = 6,5 \text{ mm}$, por lo tanto, el material de soldadura aportado es de $0,497 \text{ Kg / m}$.

Ahora si se realiza la suma se tiene que el cordón pesa $4,4 \text{ Kg / m}$. Esto quiere decir, que se requiere aproximadamente $6,8 \text{ Kg/m}$ de electrodos, considerando una eficiencia de deposición de un 65% . Este método además de determinar la cantidad de electrodos requerido por metro de soldadura, también es útil para calcular la cantidad de electrodos que se deban adquirir para un trabajo.



F

Figura N°37. - Ejemplo en donde se utilizan más de una figura geométrica para evaluar costos de soldadura.

6.7 Velocidad de avance

La velocidad de avance se puede determinar a través de la velocidad de deposición, tal como aparece en la ecuación (6.5) si se conoce el peso del metal depositado.

$$M = \frac{Mh * N * le}{6000} \quad (6.5)$$

- M = Velocidad de Avance, mm/min.
 Mh = Velocidad de Deposición, Kg/h.
 N = Número de electrodos por 100 kilos.
 le = Largo electrodo, mm.

(BRANT CELASO, ARTURO, Estimación de costos de soldadura con auxilio de software E.C.S., Pág. 46)

6.7.1 Peso de electrodos requeridos

Es la cantidad de electrodos requerida para completar una unión soldada. Es mayor que el Peso del Metal Depositado, debido a las pérdidas y se puede calcular a través de la ecuación (6.6).

$$WE = \frac{WW}{ED} \quad (6.6)$$

- WE = Peso Electrodos Requeridos, Kg/m.
 WW = Peso Metal Depositado, Kg/m.
 ED = Eficiencia de Deposición, %

(THE PRODUCE HANDBOOK OF ARC WELDING, Pág. 12. 1 – 5)

6.8 Área de sección transversal (AST)

Cada diseño de unión tiene un área de sección transversal, que puede ser determinada por cálculos de geometría. En la figura N°37, se muestra dos ejemplos clásicos utilizados en la práctica con sus respectivas ecuaciones (6.7) y (6.8).

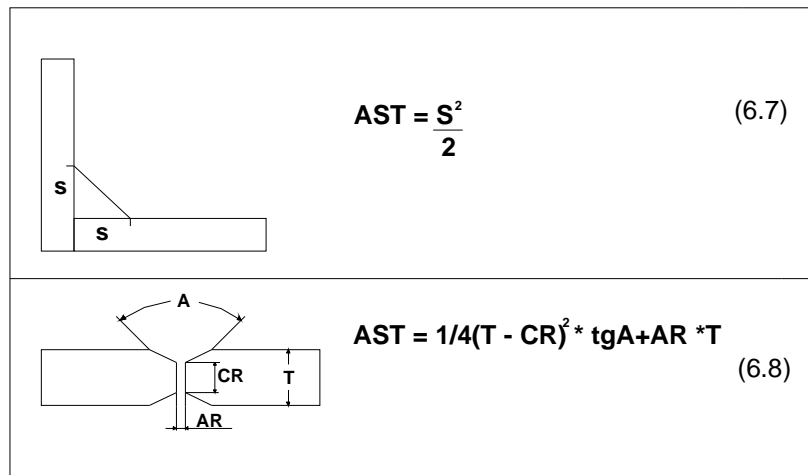


Figura N°38. - Área transversal para soldadura tipo filete y tipo doble v.
(file:///F:/Soldadura,%20%E9cnicas/Dise%F1o.htm)

CONCLUSIONES

Con respecto al siguiente trabajo de tesis se puede concluir que:

Al momento de elegir un proceso, cualquiera sea este, el argumento principal que lleva a tomar una decisión y elegir entre un proceso u otro es el costo involucrado. Es por esta razón de bajo costo, acompañado de la simpleza de los elementos o equipo, que el proceso de soldadura al arco de metal protegido (SMAW) es el más usado a través del mundo.

La intervención directa del hombre produce, que los métodos de inspección y las inspecciones de las piezas nuevas o de su desempeño en servicio, sean mejorados a través del tiempo, aumentando aspectos de calidad, confiabilidad y seguridad.

La gran cantidad de aleaciones de acero, conduce a la creación de diferentes tipos de electrodos. El núcleo puede ser el mismo en varios tipos de electrodos, debido a esto es que los fabricantes se concentran en mejorar los recubrimientos, debido a que estos en gran parte definen las propiedades mecánicas de las uniones soldadas.

Para obtener buenos resultados de las uniones soldadas, es necesario contratar personal calificado. El hecho de que el proceso SMAW sea de bajo costo y, de fácil adquisición del equipo, implica que exista mucha gente aficionada y, esto puede inducir a una mala forma de reducir costos a la hora de contratar el personal para la realización de las soldaduras.

