



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

“UTILIZACION DE MEZCLAS ARGON-BIOXIDO DE CARBONO COMO GAS DE PROTECCION EN PROCESO DE SOLDADURA GMAW: JUSTIFICACION TECNICA Y ANALISIS DE COSTOS”

292572

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

ALFONSO IGNACIO GARDUÑO CORVERA



MEXICO, D.F.,



2001

EXAMENES PROFESIONALES FACULTAD DE QUIMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado Asignado:

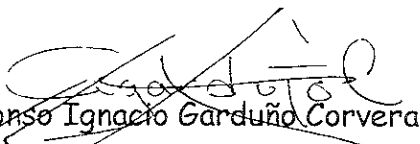
Presidente: Profr. Eduardo Rojo y de Regil
Vocal: Profr. José Antonio Ortíz Ramírez
Secretario: Profr. Ernesto Pérez Santana
1er. Suplente: Profr. Eduardo Flores Palomino
2º. Suplente: Profr. Eduardo Vivaldo Lima

Sitio donde se desarrolló el tema:

Biblioteca de la Facultad de Química, Ciudad Universitaria
Biblioteca de la Empresa Praxair México, S.A. de C.V.



I.Q. Ernesto Pérez Santana
Asesor



Alfonso Ignacio Garduño Corvera
Sustentante

Dedico este trabajo a mis papás, Alfonso y Marisa, con una enorme gratitud por todo el afecto, amor, entusiasmo, preocupación y tantas cosas buenas que me han dado a lo largo de mi vida. Si he llegado hasta aquí y ahora soy alguien es por todo lo que ustedes me dieron. Los amo y respeto mucho.

A Ana Fabiola, por ser mi amiga, mi confidente, mi compañera. Tú has formado parte esencial de mi vida en los últimos diez años, gracias por caminar a mi lado, te amo muchísimo y soy sumamente feliz contigo. Se que todavía nos falta vivir lo mejor y que continuaremos juntos por siempre.

A Gerardo a quien quiero muchísimo, sabes hermanito que puedes contar conmigo para todo.

A mis tíos Rafael, Chepina, Arturo, Carmelita, Roberto, María Luisa, Carmela, Alfredo, Lourdes, Jaime, Rosca Elena y Arturo así como todos mis primos y primas. Gracias por todo su cariño.

Todos son muy importantes para mí.

A Reyna y Linda Patricia, a tía Canda y todos mis primos, a tío Manuel, a Frank, a Yolanda, a Patrick, a Louis y por supuesto a la memoria de la Tía Martha y el Tío Luis.

A los Octavios y a Anita.

A los Instituto México y al CUM, a los hermanos maristas a quienes debo tanto en mi formación.

A la grandiosa Facultad de Química, todos mis compañeros (muy especialmente al Pune, Arcadio, Juan Carlos, Mario y Ana Lidia) y a todos los maestros por aportarnos sus conocimientos y experiencias. Fue mi segunda casa donde pasé ratos buenos y malos, pero sobre todo abundaron los muy buenos momentos.

A Praxair y todos mis compañeros de trabajo (a los envasados y a los especiales). Me siento muy orgulloso de pertenecer a una empresa tan exitosa. A los ingenieros Arturo Lozano, Gabriel Díaz, Héctor Martínez y Francisco Dávila, gracias por su confianza y enseñanzas. Han sido unos jefes excelentes.

A Ernesto Pérez Santana, gracias por tu apoyo por ayudarme a finalizar la tesis.

A Carlos Macias por la amistad de toda la vida.

A Irma y Claudia, gracias por su amistad incondicional de tantos años.

A Román, Pepe y todos los rondalíos: gracias por su amistad, por compartir nuestra sensibilidad y afecto por la música y todos los momentos tan grandiosos que tuvimos en los escenarios, serenatas, ensayos, con las niñas, grabaciones, viajes. Todo eso forma parte importantísima de mi vida.

A Gustavo Valdés y Aldo de Tuoni, mil gracias por su amistad desde la secundaria, me siento muy afortunado en contar con muchos amigos pero en especial con ustedes dos. Me alegra que trabajemos juntos y espero que continuemos teniendo muchos éxitos profesionales juntos.

A la "Ushi" y todos sus congéneres por la alegría que saben transmitir.

Obviamente a Dios, quien no me abandonó en los momentos tan difíciles que viví cuando cursaba el 3er semestre de la carrera. Gracias por haberme puesto en el camino una familia que siempre me apoyo, de un novia que jamás derramó una lágrima frente a mí, de ver quienes fueron amigos en serio, de ponerme en manos de unos médicos tan capaces (a todo el departamento de Hematología del Centro Médico Nacional en especial, gracias). También te doy gracias por haberme dado la fuerza de voluntad tan grande para luchar y no darme nunca por vencido. Creo que he aprovechado al máximo esta segunda oportunidad y estoy seguro que lo seguiré haciendo. Ahora mi vida cambió para bien a raíz de una lección tan dura y a la vez tan positiva en cuanto a enseñanza.

INDICE

	Página
Introducción.	1
Capítulo I: El Desarrollo de la Soldadura a través de los años.	3
1.1 Antecedentes del siglo XIX.	3
1.2 El desarrollo en el siglo XX.	3
Capítulo II: Fundamentos de Electricidad.	6
Capítulo III: Fundamentos de Metalurgia.	12
Capítulo IV: Situación Actual del Mercado de la Soldadura.	15
Capítulo V: Proceso de Soldadura con Electrodo Revestido (SMAW).	18
5.1 Descripción del Proceso.	18
5.2 Descripción General de los Electrodos Revestidos.	22
Capítulo VI: Proceso de Soldadura por Arco con Alambre Sólido Protegido por Gas Inerte (GMAW).	29
6.1 Descripción del Proceso.	29
6.2 Modalidades de Transferencia.	31
6.3 Equipo para proceso GMAW.	34
Capítulo VII: Breve Descripción de Otros Procesos de Soldadura.	38
7.1 Soldadura por Arco con Alambre Tubular (FCAW).	38
7.2 Soldadura por Arco Sumergido (SAW).	39
7.3 Soldadura por Arco en Gas Inerte con Electrodo de Tungsteno (GTAW).	40

Capítulo VIII: Gases de Protección.	42
8.1 Aplicaciones Generales de los Gases en la Industria.	42
8.2 Gases y Mezclas Utilizados en Soldadura.	43
8.3 Tablas de las Propiedades Físicas y Químicas de los Gases Utilizados en Soldadura.	51
8.4 Suministro de Gases Industriales en una Planta de Transformación o de Proceso.	55
Capítulo IX: Seguridad en Procesos de Soldadura y Manejo de Gases.	59
9.1 Seguridad en Procesos de Soldadura.	59
9.2 Seguridad en Manejo de Gases.	59
Capítulo X: Justificación Técnica.	61
Capítulo XI: Análisis de Costos.	62
Capítulo XI: Conclusiones y Recomendaciones.	70
Bibliografía.	75

Introducción

La soldadura es un medio por el cual se unen los metales concentrando calor en el punto de unión para fusionar las áreas adyacentes, resultando una combinación con mayor o igual resistencia que el metal base, añadiendo generalmente metal de aporte. Para que la unión sea homogénea este aporte es el mismo ó similar que el metal base. Para una soldadura heterogénea el metal base no se funde, únicamente el material de aporte es el que se funde y se deposita por capilaridad¹.

En la industria, la soldadura se lleva a cabo mediante operaciones manuales, semiautomáticas o automáticas dependiendo principalmente de la diversidad del trabajo. La automatización puede consistir en el manejo y posicionamiento mecánico de las partes, en la alimentación del metal de aporte, del fundente o en la manipulación y control del dispositivo para hacer la soldadura.

Si bien la soldadura era conocida y practicada bajo algunas formas, alcanzó su enorme importancia en la industria a partir de la primera guerra mundial. Actualmente ha reemplazado casi en su totalidad al remachado en la fabricación de calderas, recipientes a presión, equipos de proceso, tanques, miembros estructurales de puentes y edificios; es el principal proceso en el armado de los cuerpos de los automóviles, bicicletas, motocicletas y muebles metálicos. Actualmente entre las plantas que trabajan el metal, el 99% utilizan alguna clase de soldadura.