Si el proyectista decide que las soldaduras serán realizadas en terreno, debe estimar las condiciones climáticas. Los cambios bruscos de temperatura, producen que las uniones soldadas se cristalicen y aumenten los esfuerzos de tensión, quedando una unión frágil y con pocas posibilidades de resistir impactos y distorsión. Sin embargo la cristalización puede ser reducida aplicando un tratamiento térmico a la unión.

Es de importancia que cada vez que el soldador es contratado realice una prueba de calificación, de esta manera se asegura un buen desempeño y el prestigio de la empresa responsable de las uniones soldadas.

La práctica continuada del soldador es fundamental, ya que le permite la posibilidad de mejorar su técnica y además elegir el electrodo adecuado para las uniones; el uso de diferentes marcas o tipos de máquinas de soldar capacita al soldador para participar en la elección de unidades eléctricas confiables que cumplan los requerimientos de trabajo; las condiciones para la aplicación de la soldadura no siempre son las más apropiadas, sin embargo, el soldador debe buscar la solución para unir las piezas, por lo tanto, este individuo se convierte en un experto del proceso en terreno.

Los procedimientos operativos e instructivos, son guía para una correcta ejecución de los trabajos, por lo tanto, debe contener información necesaria y considerar las recomendaciones entregadas en los códigos que hacen referencia al proceso de soldadura manual.

El factor humano cumple un rol de vital importancia en la reducción de costos, es por eso que es recomendable que los trabajos de soldadura sean realizados por personal calificado.

El uso de un software para evaluación de costos de soldadura, simplifica, resultando más eficaz el análisis de estos, ya que permite calcular en forma más detallada y comparar distintos procesos para determinar el más económico, además se pueden observar con mayor claridad los efectos producidos al variar determinados parámetros del proceso.

El profesional a cargo de los trabajos de soldaduras debe tener los conocimientos esenciales para la ejecución de estos, debe estar capacitado para crear los procedimientos necesarios y dar las instrucciones precisas, debido a que el proceso de soldadura al arco es lento y podría llegar a ser muy costoso en el caso de que los trabajos queden mal ejecutados.

Bibliografía

1. HENRY HORWITZ, P.E., Soldadura, aplicaciones y prácticas, DUTCHESS 1997, Pág. 2 – 5, 26 – 28, 53, 119, 682 – 721.
2. AMERICAN WELDING SOCIETY, Manual de soldadura, Prentice – Hall Hispano Americana, S.A.1996, Tomo I, Pág. 2 – 33, 44 – 70.
3. BRANT CELASO, ARTURO, Tesis: Estimación de costos de soldadura con auxilio de software E.C.S. 1996, Pág. 22 – 42, 45 – 47.
4. NELSON GARCIA M. y CLAUDIO BASTIDAS C., Introducción a las Normas Chilenas de Dibujo Técnico 1996, Pág. 62 – 75.
5. HECTOR SARATIEL ESCOBAR D., Tesis: Calificación de Procedimientos y certificación de soldadores 1996, Pág. 1 – 8.
6. GUERRERO SALGADO, VICTOR N., Código Para Calderas y Recipientes a Presión, Sección IX (parcializada), Padrones para la Calificación de los Procedimientos de Soldadura – Soldadores y Operadores de Soldadura, Parte QW, Edición 1995, Pág. 2 – 65.
7. NICOLAS LARBURU ARRIZABALAGA, Máquinas Y Herramientas, Prontuario, Descripción y Clasificación, Editorial Paraninfo 1994, Pág. 86 – 96.
8. P.T. HOULDCROFT, Tecnología de los procesos de soldadura, Barcelona: CEAC 1990, Pág. 9, 344 – 358.
9. JAMES A. PENDER, Soldadura, Segunda edición, Mc – Graw - Hill 1984, Pág. 1 – 2, 10 – 13, 68 – 69, 74 – 76, 122 – 140.

10. SOLDADURAS, Profesor: ZOSIMO GARCIA MARTÍN, Catedrático del grupo XXII "Soldadura " 1983, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, VOLUMEN I, capítulo 1, Pág. 1 – 11, VOLUMEN II, capítulo 16, Pág. 1 – 16, capítulo 18, Pág. 5 – 14, capítulo 19, Pág. 4 – 9, capítulo 20, Pág. 8 – 12.
11. RUIZ RUBIO, A., Aplicación de los Métodos de Ensayo No Destructivos al Examen de las Uniones Soldadas, Edición 1980, Pág. 3 – 7, 113 – 129.
12. THE PRODUCE HANDBOOK OF ARC WELDING, The Lincoln Electric Company Cleveland, Ohio 1973, Pág. 1. 3 – 1 a 1. 3 – 4, 6. 2 – 24 a 6. 2 – 54, 12. 1 – 2 a 12. 1 – 8.
13. HARMER E. DAVIS GEORGE EARL TROXELL, CLEMENT T. WISKOCIL, Ensaye e inspección de los materiales en Ingeniería, México: Continental, 3º impresión 1966, Pág. 21 – 39.
14. MANUAL DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE ACERO, Instituto Chileno del Acero 1959, Pág. 7 – 19.
16. ACERIND D.S.C., Soldadura de los aceros inoxidables, Sección II: Para en Ingeniero de Materiales, Pág. 18 – 29.
17. ACERIND D.S.C., Soldadura de los aceros inoxidables, Sección II: Para en Ingeniero de Diseño, Pág. 31 – 36.

18. INDURA, Sistemas integrales para soldar y cortar, Catalogo general de productos y servicios, Santiago: INDURA, s.f., Pág. 7 – 15, 34 – 62.
19. INDURA, Manual Indura _ soldadura, Pág. 8 – 73, 118.
20. <http://www.indura.cl/informaciontecnica.htm>
21. http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_494.htm
22. (<file:///F:/Soldadura,%20t%E9cnicas/Dise%F1o.htm>)
23. http://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura_manual_de_metal_por_arco
24. <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/Defectosm6.htm>

ANEXOS

Anexo N°1 – Tabla 1

Electrodos convencionales, INDURA, Manual de Indura,
www.indura.cl

Anexo N°2 – Tabla 2

Electrodos de bajo hidrógeno, INDURA, Manual de Indura,
www.indura.cl

Anexo N°3 – Tabla 3

Condiciones de almacenamiento, mantención y resecado de
electrodo, INDURA, Manual de Indura, www.indura.cl

Anexo N°4 – Tabla 4

Temperatura de precalentamiento para diferentes aceros,
INDURA, Manual de Indura, www.indura.cl

Anexo N°5 – Tabla 5a) y 5b)

Determinación del peso del metal de soldadura (kg/m) de unión,
BRANT CELASO, ARTURO, Estimación de costos de soldadura 1996.

(continuación)Tabla 1.- Electrodo convencionales: Electrodo recubiertos para soldar aceros al carbono.

CLASIFICACION (AWS)	USOS Y CARACTERISTICAS	RESISTENCIA. TENSION	LIMITE ELASTICO	ELONGACION	CORRIENTES OPTIMAS DE APLICACIÓN						TIPO DE CORRIENTE
					3/32	1/8	5/32	3/16	7/32	1/4	
6010 (E6010) A5.1	Electrodo celulósico de penetración profunda en todas posiciones, calidad rayos X, se usa en trabajos estructurales, reparaciones y uniones de tuberías.	RT = 71,000 LB/PUL2	LE= 62,000 LB/PUL2	E=24%	60	105	155	190			CD (+)
6010P (E6010) A5.1	Electrodo celulósico diseñado para obtener la más alta penetración en soldadura de tubería y recipientes sometidos a alta presión con calidad radiográfica.	RT= 77,000 LB/PUL2	LE= 65,000 LB/PUL2	E=23%	60	105	155	190			CD (+)
6011 (E6011) A5.1	Electrodo celulósico de arco fuerte y penetración profunda suelda con corriente alterna, y corriente directa, en todas posiciones se usa en trabajos estructurales, tuberías, barcos y reparaciones.	RT= 73,500 LB/PUL2	LE= 60,000 LB/PUL2	E= 24%	75	105	145	175	200	245	
6012 (E 6012) A 5.1	Electrodo que suelda a más altas corrientes que los celulósicos en todas posiciones, suelda chasis, tanques, trailers, maquinaria agrícola y partes de autos.	RT= 71,500 LB/PUL2	LE= 61,500 LB/PUL2	E=24%		125	180	260		350	CD(-), CA
6013 (E6013) A5.1	Electrodo de alto rendimiento de fácil aplicación y remoción de escoria, suelda maquinaria agrícola , muebles metálicos, carrocerías y reparaciones generales.	RT= 74,000 LB/PUL2	LE=63,500 LB/PUL2	E=22%	75	130	170	210		320	CD(-), CA

(continuación)Tabla 1.- Electrodo convencionales: Electrodo recubiertos para soldar aceros al carbono.

CLASIFICACION (AWS)	USOS Y CARACTERISTICAS	RESISTENCIA. TENSION	LIMITE ELASTICO	ELONGACION	CORRIENTES OPTIMAS DE APLICACIÓN						TIPO DE CORRIENTE
					3/32	1/8	5/32	3/16	7/32	1/4	
7013	Electrodo rutilico de bajo salpique sin socavados y de fácil remoción de escoria, depósito terso, por lo que se recomienda como pasada final por su excelente presentación.	RT= 74,000 LB/PUL2	LE=62,000 LB/PUL2	E=24%	85	135	170	200		300	CD(-), CA
7014 (E7014) A5.1	Electrodo para todas posiciones con recubrimiento de polvo de hierro que produce altas velocidades de deposición y eficiencia y fácil remoción de escoria.	RT= 73,000 LB/PUL2	LE=61,000 LB/PUL2	E=25%	85	85	180	250		375	CD, CA
7024 (E7024) A5.1	Electrodo para soldar en plano y horizontal de alta tasa de deposición y grueso revestimiento de polvo de hierro, produce excelentes filetes y propiedades mecánicas.	RT= 80,000 LB/PUL2	LE=72,000 LB/PUL2	E=24%		160	210	270		375	CD, CA

(continuación)Tabla 2.- **Electrodos de bajo hidrógeno** : Electrodo recubiertos bajo hidrógeno, baja aleación para soldar acero de baja aleación y alta resistencia.