Durante cualquier proceso de soldadura por arco eléctrico², el oxígeno, el nitrógeno y la humedad de la atmósfera pueden reaccionar con el metal fundido, ocasionando defectos que debilitan la soldadura. La función principal de un gas de protección es preservar de la contaminación atmosférica al metal fundido de la soldadura y evitar las imperfecciones que resultan.

Además de su función de protección, cada gas o mezcla de gases tiene propiedades físicas singulares que pueden tener un efecto mayor en la velocidad de depósito, la penetración, las propiedades mecánicas, la apariencia y la forma de la soldadura, la generación de humos y la estabilidad del arco. Los procedimientos de soldadura calificados³ son controlados mediante variables

¹ Proceso Brazing, como ejemplo podemos mencionar la soldadura de plata Certification Manual For Welding Inspectors (3th Edition) 1993, Miami, FL, USA: American Welding Society

² Se indica la definición de "arco eléctrico", página 9 del capítulo II

³ Avalados por la American Welding Society (AWS) o alguna otra sociedad como la API, ASME, ASTM, ASNT ó el BSI

esenciales, las cuales son todos aquellos pasos para el diseño, la preparación, armado y unión de la pieza a trabajar que van a garantizar su fabricación de una manera consistente y repetitiva.

Como ejemplo, una de las variables más importantes es el gas de protección y por tanto cualquier cambio resulta altamente relevante⁴.

Los gases principales que se usan en algunos procesos de soldadura son el argón, el helio y el bióxido de carbono, en forma pura y se forman mezclas⁵ entre ellos y también con hidrógeno y oxígeno. La composición de la mezcla de gases debe ajustarse para que cumpla con los requerimientos del proceso y del material en que se va a aplicar y la selección de un gas o mezcla de gases puede volverse bastante compleja debido a las múltiples combinaciones disponibles.

Los procesos de soldadura que se describen en esta tesis son los siguientes:

1. *Soldadura con electrodo revestido ó proceso manual (SMAW por las siglas en inglés Shield Metal Arc Welding),*
2. *Soldadura por arco con alambre sólido protegido por gas inerte (GMAW⁶ por las siglas en inglés Gas Metal Arc Welding),*
3. *Soldadura por arco en gas inerte con electrodo de tungsteno (GTAW⁷ por las siglas en inglés Gas Tungsten Arc Welding),*
4. *Arco sumergido (SAW por las siglas en inglés Submerged Arc Welding) y*
5. *Soldadura por arco con alambre tubular que contiene fundente (FCAW por las siglas en inglés Flux Cored Arc Welding).*

El objetivo de la tesis es proponer el uso de una mezcla binaria de gases para soldar acero de bajo carbono en lugar del gas tradicionalmente utilizado que es el bióxido de carbono en proceso GMAW, mediante un estudio de costos comparativo, así como también llevar a cabo una comparación entre el proceso SMAW (electrodo revestido) y el proceso GMAW con mezcla para soldar.

⁴ Se pretende concluir y demostrar las ventajas técnicas y económicas de soldar con alambre sólido y una mezcla bióxido de carbono balance argón

⁵ Normalmente existen en el mercado mezclas para soldadura binarias y terciarias

⁶ Conocido comúnmente como proceso MIG por sus siglas en inglés *Metal Inert Gas*.

⁷ Conocido comúnmente como proceso TIG por sus siglas en inglés *Tungsten Inert Gas*.

Capítulo I: El desarrollo de la soldadura a través de los años

Como ya mencioné en la introducción, la soldadura ocupa un lugar preponderante en la industria metal mecánica, a continuación se da una breve descripción de cómo este proceso ha ido sufriendo fuertes transformaciones a lo largo de los años⁸.

1.1 Antecedentes del siglo XIX

La experimentación sobre soldadura eléctrica data desde 1800; sin embargo, fue hasta 1865 en que un inglés llamado Wilde obtuvo la primera patente. Wilde soldó con todo éxito 2 pequeñas piezas de hierro haciendo pasar una corriente eléctrica a través de ambas piezas, produciendo así una soldadura por fusión.

Aproximadamente 20 años después, el ruso Bernanrdo, obtuvo el derecho de patente para el proceso de soldadura por arco en el cual se mantenía un arco eléctrico entre un electrodo de carbón y las piezas a unirse, fundiendo los bordes de las piezas al pasar manualmente el arco sobre la unión a soldarse.

Durante la década de 1890 se logró la soldadura por arco utilizando electrodos de varilla desnuda, las cuales se consumían en el charco de metal fundido, formando parte del metal soldado. Sin embargo, su calidad era muy pobre debido al nitrógeno y oxígeno presentes en la atmósfera, los cuales forman óxidos y nitruros muy perjudiciales.

1.2 El desarrollo en el siglo XX

Al principio del siglo XX, la importancia de proteger el arco de la atmósfera fue reconocida. Entonces se comenzó a revestir los electrodos con materiales que al descomponerse con el calor del arco forman gases protectores, parecía ser el mejor método para mejorar la calidad de la soldadura.

Como resultado de la continua investigación, varios métodos fueron probados para revestir electrodos, tales como la inmersión y la envoltura; esos esfuerzos culminaron en el proceso de revestido por extrusión a mediados de la década de los veintes, lo cual mejoró mucho la calidad del metal soldado e hizo posible el

⁸ Soldadura Tecnología Básica 1994 San Nicolás de los Garza, Nuevo León Gerencia de Servicios Técnicos de Electrodo Monterrey, S A de CV

más importante avance en la soldadura por arco eléctrico. Se atribuye a un sueco llamado Oscar Kjellberg haber sido el iniciador de éste gran avance.

En referencia a la historia del desarrollo de los gases de protección, empezó a finales del siglo XIX cuando Charles Lewis reemplaza el aire en una caja colocada sobre una junta de soldadura con una atmósfera no oxidante. Durante los siguientes cuarenta años, el interés por el uso de gases inertes para soldadura fue esporádico. Es hasta 1940, cuando se emitieron dos patentes norteamericanas que se consideraron como las primeras descripciones del uso de gases inertes de protección para soldadura.

La primera patente, emitida a H. M. Hobart, describió el uso del helio en arcos con electrodos de carbón. La otra, emitida a P. K. Devers, describió el uso del argón y de sus mezclas para procesos de arco.

A principios de 1940, la Northgroup Aircraft Company, Inc. usó por primera vez un proceso de soldadura con protección de gas inerte con un electrodo de tungsteno no consumible. El proceso se desarrolló específicamente para la soldadura de magnesio para la fabricación de aeronaves usando helio como el gas de protección.

Al reconocer tales posibilidades, la División Linde de Union Carbide Company adquirió el invento en 1942 e inició un amplio programa de investigación y desarrollo para ampliar el uso del proceso.

Introducido comercialmente en 1942 como el proceso Heliarc (soldadura por arco en atmósfera de helio), también se le conoce actualmente como soldadura por arco en gas inerte con electrodo de tungsteno (GTAW) y tungsteno en atmósfera de gas inerte (TIG).

Una porción significativa del trabajo de desarrollo de este proceso se dedicó a la evaluación del argón y del helio como gases de protección, así como también a los estudios que identificaron la importancia de la pureza del gas para producir soldaduras de calidad.

Fue hasta la era de la posguerra, después de que Linde inició la producción económica del argón de alta pureza a escala comercial, que el Heliarc (GTAW) se convirtió en una realidad práctica.

En 1950, se emitió una patente a Air Reduction Co. Inc. (Airco) que cubría un proceso que se conoció posteriormente como soldadura por arco con alambre sólido protegido por gas inerte (GMAW). La aplicación inicial fue la soldadura de "arco de spray" del aluminio en una atmósfera de helio. En ese tiempo, el proceso recibió el nombre de SIGMA (arco con alambre sólido protegido con gas inerte).