CLASIFICACION (AWS)	USOS Y CARACTERISTICAS	RESISTENCIA. TENSION	LIMITE ELASTICO	ELONGA- CION	ANALISIS QUIMICO TIPICO						CORRIENTES OPTIMAS		
					C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	3/32	1/8	5/32
7018 (E7018) A5.1	Electrodo bajo hidrógeno y polvo de hierro, para todas posiciones, suelda aceros difíciles partes de maquinaria pesada, aceros fundidos, aceros "laminados en frío" y partes para calderas.	RT= 78,000 LB/PUL2	LE=68,000 LB/PUL2	E=30%	0.06	1.1	0.40				90	140	170
7018-1 (E7018-1) A5.1	Electrodos con propiedades de impacto excelentes, excediendo los límites de AWS obteniendo 20 IES-LB a 50°F	RT= 80,000 LB/PUL2	LE=69,000 LB/PUL2	E=30%	0.07	1.4	0.40				90	140	170
7018-A1 (E7018-A1) A5.5	Electrodo con 0.5% de Molibdeno, se aplica en aceros al carbón - Molibdeno en calderas, recipientes a presión y tuberías a presión.	RT= 87,000 LB/PUL2	LE=75,000 LB/PUL2	E=31%	0.05	0.75	0.56		0.53		90	140	170
8018-B2 (E8018-B2) A5.5	Para aplicaciones a altas temperaturas, suelda aceros Cromo - Molibdeno. Se usa en calderas y tuberías de plantas eléctricas.	RT= 94,000 LB/PUL2	LE=81,000 LB/PUL2	E=25%	0.05	0.80	0.60	1.24		0.49	90	140	170

(continuación)Tabla 2.- Electrodo de bajo hidrógeno : Electrodo recubierto bajo hidrógeno, baja aleación para soldar acero de baja aleación y alta resistencia.

CLASIFICACION (AWS)	USOS Y CARACTERISTICAS	RESISTENCIA. TENSION	LIMITE ELASTICO	ELONGA- CION	ANALISIS QUIMICO TIPICO						CORRI ENTE		
					C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	3/32	1/8	5/32
8018-C1 (E8018-C1) A5.5	Soldadura resistente a bajas temperaturas, cumple con los requerimientos de AWS para valores de impacto a -75°F. Proporciona 21/2 NI en el metal soldado.	RT= 88,000 LB/PUL2	LE=77,000 LB/PUL2	E=30%	0.04	1.1	0.35		2.3		90	140	170
8018-C2 (E8018-C2) A5.5	Para soldar aceros entre 2 Y 4% NI, proporciona excelentes valores de impacto.	RT= 94,000 LB/PUL2	LE=83,000 LB/PUL2	E=25%	0.05	1.1			0.37	3.3	90	140	170
8018-C3 (E8018-C3) A5.5	Se usa principalmente para soldar aceros de alta resistencia, especialmente donde la tenacidad y la resistencia al impacto a -40°F son requeridos.	RT= 84,000 LB/PUL2	LE=73,500 LB/PUL2	E=30%	0.05	1.06	0.40			1.04	90	140	170
9018-M (E9018-M) A5.5	Suelda aceros tipo Manganeso-Molibdeno, para alta resistencia, templados y revenidos.	RT= 97,000 LB/PUL2	LE=85,000 LB/PUL2	E=28%	0.05	1.11	0.32		1.72	0.28	90	140	170

(continuación)Tabla 2.- Electrodo de bajo hidrógeno : Electrodo recubiertos bajo hidrógeno, baja aleación para soldar acero de baja aleación y alta resistencia.