Durante la década de 1950, Linde, Airco y otras compañías llevaron a cabo un extenso esfuerzo para desarrollar mezclas de gas, la química de los alambres de soldadura y los sistemas de equipo para mejorar y ampliar la gama de aplicaciones del proceso. Este trabajo condujo al rápido crecimiento del GMAW (soldadura con alambre sólido protegido por gas inerte) durante los últimos treinta años y a su amplio uso hoy en día.

También proporcionó los antecedentes para la invención del FCAW (soldadura con alambre tubular que contiene fundente), efectuada por Arthur Bernard a finales de la década de 1950. Su patente fue asignada a la National Cylinder Gas Co. En 1957, donde el proceso se desarrolló posteriormente y se introdujo para uso industrial.

En el siguiente capítulo se hace una breve mención de algunos conceptos eléctricos básicos que nos permitirán comprender mejor el proceso de soldadura.

Capítulo II: Fundamentos de Electricidad

Se puede concebir a los electrones como las cargas negativas que pueden moverse libremente en un circuito. Puede pensarse que están apiladas en el extremo negativo, esperando fluir al extremo positivo. La terminal positiva no tiene suficientes electrones, la terminal negativa tiene demasiados. Cuando las dos terminales se conectan por medio de alambres, las cargas negativas viajan a la terminal positiva.



Figura 1: movimiento de los electrones
Fuente: *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*

Se puede pensar en las fuentes de energía como fuentes de más electrones. En tanto que una fuente de energía esté conectada a un circuito, una terminal negativa no puede nunca agotar su excedente de electrones, y una terminal positiva no puede nunca recibir demasiados electrones.

El voltaje es la unidad de presión o fuerza electromotriz que empuja la corriente (electrones) a través de un circuito. Un voltio empujará un ampere a través de una resistencia de un ohmio.

Un ampere es la unidad de corriente y se define como el número de electrones que fluyen después de un punto en un circuito cada segundo. La cantidad de electrones se expresa en culombios. Un culombio es igual a 6.25 billones de electrones. Un ampere es igual a un culombio por segundo.

Un ohmio es la unidad de resistencia al flujo de corriente. Un ohmio es la cantidad de resistencia que produce una caída de un voltio en un circuito que transporta un ampere.

En una manguera para agua, la presión del agua es similar al voltaje y la cantidad de agua que fluye es similar al amperaje. Cualquier restricción en la manguera, como por ejemplo un doblez produciría resistencia al flujo de agua. La relación de estas variables se expresa con la ecuación:

$$V \text{ (voltios)} = I \text{ (amperes)} \times R \text{ (ohmios)}$$

La dirección del flujo de corriente tiene influencia en la eficiencia de la función del arco de soldadura. Consecuentemente, el control de la polaridad en un sistema de soldadura es muy importante. Hay dos conexiones de polaridad en soldadura: polaridad directa y polaridad inversa.

Cuando se usa la polaridad directa DC o conexión negativa de electrodos de corriente directa (DCEN), el electrodo es el polo negativo y la pieza de trabajo es el polo positivo del arco de soldadura.

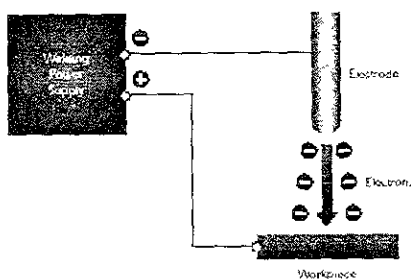


Figura 2: conexión DCEN
Fuente: *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*

Cuando se usa la polaridad inversa DC o conexión positiva de electrodos de corriente directa (DCEP), el electrodo es el polo positivo y la pieza de trabajo es negativa.

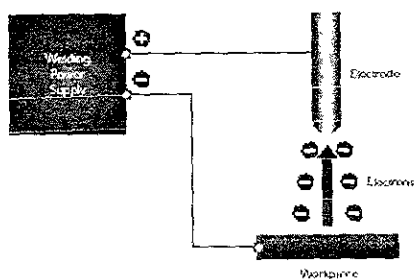


Figura 3: conexión DCEP
Fuente: *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*

Cuando la soldadura se efectúa con conexión negativa de electrodos de corriente directa (DCEN) la corriente de electrones fluye al área de trabajo, chocando con el área soldada a alta velocidad.

En un proceso de soldadura y su relación con un circuito eléctrico es: los electrones (corriente) son empujados (por el voltaje) a través de un conductor sólido, tal como un alambre ó electrodo, que tiene cierto grado de resistencia (ohms).

Para todos los propósitos básicos, se puede pensar en un arco de soldadura como un dispositivo de conversión que cambia la energía eléctrica en calor y esa cantidad de calor que produce dependerá de muchos factores.

Uno de los más importantes es la corriente del arco. Cuando aumenta la corriente de arco, la cantidad de calor que produce el arco es incrementada y viceversa. Otro factor que controla el calor de arco es la longitud de arco. Los cambios en la longitud de un arco (o separación del electrodo y el material base) ocasionarán cambios en la cantidad de calor disponibles del arco.

Consecuentemente la capacidad de soldadura de un arco depende del control tanto de la corriente de arco como de la longitud de arco. La mayor parte de las veces, la corriente de arco es controlada por la fuente de energía para soldar y la longitud de arco es controlada por el soldador.

La Sociedad Americana de Soldadura (AWS) define un arco de soldadura como "la descarga eléctrica controlada entre el electrodo y la pieza de trabajo, que es formado y sostenido con el establecimiento de un medio conductivo gaseoso, llamado un plasma de arco".

Un arco, o flama eléctrica, emite luz brillante, así como radiación ultravioleta e infrarroja. Las temperaturas de arco son muy altas, producen el calor suficiente para fundir cualquier metal conocido.

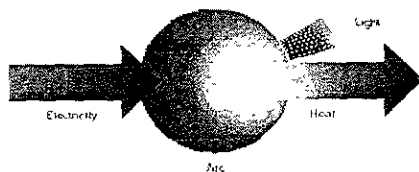


Figura 4: regiones de un arco eléctrico
Fuente: *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*

Las características de un arco dependen del gas de protección que se utilice.

El extremo positivo de un arco recibe el nombre de ánodo. Puede ser el electrodo o la pieza de trabajo, dependiendo de la polaridad. El ánodo es el área muy delgada, intensamente brillante en el electrodo o pieza de trabajo, donde se fija el arco. El voltaje del ánodo no cambia cuando el electrodo y la pieza de trabajo son movidos más cerca o más lejos. El voltaje del ánodo depende del material del electrodo y del gas que lo rodea, y es esencialmente constante para cualquier conjunto de materiales.

El extremo negativo del arco recibe el nombre de cátodo. También puede ser ya sea el electrodo o la pieza de trabajo, dependiendo de la polaridad. El voltaje del cátodo es similar al voltaje del ánodo. Depende de los materiales en los alrededores inmediatos de la zona del cátodo y es esencialmente constante para cualquier conjunto de materiales.

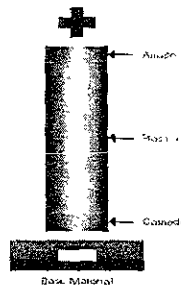


Figura 5. cátodo y ánodo

Fuente: *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*

Según lo define la Sociedad Americana de Soldadura, el plasma del arco es "un gas que ha sido calentado por un arco eléctrico a cuando menos una condición parcialmente ionizada, permitiéndole que conduzca una corriente eléctrica". Es la flama eléctrica visible, o arco, en el espacio entre el ánodo y el cátodo.

El voltaje del arco es la suma de los voltajes del ánodo y del cátodo más el voltaje a través del plasma del arco. Este voltaje aumenta cuando el electrodo y la pieza de trabajo se separan y disminuye al acercarse.

El potencial de ionización es la energía, expresada en electrón-voltios, necesaria para remover un electrón de un átomo de gas, convirtiéndolo en un ion, o un átomo de gas cargado eléctricamente. El valor del potencial de ionización disminuye al aumentar el peso molecular del gas.