CLASIFICACION (AWS)	USOS Y CARACTERISTICAS	RESISTENCIA. TENSION	LIMITE ELASTICO	ELONGA- CION	ANALISIS QUIMICO TIPICO						CORRI ENTE		
					C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	3/32	1/8	5/32
9018-B3 (E9018-B3) A5.5	Electrodos para aceros 21/2 Cr-1 Mo Nominal para servicios a altas temperaturas en plantas de energía eléctrica, calentadores contenedores de presión y tuberías a altas temperaturas.	RT= 102,000 LB/PUL2	LE=88,000 LB/PUL2	E=25%	0.07	0.75	0.60	2.2		1.05	90	140	170
10018-D2 (E10018-D2) A5.5	Se usa principalmente en la fabricación de piezas fundidas y planchas blindadas, suelda aceros al Manganeso - Molibdeno que requiere 100,000 Lbs. De resistencia a la tensión.	RT= 102,000 LB/PUL2	LE=89,000 LB/PUL2	E=25%	0.09	1.85	0.50			0.35	90	140	170
10018-M (E10018-M) A5.5	Se usa principalmente para aplicaciones militares con buenos resultados de resistencia a las fracturas y altos valores de impacto.	RT= 103,000 LB/PUL2	LE=96,000 LB/PUL2	E=24%	0.05	1.50	0.40		1.7		90	140	170
11018-M (E11018-M) A5.5	Se usa para soldar aceros T-1 en todas aplicaciones se obtiene excelentes propiedades como queda la soldadura y con relevo de esfuerzos.	RT= 115,000 LB/PUL2	LE=103,000 LB/PUL2	E=26%	0.05	1.50	0.40	0.30	1.75	.30	90	140	170

(continuación)Tabla 2.- Electrodo de bajo hidrógeno : Electrodo recubiertos bajo hidrógeno, baja aleación para soldar acero de baja aleación y alta resistencia.

CLASIFICACION (AWS)	USOS Y CARACTERISTICAS	RESISTENCIA. TENSION	LIMITE ELASTICO	ELONGA- CION	ANALISIS QUIMICO TIPICO						CORRI ENTE		
					C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	3/32	1/8	5/32
12018-M (E12018-M) A5.5	Se recomienda aplicarse en aceros de baja aleación y alta resistencia donde requiera una tensión mínima de 120,000 LBS/PUL2.	RT= 136,000 LB/PUL2	LE=114,000 LB/PUL2	E=22%	0.05	0.05	0.40	0.85	2.0	0.45	90	140	170
4130	Desarrollado para soldar aceros tratables térmicamente 4130 Y 8630, también aceros fundidos con características comparables de endurecimiento, temple al aceite 1600°F y revenida 950°F.	RT= 152,000 LB/PUL2			0.20	1.25	0.40	0.50	1.3	0.20	90	140	170
4340	Especial para placas y piezas vaciadas, suelda aceros tratables térmicamente 4140, 4330 Y 4340, usado también para aplicaciones de la aeronáutica Temple al aceite 1600°F Revenida 950°F	RT= 171,000 LB/PUL2			0.35	0.85	0.50	0.80	1.8	0.25	90	140	170

Tabla 3.- Condiciones de almacenamiento, mantención y resecado de electrodos.

TIPO REVESTIMIENTO ELECTRODO	ACONDICIONAMIENTO DEL DEPOSITO (EN CAJAS CERRADAS)	MANTENCION ELECTRODOS (EN CAJAS ABIERTAS)	REACONDICIONAMIENTO y/o RESECADO
Celulósico	Temperatura ambiente.	No recomendado.	No requiere si han estado bien acondicionados. Por lo general no pueden resecarse sin deteriorar sus características operativas.
Rutílico	Temperatura 15°C más alta que la temperatura ambiente, pero menor de 50°C, a humedad relativa ambiente menor a 50% .	10°C a 20°C sobre la temperatura ambiente.	No requiere si han estado bien acondicionados. Caso contrario resecar 30 a 120 minutos a una temperatura entre 100 a 150°C. Se recomienda asociar la menor temperatura con la mayor cantidad de tiempo. Durante el resecado ensayar en soldadura para comprobar características operativas y así evitar el sobresecado.
Básico Básico (Fe)	Temperatura 20°C más alta que la temperatura ambiente, pero menor de 60°C, a humedad relativa ambiente menor de 50%.	30°C a 140°C sobre la temperatura ambiente.	<p>Si se requiere bajo contenido de hidrógeno en el metal depositado y el electrodo permaneció más de dos horas sin protección especial, resecar 60 a 120 minutos a una temperatura 250 a 400°C. No exceder los 400°C, y si se seca a 250°C hacerlo durante 120 minutos.</p> <p>Si la aplicación de la soldadura es crítica (aceros de alto contenido de carbono, aceros de baja aleación, aceros de más de 60 kg/mm de resistencia) siempre antes de usar se resecan 60 a 120 minutos entre 300 a 400°C. No exceder los 400°C y si se seca a 300°C hacerlo durante 120 minutos. Luego conservar en estufa hasta el momento de soldar.</p>