El argón, con dieciocho electrones, es mucho más pesado que el helio, que tiene solamente dos electrones. La fuerza de atracción que sostiene los electrones exteriores en su órbita es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde el núcleo. Enunciado de manera simple, la energía requerida para remover un electrón del átomo de argón es significativamente menor que la necesaria para el helio. Específicamente, se necesitan 15.759 electrón-voltios para remover el primer electrón en argón, comparado con 24.586 electrón-voltios en helio. En estos niveles de energía, la ionización del gas empieza en el espacio libre del arco, que crea los electrones "libres" necesarios para el flujo de corriente a través del espacio libre, formando el plasma.

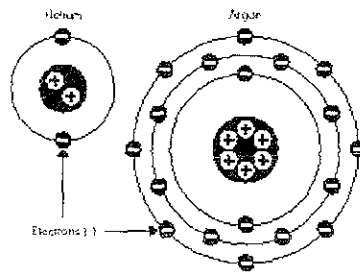


Figura 6: estructura atómica de los átomos del argón y el helio, gases de protección utilizados en procesos de soldadura
Fuente: *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*

A pesar de que hay otros factores involucrados para establecer el plasma, se debe mantener estos niveles de energía respectivos, y como consecuencia, el voltaje de arco resulta influenciado de manera directa.

De esta interrelación, entonces, es bastante aparente que, para corrientes de soldadura y longitudes de arco equivalentes, el voltaje obtenido con el helio es notoriamente más alto que con el argón.

Puesto que el calor en el arco se mide de manera general por el producto de la corriente y voltaje (energía del arco), el uso del helio produce un calor disponible mucho más alto que el argón. Esta es una razón por la que el helio generalmente se conoce como el gas "más caliente" y como veremos en la parte correspondiente a gases del capítulo VIII, estas propiedades influyen directamente en un proceso de soldadura.

El arranque del arco y la estabilidad del arco también dependen en gran parte del potencial de ionización. Los gases con potencial relativamente bajo, tales como el argón, despiden electrones más fácilmente, lo que ayuda a arrancar el arco y mantenerlo de un modo uniforme y estable.

El efecto de contricción electromagnética es uno de los factores más fuertes en la transferencia de metales. Se debe al flujo de corriente en un alambre o electrodo.

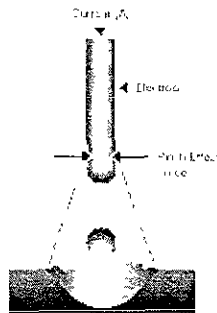


Figura 7: efecto contricción
Fuente. *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*

Cada conductor que transporta corriente es apretado por el campo magnético que le rodea. Cuando el electrodo es calentado al punto en que esta fundido y esta en un estado plástico, esta fuerza de contricción electromagnética hace salir gotas de metal hacía el baño de soldadura en fusión.

Capítulo III: Fundamentos de Metalurgia

En la tabla periódica de los elementos, éstos se dividen en metales y no metales⁹.

En general, los metales como el cobre, el aluminio, el plomo, el zinc, el estaño, por mencionar algunos ejemplos son buenos conductores del calor y la electricidad.

Debido a que no existe un riguroso límite entre los metales y no metales, algunos de estos últimos, como el silicio, el fósforo, el azufre, los encontramos mezclados con los metales y según las circunstancias, provocan un cambio notable en las propiedades de éstos.

A las mezclas de los metales se les llama aleaciones y se crean con el objetivo de mejorar las propiedades.

El metal utilizado en más alto grado es el hierro al que se puede clasificar en:

- Arrabio o hierro de primera fusión, contiene alrededor de 3 a 4% de carbono
- Acero, contiene de .03 a 1.6% de carbono

El arrabio a su vez se clasifica en fundición blanca (el carbono está totalmente unido y sin residuos en forma de carburo de hierro) y en fundición gris (el carbono está cristalizado).

A su vez, el acero se clasifica en acero batido y acero dulce, según que se le obtenga en estado pastoso o fluido.

El arrabio no se utiliza en soldaduras, pero sí la fundición gris que podemos obtener del arrabio.

El acero al carbón está entonces, compuesto principalmente de hierro, carbono, manganeso y silicio.

Ocasionalmente se le pueden añadir otros componentes como lo son el molibdeno, el vanadio, el titanio, el circonio y el níquel. El objetivo de esto es incrementar la resistencia a la corrosión, el endurecimiento y la tenacidad ó reducir la ductibilidad y causar fragilidad para mejorar la maquinabilidad.

⁹ Partington, J.R. 1959 Tratado de Química Inorgánica (6ª Edición) México Editorial Porrúa

Dada la gran importancia del hierro, todos los demás metales se denominan "metales no férreos". De ellos son soldables: el cobre, el aluminio, el níquel, el plomo, el zinc, la plata, el oro y el platino. Las aleaciones para soldaduras que se consideran importantes son: el latón, el bronce, aleaciones de aluminio, de magnesio y el metal monel.

Cada metal tiene un color especial y propio, no obstante la mayor parte de los metales son blancos o grisáceos.

El peso específico es la cantidad que indica cuántas veces el metal es más pesado que un volumen igual de agua y varía con la temperatura además del tipo de elaboración de la aleación.

Como la maleabilidad de un metal se entiende su ductilidad, extensibilidad y tenacidad, mientras que la resistencia consiste en las propiedades de oponerse a esfuerzos de tracción, compresión, plegado y torsión.

Muchos metales, al ser calentados, pasan lentamente a un estado blando (pastoso) y luego fluido, mientras que otros pasan casi rápidamente al estado líquido (punto de fusión). Todos los metales tienen un punto de fusión y de ebullición perfectamente determinados. El punto de fusión y el punto de solidificación (al volver a enfriarse) prácticamente coinciden.

Casi todos los metales se dilatan al calentarse, esto significa, que aumentan su volumen y se contraen al solidificarse. La contracción es una propiedad de gran importancia para la soldadura, debido a que los fenómenos de las tensiones desarrolladas en el metal tienen por causa estos efectos.

También la conductividad calorífica del metal es de importancia en soldadura. Todos los metales son buenos conductores del calor.

La corrosión es una descomposición que parte de la superficie de un material metálico, producida por la acción química o electroquímica de algunos agentes. Los efectos de corrosión que se observan son combinaciones químicas entre la materia atacante y el metal corroído. Entre las corrosiones se distinguen la de insolubilidad completa, solubilidad completa y solubilidad parcial.

En el caso de una corrosión de insolubilidad completa, se forma una capa protectora que evita una continuación del ataque químico del metal. En el segundo caso, el metal se consume más o menos rápidamente (la herrumbre) y en

el tercer caso el material queda protegido parcialmente por las nuevas capas en la superficie y continua despacio la destrucción.

Los efectos de la corrosión tienen lugar deprisa o despacio, en forma regular o irregular y son en sí de naturaleza muy variada, dependiendo del número de factores que intervengan así como la concentración del material atacante, su presión y temperatura, su estado físico, la forma en como actúa. Igualmente influyen la constitución estructural del material, su grado de pureza y el tratamiento térmico al que se sometió.

De aquí resulta, que la pregunta normal sobre la seguridad de una soldadura frente a la corrosión, no puede contestarse inmediatamente, sino con base a pruebas rápidas¹⁰ que conduzcan a un esclarecimiento seguro.

La estabilidad de la corrosión en una buena soldadura no es inferior al material base, en muchas ocasiones es superior.

¹⁰ Pruebas rápidas como radiografías o llevar a cabo la destrucción de una probeta

Capítulo IV: Situación actual del mercado de la soldadura

Es evidente que se está gestando una revolución tecnológica en todos los campos y en un mundo actualmente globalizado donde los países se están integrando en bloques comerciales, la situación para las empresas es de alta competencia.

El comercio ha entrado en una nueva realidad en la que todos los participantes deben comprender y aprovechar el movimiento dinámico y el continuo cambio de los mercados. Por ello, las empresas deben mantenerse al día con información que les permita tomar decisiones adecuadas y siempre enfocarse a buscar reducción permanente en sus costos de operación y mejora de la calidad. Estas son dos herramientas estratégicas para enfrentar a esa competencia ascendente.