ACEROS	DESIGNACION	% CARBONO	PRECALENTAMIENTO RECOMENDADO °C
Tabla 4.- Temperaturas de precalentamiento para diferentes aceros.			
Aceros al Carbono	Aceros al Carbono	Bajo 0,20	Sobre 90
	Aceros al Carbono	0,20 - 0,30	90 - 150
	Aceros al Carbono	0,30 - 0,45	150 - 260
	Aceros al Carbono	0,45 - 0,80	260 - 420
Aceros al Carbono - Molibdeno	Aceros Carbono - Molibdeno	0,10 - 0,20	150 - 260
	Aceros Carbono - Molibdeno	0,20 - 0,30	200 - 320
	Aceros Carbono - Molibdeno	0,30 - 0,35	260 - 420
Aceros al Manganeso	Aceros al Mn Medio	0,20 - 0,25	150 - 260
	SAET 1330	0,30	200 - 320
	SAET 1340	0,40	260 - 420
	SAET 1350	0,50	320 - 480
	Ac. Mn. 12% (HADFIELD)	1,25	No requiere
Aceros de Alta Resistencia	Aceros Molibdeno - Manganeso	0,20	150 - 260
	Aceros T1	0,10 - 0,20	90 - 200
	Aceros Alta Resistencia ARMCO	0,12 Máx.	Sobre 90
	Aceros Mayari R	0,12 Máx	Sobre 150
	Aceros DUR - CAP	0,25 Máx	90 - 200
	Aceros YOLOY	0,05 - 0,35	90 - 320
	Aceros Cr - Cu - Ni	0,12 Máx	90 - 200
	Aceros CROMO - MANGANESO	0,40	200 - 320
	Aceros Hi	0,12 Máx	90 - 260
Aceros al Niquel	SAE 2015	0,10 - 0,20	Sobre 150
	SAE 2115	0,10 - 0,20	90 - 150
	Aceros Niquel 2 1/2 %	0,10 - 0,20	90 - 200
	SAE 2315	0,15	90 - 260
	SAE 2330	0,20	90 - 260
	SAE 2340	0,30	150 - 320
Aceros Cromo - Niquel	SAE 3115	0,15	90 - 200
	SAE 3125	0,25	150 - 260
	SAE 3130	0,30	200 - 260
	SAE 3140	0,40	260 - 430
	SAE 3150	0,50	320 - 480
	SAE 3215	0,15	150 - 260
	SAE 3230	0,30	260 - 370
	SAE 3240	0,40	370 - 540
	SAE 3250	0,50	480 - 600
	SAE 3315	0,15	260 - 370
	SAE 3325	0,25	480 - 600
	SAE 3435	0,35	480 - 600
	SAE 3450	0,50	480 - 600
Aceros al Molibdeno	SAE 4140	0,40	320 - 430
	SAE 4340	0,40	370 - 480
	SAE 4615	0,15	200 - 320
	SAE 4630	0,30	260 - 370
	SAE 4640	0,40	320 - 430
	SAE 4820	0,20	320 - 430
Aceros Cromo - Molibdeno	Aceros 2% Cr - 1/2 % Mo	0,15 - 0,25	260 - 430
	Aceros 2% Cr - 1% Mo	0,15 - 0,25	320 - 430
	Aceros 5% Cr - 1/2 % Mo	0,15 - 0,25	320 - 480
Aceros al Cromo	12 - 14% Cr tipo 410	0,10	150 - 260
	16 - 18% Cr tipo 430	0,10	150 - 260
	23 - 30% Cr tipo 446	0,10	150 - 260
Aceros Inoxidables Cromo - Niquel	18% Cr - 8% Ni tipo 304	0,07	Estos aceros no requieren de precalentamiento
	25% Cr - 12% Ni tipo 309	0,07	
	25% Cr - 20% Ni tipo 310	0,10	
	18% Cr - 8 Cb tipo 347	0,07	
	18% Cr - 9 Mo tipo 316	0,07	
	18% Cr - 8 Mo tipo 317	0,07	

Tabla 5 a).- Determinación del peso del metal de soldadura (kg/m) de unión.