Las utilidades de una empresa pueden provenir de dos frentes: 1) minimizar los costos o aumentar precios para incrementar los márgenes ó 2) aumentar el volumen de ventas para mejorar el uso de la capacidad instalada y distribuir los costos fijos sobre un volumen más grande.

Igualmente, las empresas deben hoy día, aplicar sus procesos con base a tecnologías que permitan un desarrollo sustentable, cuidando el medio ambiente.

En los capítulos siguientes del presente trabajo, se describe el marco técnico de varios procesos de soldadura existentes en la industria, enfocándonos principalmente a los dos procesos que nos interesa comparar en la cuestión de costos: el proceso manual y el proceso GMAW y en ellos se hará referencia a las diferencias y ventajas técnicas de uno sobre otro.

Podemos afirmar sin duda, que la industria en México lleva retraso en la aplicación y desarrollo de tecnología, en comparación con nuestros dos principales socios comerciales, aunque esto puede ser no válido en empresas con capital transnacional y que por los recursos que pueden invertir están a la vanguardia tecnológicamente.

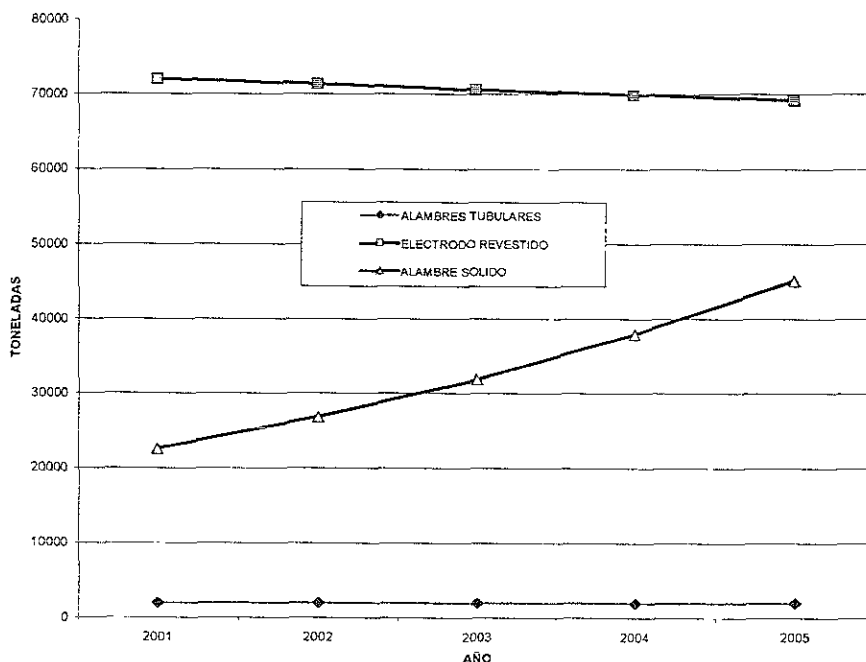
La situación de la soldadura no es un caso aislado. Por ejemplo: en Estados Unidos el desarrollo y la aplicación de alambres sólidos y tubulares con mezclas como gas de protección es una constante del diario en las aplicaciones de soldadura, y el electrodo revestido ha pasado a terceros términos en su aplicación debido al alto costo que representa soldar con ellos.

En cambio, la situación en México comienza a ser de interés por el cambio de electrodo revestido a alambres sólidos, proceso GMAW, y que en consecuencia requiere un gas de protección¹¹.

Aunque también muchas empresas han implementado el proceso GMAW con alambre sólido utilizando bióxido de carbono como gas de protección.

En nuestro país está muy marcada la diferencia entre los procesos: las empresas fabricantes, las 3 más grandes¹², de soldadura convencional (electrodo revestido) y alambre sólido, suministran al mercado nacional mensualmente 6,000 toneladas del primero y únicamente 1,500 toneladas del segundo. La siguiente gráfica nos muestra la tendencia en el mercado de la soldadura para los siguientes 5 años¹³:

Gráfica #1: Tendencias del Mercado de la Soldadura en la República Mexicana



¹¹ En algunas empresas se comienza a implementar el proceso FCAW

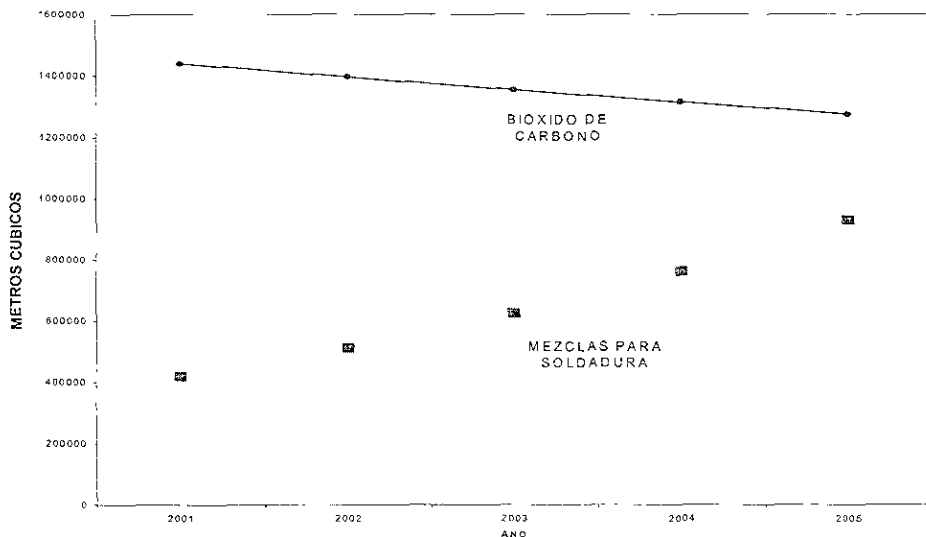
¹² Lincoln Electric, ESAB ó Electrodo Monterrey y Electrodo Infra

¹³ Fuente: Gerencia de Mercadotecnia ITW Welding Products, S A de C V

En la Ciudad de México y su área metropolitana, una de las principales zonas industriales del país, datos estimados consideran el mercado actual de mezclas binarias para soldar aceros al carbón con composición argón - bióxido de carbono aproximadamente en 35,000 metros cúbicos mensuales, aplicándose en fabricación de tanques portátiles para gas LP, bicicletas, carrocerías, rines y otras partes automotrices, tanques de gasolina, tanques para frenos de aire, calderas, transformadores, muebles tubulares, asientos para automóviles, estructura metálica para edificaciones y convertidores catalíticos, por mencionar los principales mercados.

Sin embargo se estima que el mercado de bióxido de carbono (en la misma zona geográfica) para aplicación como gas puro en soldadura son aproximadamente 120,000 metros cúbicos¹⁴.

Gráfica #2. Tendencias del Mercado de Gases de Protección para aplicaciones en acero al carbón en la industria metal mecánica del Valle de México



Como se observa la diferencia es notable y considerando (como veremos más adelante) que la mezcla para soldadura representa ventajas técnicas como mejor acabado y mayor velocidad de depósito y en consecuencia, ahorro en el sentido de menor tiempo de producción, eliminar retrabajos por limpieza y menores

¹⁴ Fuente: Gerencia de Mercadotecnia ITW Welding Products, S.A. de C.V.

gastos en consumibles; tan sólo un 50% del volumen de bióxido de carbono podría ser convertido a mezcla para soldadura considerando estos puntos.

Sin embargo, en la práctica esta conversión no puede darse tan fácilmente, nos encontramos con muchos factores: adquisición de equipo nuevo y lo que en consecuencia implica una inversión, que de acuerdo al número de estaciones podría llegar a ser tan fuerte, que muchas empresas pequeñas y medianas no están en condiciones de realizar debido a lo inaccesible y el alto costo de los financiamientos a raíz de la crisis de inicio del sexenio anterior; la renuencia de los trabajadores sindicalizados a trabajar en forma más productiva y permitir asesoría de parte de sus diferentes proveedores; el desconocimiento por parte de la dirección de las empresas en nuevas tecnologías. La renuencia al cambio, es un factor psicológico y cultural, muy observado en nuestra población.

El proceso de para convencer a un usuario aplicar microalambre protegido con mezcla de bióxido de carbono balance argón en lugar del electrodo manual o el microalambre protegido con gas carbónico y la justificación de la implementación de un cambio de proceso o cambio de gas de protección da como resultado llevar a cabo una evaluación profunda de todas las variables involucradas en el proceso.

Capítulo V: Proceso de soldadura con electrodo revestido (SMAW)

5.1 Descripción del Proceso

La soldadura por arco con electrodo recubierto, conocida también como soldadura manual con varillas revestidas ó soldadura al arco, es la más ampliamente usada entre todos los procesos de soldadura. Esta soldadura se logra con el calor de un arco eléctrico el cual es mantenido entre un extremo de la varilla recubierta (electrodo) y la pieza de trabajo o metal base. El calor producido por el arco funde los bordes del metal base, la varilla y el revestimiento, mientras el metal fundido del electrodo es transferido a través del arco hacia el metal fundido en el metal base, los gases producidos por la descomposición del revestimiento protegen el arco de los gases atmosféricos. Además la escoria fundida flota en la superficie del metal líquido y lo protege de la atmósfera durante su solidificación. Otras funciones del revestimiento son las de conferir estabilidad al arco y controlar la geometría del depósito.

Una de las razones de la amplia aceptación del proceso de soldadura por arco con electrodo recubierto es la simplicidad del equipo requerido, que se menciona a continuación:

1. Fuente de poder.
2. Porta electrodo.
3. Pinza de tierra.
4. Cables y conexiones.
5. Herramienta: martillo, cepillo de acero.
6. Equipo de protección: guantes, petos, careta.

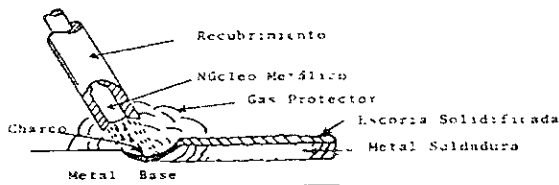


Figura 8 proceso SMAW
Fuente: *Soldadura Tecnología Básica*

En la soldadura por arco con electrodo revestido puede utilizarse ya sea corriente alterna ó corriente directa; pero sea una ú otra la fuente de poder siempre debe de ser del tipo de corriente constante.

Este tipo de fuente genera un amperaje ó corriente relativamente constante a pesar de las variaciones de la longitud de arco causadas por el operador; el amperaje determina la cantidad de calor al final del arco y la soldadura obtenida será uniforme en tamaño y forma.

La selección de la fuente de poder corriente alterna, directa o ambas depende del tipo de soldadura que se requiera y el tipo de electrodo que se utilice. Para tal selección deben considerarse los siguientes factores:

- a) Selección de electrodos: el uso de una fuente de poder CD permite un rango mayor de tipos de electrodos. Aún cuando la mayor parte de los electrodos son diseñados para usarse con CD ó CA, algunos solo funcionan correctamente con CD.
- b) Espesor del metal: fuentes de poder de CD pueden ser usadas para soldar secciones de placas gruesas ó delgadas. La lámina delgada es más fácilmente soldable con CD porque es más fácil encender y mantener el arco con valores bajos de corriente.
- c) Distancia de trabajo: si la distancia del trabajo a la fuente de poder es grande, una de CA es la mejor elección, ya que la caída de voltaje a lo largo de los cables es menor que con CD. Aún cuando los cables para soldar son hechos de cobre ó aluminio (metales que son buenos conductores), la resistencia en los cables se vuelve mayor conforme aumenta la longitud. En otras palabras una lectura de voltaje tomada entre electrodo y el trabajo será algo más baja que la lectura tomada a la salida de las terminales de la fuente de poder. Este fenómeno es conocido como caída de voltaje.
- d) Posición para soldar: en vista de que la CD puede ser operada con rangos menores, resulta más apropiada que CA para las posiciones sobre cabeza y vertical.
- e) Soplo de arco: cuando se solda con CD, se forman campos magnéticos en las zonas de soldadura; en aquellas soldaduras que tienen variación de espesor (geometría complicada), este campo magnético puede afectar el arco

desviándolo de dirección. Esta condición es especialmente conflictiva cuando soldamos en rincones. La CA raramente causa este problema debido a la rápida inversión del campo magnético formado.

Fuentes de poder combinadas que producen CA y CD son fácilmente encontradas en el mercado¹⁵ y poseen la versatilidad necesaria para seleccionar el tipo de corriente adecuada a cada aplicación.

Cuando se usa una fuente de poder CD, surge la necesidad de elegir polaridad directa o inversa. Algunos electrodos operan con ambas polaridades y otros solamente son CD polaridad invertida ó CD polaridad directa. En un circuito eléctrico de corriente directa, esta fluye en una sola dirección; ésta dirección del flujo de corriente y la composición del revestimiento del electrodo tienen un efecto determinante en el arco y el perfil de la soldadura.

La polaridad directa (electrodo negativo) produce soldaduras de penetración baja; sin embargo, el depósito se extiende mejor. El perfil del depósito será ancho y superficial. En el caso contrario, la polaridad invertida (electrodo positivo) produce soldaduras con penetración profunda y depósito angosto.

Mientras la polaridad afecta la penetración y el ancho del depósito, el revestimiento del electrodo tiene también una fuerte influencia en las características del arco.

El porta electrodos se conecta al cable de la soldadora y conduce la corriente al electrodo. El mango aislado se usa para guiar el electrodo sobre la junta a soldar y alimentar el electrodo hacia el charco de metal líquido a medida que el electrodo se consume. Los porta electrodos se venden en diferentes medidas y son clasificados según su capacidad de conducir corriente.

La pinza de tierra se usa para conectar el cable de tierra con la pieza de trabajo. Puede ser conectado directamente a la pieza de trabajo ó a la mesa o estructura donde el trabajo se realiza. Debido a que la pinza forma parte del circuito de soldadura, ésta debe ser capaz de conducir la corriente de soldadura sin que se sobre caliente debido a la resistencia eléctrica.

¹⁵ Las principales marcas de soldadoras existentes en el mercado nacional son Lincoln, ESAB, Miller e Infra. Estos fabricantes venden máquinas para el proceso SMAW y otros procesos de soldadura.

El cable porta electrodo y el cable de tierra son partes importantes del circuito de soldadura. Estos deben de ser muy flexibles y tener un aislamiento fuerte y resistente al calor. Las conexiones al porta electrodos, la pinza de tierra y terminales a la fuente de poder deben de ser soldadas ó fuertemente sujetas para asegurar una baja resistencia eléctrica. El área de la sección transversal del cable debe de ser de la medida suficiente para conducir la corriente de soldadura con un mínimo de caída de voltaje. El aumento en la longitud de los cables obliga al aumento en el diámetro de los mismos para disminuir la resistencia y la caída de voltaje.

5.2 Descripción General de los Electrodo Revestidos

Los electrodos para aceros dulces (recubiertos o convencionales), consisten de dos elementos principales: el núcleo o varilla metálica y el recubrimiento ó revestimiento de fundente. El núcleo consiste comúnmente de una varilla de acero de bajo carbón. Esta varilla debe tener muy bajo contenido de aluminio y cobre y un mínimo de azufre y fósforo, ya que estos dos últimos elementos producen fragilidad en el metal soldadura.

La materia prima para la varilla del núcleo es el alambre de bajo carbón conocido como "alambrón", el cual se recibe de la siderúrgica en grandes rollos, y después de limpiarse se trefila¹⁶ al diámetro deseado, se endereza y se corta a la longitud requerida para cada electrodo.