d r												14°	20°	30°	45°	60°	70°	75°	80°	90°	30°	45°	60°	Los valores hacia abajo son		d r		
	1,6	3,2	4,8	6,4	9,5	12,7	1,6	3,2	4,8	6,4																	Dimension mm	
1,6											0,031																	1,6
3,2	0,040	0,079	0,119	0,158	0,237	0,317					0,124	0,010	0,014	0,021	0,033	0,046	0,055	0,061	0,067	0,079	0,022	0,040	0,068	0,048	0,061	0,054	3,2	
4,8	0,060	0,119	0,179	0,237	0,356	0,475	0,040				0,280	0,022	0,031	0,048	0,074	0,103	0,125	0,137	0,149	0,179	0,052	0,089	0,155	0,107	0,138	0,121	4,8	
6,4	0,079	0,158	0,237	0,317	0,475	0,633	0,052				0,497	0,039	0,055	0,085	0,131	0,183	0,222	0,243	0,265	0,317	0,091	0,158	0,027	0,192	0,246	0,216	6,4	
7,9	0,098	0,198	0,296	0,396	0,592	0,790	0,065				0,777	0,061	0,088	0,132	0,205	0,286	0,345	0,380	0,415	0,494	0,143	0,247	0,429	0,299	0,384	0,336	7,9	
9,5	0,119	0,237	0,356	0,475	0,712	0,950	0,079	0,158			1,118	0,088	0,125	0,191	0,295	0,411	0,499	0,546	0,597	0,712	0,205	0,356	0,616	0,430	0,552	0,484	9,5	
11,1	0,138	0,277	0,415	0,554	0,831	1,107	0,092	0,185	0,277		1,518	0,119	0,171	0,259	0,402	0,560	0,679	0,743	0,813	0,969	0,280	0,484	0,840	0,586	0,752	0,659	11,1	
12,7	0,158	0,317	0,475	0,633	0,950	1,265	0,106	0,211	0,317		1,995	0,155	0,223	0,339	0,524	0,731	0,886	0,971	1,061	1,265	0,365	0,633	1,096	0,765	0,981	0,860	12,7	
14,3	0,179	0,356	0,534	0,712	1,067	1,423	0,119	0,237	0,356			0,196	0,283	0,429	0,664	0,924	1,121	1,228	1,344	1,608	0,463	0,801	1,387	0,969	1,241	1,089,582	14,3	
15,9	0,198	0,396	0,592	0,790	1,186	1,578	0,132	0,263	0,396	0,527		0,243	0,348	0,519	0,819	1,142	1,384	1,518	1,652	1,980	0,570	0,988	1,712	1,197	1,533	1,346	15,9	
17,5	0,217	0,435	0,652	0,869	1,305	1,742	0,144	0,290	0,435	0,581		0,293	0,421	0,642	0,991	1,381	1,682	1,831	2,009	2,396	0,691	1,346	2,069	1,447	1,861	1,622	17,5	
19,1	0,237	0,475	0,712	0,950	1,423	1,905	0,158	0,317	0,475	0,633		0,350	0,502	0,762	1,179	1,637	1,995	2,114	2,382	2,843	0,822	1,423	2,471	1,727	2,203	1,935	19,1	
20,6	0,258	0,514	0,771	1,029	1,548	2,054	0,171	0,342	0,514	0,685		0,411	0,589	0,895	1,384	1,935	2,337	2,560	2,798	3,334	0,965	1,667	2,888				20,6	
22,2	0,277	0,554	0,831	1,107	1,667	2,218	0,185	0,369	0,554	0,738		0,476	0,683	1,039	1,608	2,233	2,709	2,977	3,245	3,870	1,118	1,935	3,349	2,337	3,007	2,635	22,2	
23,8	0,296	0,592	0,890	1,186	1,786	2,367	0,198	0,396	0,592	0,790		0,546	0,784	1,192	1,846	2,575	3,111	3,409	3,736	4,451	1,285	2,218	3,855				23,8	
25,4	0,317	0,633	0,950	1,265	1,905	2,530	0,211	0,421	0,633	0,844		0,621	0,893	1,356	2,099	2,917	3,543	3,885	4,242	5,061	1,460	2,530	4,376	3,066	3,930	3,438	25,4	
27,0	0,336	0,673	1,008	1,344	2,009	2,694	0,225	0,448	0,673	0,896		0,701	0,993	1,533	2,367	3,304					1,652	2,858	4,942				27,0	
28,6	0,356	0,712	1,067	1,423	2,129	2,843	0,237	0,475	0,712	0,950		0,786	1,130	1,712	2,650	3,691					1,846	3,200	5,552	3,870	4,972	4,361	28,6	
30,2	0,375	0,752	1,127	1,503	2,248	3,007	0,250	0,500	0,752	1,002		0,877	1,258	1,905	2,962	4,123					2,054	3,572	6,177				30,2	
31,8	0,396	0,790	1,186	1,578	2,367	3,171	0,263	0,527	0,790	1,054		0,971	1,395	2,114	3,275	4,570					2,263	3,959	6,847	4,778	6,133	5,373	31,8	
33,3	0,415	0,831	1,246	1,667	2,486	3,319	0,277	0,554	0,831	1,107		1,070	1,533	2,337	3,617	5,031					2,516	4,361	7,547				33,3	
34,9	0,435	0,869	1,305	1,742	2,605	3,483	0,290	0,581	0,869	1,160		1,174	1,682	2,560	3,959	5,522					2,769	4,778	8,291	5,790	7,428	6,505	34,9	
36,5	0,454	0,909	1,363	1,816	2,724	3,632	0,304	0,606	0,909	1,213		1,285	1,846	2,798	4,332	6,043					3,022	5,225	9,050				36,5	