Los ingredientes del recubrimiento o fundente, de los cuales existen cientos de tipos, son cuidadosamente pesados y mezclados en estado sólido y después aglutinados con agua y otros productos químicos líquidos hasta formar una pasta pesada, la cual se alimenta a una prensa de extrusión¹⁷. El recubrimiento se extruye entonces sobre los tramos de alambre cortados a la medida, los cuales pasan a través del "dado" de extrusión a alta velocidad. Enseguida parte del recubrimiento es removido de un extremo del electrodo (para sujetarlo con el porta electrodo), y esmerilado ligeramente con el otro extremo para asegurar una fácil iniciación del arco.

¹⁶ Proceso mediante el cual se aplica fuerza mecánica para causar un estiramiento

¹⁷ En un proceso de extrusión, el metal se comprime arriba de su límite elástico y se le hace fluir a través de una abertura para que tome la forma de ésta Dayle, L., Leach, J., Shcarader, G y Singer, M. 1988 Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros (3ª Edición) México Prentice Hall

Los electrodos son entonces impresos con el número de tipo que los identifica y pasados por un horno de temperatura controlada donde se ajusta el contenido de humedad antes de empaarlos.

Entre los varios puntos de verificación de control de calidad existentes a lo largo del proceso de fabricación de electrodos, uno de los más importantes es el procedimiento de control que asegura que el espesor de recubrimiento sea uniforme. En la soldadura con electrodo revestido, el cráter que se forma en la punta del electrodo (extremo que se quema) y que se extiende más allá de la varilla bajo fusión, tiene la importante función de concentrar y dirigir el arco. La concentración y dirección del arco se logra con un cráter uniforme y concéntrico. Cuando el recubrimiento no está concéntrico se dice que el electrodo está "descentrado", formándose entonces, un cráter irregular en forma de "uña" que produce mala dirección del arco, poca protección de gas, poca penetración y por lo tanto cordones inconsistentes.

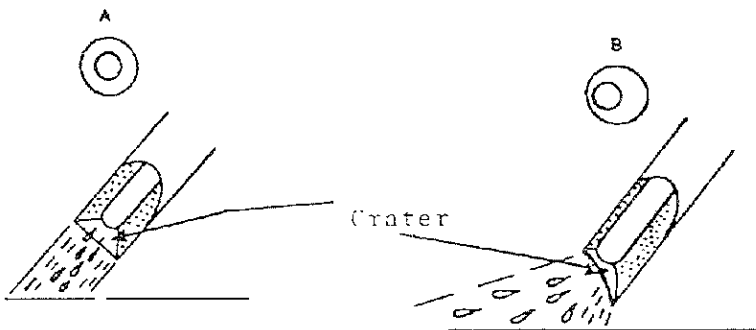


Figura 9. efecto de un electrodo revestido descentrado
Fuente: *Soldadura Tecnología Básica*

Los ingredientes más comúnmente usados en los recubrimientos pueden ser clasificados físicamente y de una manera general como sólidos y líquidos.

Los sólidos son polvos ó materiales granulados, los cuales se encuentran en la naturaleza en estado libre y necesitan solamente cierto grado de concentración y una molienda para obtener el tamaño de partícula apropiado. Otros materiales usados son obtenidos como resultados de reacciones y combinaciones químicas; estos materiales son aleaciones y otros compuestos sintéticos complejos.

El tamaño de partícula de un material sólido es un factor muy importante. El tamaño de partícula puede variar desde el de una arena fina hasta el de un polvo impalpable.

La estructura física de los ingredientes del recubrimiento puede ser clasificada como cristalina, fibrosa y amorfa. Los materiales cristalinos comúnmente usados son rutilo, cuarzo y mica. El rutilo es un mineral del cual se produce el bióxido de titanio, que es también ampliamente usado en los recubrimientos de electrodos.

Materiales fibrosos tales como la fibra de madera y materiales no cristalinos como el vidrio y otros compuestos orgánicos son también ingredientes comunes en el recubrimiento.

Las funciones de los recubrimientos en los electrodos son las siguientes¹⁸:

a) Proteger el metal soldadura:

La función más importante del recubrimiento es proteger al metal soldadura del ataque del oxígeno y nitrógeno presentes en la atmósfera durante su transferencia a través del arco y mientras permanece en estado líquido. Esta protección de gas es necesaria para asegurar que el metal quede sano, libre de gases atmosféricos atrapados y tenga la correcta resistencia y ductilidad.

A las altas temperaturas del arco, el nitrógeno y oxígeno se combinan fácilmente con el hierro para formar óxidos y nitruros de hierro mismos que si están presentes arriba de ciertas cantidades mínimas causarían fragilidad y porosidad.

El nitrógeno es la principal preocupación ya que es muy difícil su control una vez que ha entrado en el depósito de soldadura. El oxígeno puede ser contrarrestado mediante el uso de desoxidantes.

Para evitar la contaminación con aire, el flujo de metal fundido debe de ser envuelto por gases protectores, los cuales aíslan la atmósfera alrededor del arco y del metal fundido. Esta protección se logra usando ciertos ingredientes en el recubrimiento; los cuales al descomponerse durante la operación de soldar generan un gas o mezcla de gases protectores que forman un escudo ó pantalla en la zona del arco.

¹⁸ Soldadura Tecnología Básica 1994. San Nicolás de los Garza, Nuevo León Gerencia de Servicios Técnicos de Electrodo Monterrey, S A de C V

b) Estabilizar el arco:

Un arco estabilizado es aquel que arranca fácilmente, que enciende con suavidad aún con bajos amperajes, y que puede sostenerse encendido usando ya sea arco largo o corto.

c) Adición de aleaciones al metal soldadura:

Una gran variedad de elementos tales como cromo, níquel, molibdeno, vanadio y cobre pueden ser agregados al metal soldadura, incluyéndolos en la composición del recubrimiento.

Con frecuencia es necesario agregar aleaciones al recubrimiento para balancear las pérdidas que normalmente se producen en el núcleo metálico durante la operación de soldar y que se deben a volatilización o a reacciones químicas. Los electrodos para aceros dulces requieren pequeñas cantidades de carbón, manganeso y silicio en el depósito para obtener soldaduras sanas y en el nivel de resistencia deseado.

Una parte del carbón y manganeso se deriva del núcleo del alambre, pero es necesario suplirlos con adiciones de ferromanganeso y ferrosilicio en el recubrimiento.

d) Concentrar el arco:

La concentración y dirección del arco son obtenidas mediante el cráter que se forma en la punta del electrodo, como se vio anteriormente. El uso apropiado de los materiales aglutinantes asegura un recubrimiento duro y uniforme que facilita la formación de un buen cráter, el cual producirá una mejor penetración y dirección del arco.

e) Formación de escoria:

La función de la escoria consiste en proporcionar protección adicional contra la contaminación atmosférica, actuar como limpiador y absorbedor de impurezas que flotan y son atrapadas por la escoria, atenuar la velocidad enfriamiento del metal fundido para permitir el escape de gases. También controla el perfil, uniformidad y apariencia general del metal soldadura.

f) Impartir características para soldar fuera de posición:

Agregando al recubrimiento ciertos ingredientes, principalmente compuestos de titanio, se hace posible el soldar fuera de posición, en forma vertical y sobre cabeza. Las características de la escoria, principalmente la tensión superficial y punto de solidificación determinan en gran medida la habilidad de un electrodo para ser usado en posiciones difíciles.

g) Controlar la integridad del metal soldadura:

La porosidad ó burbujas de gas en la soldadura pueden ser controladas en un alto grado mediante la composición del recubrimiento. Es el balance de ciertos ingredientes en el recubrimiento el que determina la presencia de burbujas de gas en el metal soldadura. El balance apropiado de esos ingredientes es crítico para obtener la integridad que se demanda en el metal soldadura. El ferromanganeso es el ingrediente más comúnmente usado para obtener el correcto balance de ingredientes en el recubrimiento.

h) Impartir propiedades mecánicas al metal soldado:

Propiedades mecánicas específicas pueden ser incorporadas al metal soldadura por medio del recubrimiento; valores altos de resistencia al impacto a bajas temperaturas, alta ductilidad, un definido límite elástico y resistencia a la tensión son propiedades que pueden ser obtenidas mediante la adición de aleaciones al recubrimiento.

i) Aislar eléctricamente el núcleo de alambre:

El recubrimiento actúa también como un aislante evitando que el núcleo de la varilla haga corto circuito cuando se aplique en espacios angostos y sirve como protección al operador cuando cambia electrodos.