38,1	0,475	0,950	1,412	1,905	2,843	3,796	0,317	0,633	0,950	1,265		1,398	2,009	3,051	4,719	6,579					3,290	5,701	9,869	6,892	8,827	7,740	38,1	
39,7	0,494	0,988	1,483	1,980	2,962	3,959	0,329	0,659	0,988	1,317		1,518	2,173	3,304	5,120	7,130					3,572	6,177	10,702				39,7	
41,3	0,514	1,029	1,548	2,054	3,081	4,108	0,342	0,685	1,029	1,371		1,637	2,352	3,587	5,537	7,710					3,855	6,683	11,581	8,083	10,360	9,095	41,3	
42,9	0,534	1,067	1,608	2,129	3,200	4,272	0,356	0,712	1,067	1,423		1,771	2,545	3,855	5,969	8,321					4,153	7,204	12,474				42,9	
44,5	0,554	1,107	1,667	2,218	3,319	4,436	0,369	0,738	1,107	1,477		1,756	2,739	4,153	6,415	8,946					4,480	7,755	13,426	9,378	12,027	10,539	44,5	
46,0	0,573	1,146	1,727	2,292	3,438	4,585	0,383	0,765	1,146	1,533		2,039	2,932	4,451	6,892	9,601					4,793	8,306	14,394				46,0	
47,6	0,592	1,186	1,786	2,367	3,558	4,748	0,396	0,790	1,186	1,578		2,188	3,141	4,763	7,368	10,271					5,135	8,901	15,406	10,762	13,798	12,102	47,6	
49,2	0,613	1,225	1,846	2,456	3,677	4,897	0,408	0,817	1,225	1,637		2,337	3,349	5,091	7,874	10,970					5,478	9,497	16,448				49,2	
50,8	0,633	1,265	1,905	2,530	3,796	5,061	0,421	0,844	1,265	1,682		2,486	3,572	5,418	8,380	11,685					5,850	10,122	17,535	12,250	15,704	13,769	50,8	
54,0	0,667	1,344	2,009	2,694	4,034	5,373	0,448	0,896	1,344	1,786		2,813	4,034	6,118	9,467	13,188					6,594	11,432	19,797	13,828	17,728	15,555	54,0	
57,2	0,712	1,423	2,129	2,843	4,272	5,701	0,475	0,950	1,423	1,905		3,141	4,525	6,862	10,613	14,796					7,398	12,816	22,194	15,495	19,871	17,430	57,2	
60,3	0,752	1,503	2,248	3,007	4,510	6,014	0,500	1,002	1,503	2,009		3,498	5,031	7,651	11,819	16,478					8,246	14,275	24,724	17,267	22,134	19,425	60,3	
63,5	0,790	1,578	2,367	3,171	4,748	6,326	0,527	1,054	1,578	2,114		3,885	5,582	8,470	13,099	18,264					9,125	15,823	27,388	19,142	24,530	21,524	63,5	
66,7	0,831	1,667	2,486	3,319	4,986	6,639	0,554	1,107	1,667	2,218		4,287	6,148	9,348	14,438	20,139					10,062	17,430	30,202	21,092	27,046	23,727	66,7	
69,9	0,869	1,742	2,605	3,483	5,225	6,966	0,581	1,160	1,742	2,322		4,704	6,743	10,256	15,853	22,104					11,045	19,142	33,149	23,161	29,681	26,034	69,9	
73,0	0,909	1,816	2,724	3,632	5,463	7,279	0,606	1,213	1,816	2,426		5,135	7,383	11,208	17,326	24,158					12,072	20,913	36,230	25,305	32,449	28,460	73,0	
76,2	0,950	1,905	2,843	3,796	5,701	7,591	0,633	1,265	1,905	2,530		5,597	8,038	12,206	18,859	26,302					13,143	22,774	39,445	27,552	35,322	30,991	76,2	
79,4	0,988	1,980	2,962	3,959	5,924	7,904	0,659	1,317	1,980	2,635		6,073	8,708	13,248	20,467	28,535					14,260	24,709	42,794				79,4	
82,6	1,029	2,054	3,081	4,108	6,162	8,231	0,685	1,371	2,054	2,739		6,564	9,422	14,319	22,149	30,857					15,436	26,733	46,292	32,345	41,455	36,364	82,6	
85,7	1,067	2,129	3,200	4,272	6,401	8,544	0,712	1,423	2,129	2,843		7,085	10,166	15,451	23,876	33,283					16,641	28,817	49,924				85,7	
88,9	1,107	2,218	3,319	4,436	6,639	8,857	0,738	1,477	2,218	2,947		7,606	10,926	16,612	25,677	35,798					17,892	31,080	53,690	37,510	48,079	42,184	88,9	
92,1	1,146	2,292	3,438	4,585	6,877	9,169	0,765	1,533	2,292	3,051		8,172	11,729	17,817	27,552	38,388					19,202	33,253	57,590				92,1	
95,3	1,179	2,367	3,558	4,748	7,115	9,497	0,790	1,578	2,367	3,171		8,737	12,548	19,068	29,472	41,083					20,541	35,590	61,639	43,062	55,194	48,421	95,3	
98,4	1,225	2,456	3,677	4,897	7,353	9,809	0,817	1,637	2,456	3,275		9,333	13,397	20,363	31,482	43,881				</								