Los materiales de recubrimiento se clasifican en seis grupos principales y cada uno de ellos tienen una función definida:

- 1) Elementos de aleación: tales como el molibdeno, cromo, níquel, manganeso y otros, imparten propiedades mecánicas específicas al metal soldadura.
- 2) Aglutinantes. los silicatos de sodio y potasio son usados en los recubrimientos de electrodos como aglutinantes. Su función es formar una masa de material

plástico, capaz de poder ser extruida y horneada. El recubrimiento final ya horneado, deber lo suficientemente firme para mantener un cráter, y su resistencia debe ser suficiente para que no se fracture ó despostille. Los aglutinantes tienen también la función de proporcionar resistencia a la combustión y evitar una descomposición prematura.

- 3) Formadores de gases: los materiales más comunes usados como formadores de gases, son los carbohidratos, hidratos y carbonatos. Como ejemplos podemos mencionar la celulosa de madera, los carbonatos de calcio y magnesio y el agua combinada químicamente que se encuentra en las micas y arcillas. Con la alta temperatura del arco, estos materiales generan bióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) y vapor de agua (H_2O). El agua libre es otro ingrediente formador de gas; ésta se encuentra particularmente en los electrodos del tipo celulósico en cuya formación se utiliza entre un 2 a 3% de agua pura. Aquí es importante resaltar que electrodos con aglutinantes que generen humedad en la mezcla de gases de protección son de baja resistencia.
- 4) Estabilizadores de arco: el aire por si mismo no es suficientemente conductivo para mantener un arco estable, por lo que se hace necesario agregar ingredientes al recubrimiento que proporcionen una condición conductiva para el flujo de la corriente. Esto es particularmente importante cuando se suelda con corriente alterna. Los materiales estabilizadores son: compuestos de titanio, compuestos de potasio y compuestos de calcio.
- 5) Formadores de escoria: esos ingredientes se usan principalmente para dar cuerpo a la escoria e impartir propiedades como viscosidad, tensión superficial y punto de fusión. Los materiales usados para este objetivo son, entre otros, la sílica y la magnetita.
- 6) Plastificantes: los recubrimientos con frecuencia están formados por materiales granulares y arenosos

La clasificación AWS ha sido desarrollada durante muchos años por la Sociedad Americana de Soldadura. En esta clasificación, los electrodos para aceros al carbón están clasificados tomando como base las propiedades físicas (llamadas también propiedades mecánicas) del metal soldadura, el tipo de recubrimiento, la posición para soldar y el tipo de corriente (alterna o directa). El sistema de clasificación también está diseñado para proporcionar información acerca de los propios electrodos y el depósito que producen:

E 6010, donde:

- E significa electrodo
- Los dos primeros dígitos (o en algunos casos tres), indican la resistencia a la tensión por 1,000 lb / in².
- El tercer dígito se refiere a la posición para soldar, donde 1 es cualquier posición (plana, horizontal, vertical), 2 es horizontal y plano solamente y 3 es posición plana solamente.
- El último dígito indica el uso del electrodo con tipo de corriente y tipo de recubrimiento.

Tabla #1: Clasificación AWS de los electrodos revestidos¹⁹

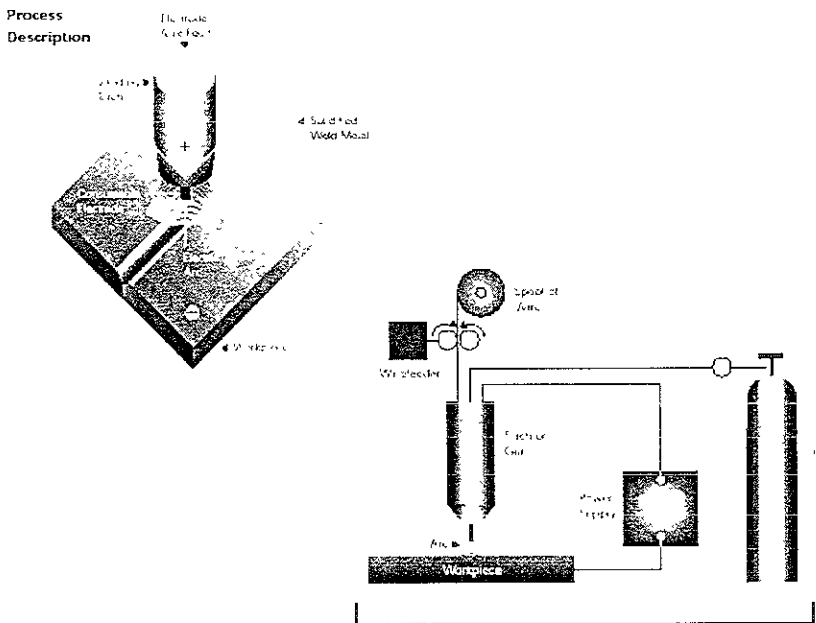
Clasificación (AWS)	Corriente	Arco	Penetración	Tipo de Escoria	% de polvo hierro
E XX1 0	Directa, polaridad inversa	Fuerte	Profunda	Celulósica - sódica	0 - 10
E XXX 1	Directa y alterna, polaridad inversa	Fuerte	Profunda	Celulósica - potásica	0
E XXX 2	Directa y alterna, polaridad inversa	Medio	Mediana	Rútilica - sódica	0 - 10
E XXX 3	Directa y alterna, polaridad inversa y directa	Suave	Ligera	Rútilica - potásica	0 - 10
E XXX 4	Directa y alterna, polaridad inversa y directa	Suave	Ligera	Rútilica - polvo de hierro	25 - 40
E XXX 5	Directa, polaridad inversa	Medio	Mediana	Bajo hidrógeno - sódica	0
E XXX 6	Directa y alterna, polaridad inversa	Medio	Mediana	Bajo hidrógeno - potásica	0
E XXX 8	Directa y alterna, polaridad inversa	Medio	Mediana	Bajo hidrógeno - polvo de hierro	25 - 40
E XX2 0	Directa y alterna, polaridad directa	Medio	Mediana	Oxido de hierro - sódica	0
E XX2 2	Directa y alterna, polaridad inversa y directa	Medio	Mediana	Oxido de hierro - sódica	0
E XX2 4	Directa y alterna, polaridad inversa y directa	Suave	Ligera	Rútilica - polvo de hierro	50
E XX2 7	Directa y alterna, polaridad inversa y directa	Medio	Mediana	Oxido de hierro - polvos de hierro	50
E XX2 8	Directa y alterna, polaridad inversa	Medio	Mediana	Bajo hidrógeno - polvos de hierro	50
E XX4 8	Directo y alterna, polaridad inversa	Medio	Mediana	Bajo hidrógeno - polvos de hierro	25 - 40

¹⁹ Soldadura Tecnología Básica 1994 San Nicolás de los Garza, Nuevo León: Gerencia de Servicios Técnicos de Electrodo Monterrey, S A de C V

Capítulo VI: Proceso de soldadura por arco con alambre sólido protegido por gas inerte (GMAW)

6.1 Descripción del Proceso

La soldadura por arco con alambre sólido y gas²⁰ es un proceso en el que la soldadura se realiza con el calor de un arco eléctrico que se establece entre un electrodo metálico consumible y el ensamble a soldar. El electrodo es un alambre metálico desnudo, el cual se transfiere a través del arco hacia el charco de soldadura en fusión. El alambre, el charco de soldadura y el área en la zona del arco son protegidos de la atmósfera por una pantalla de gas. Para lograr esta protección se usan gases inertes, gases reactivos y mezclas de gases. La forma de transferencia del metal depende de la selección del gas protector y del nivel de la corriente para soldar.



Figuras 10 y 11. proceso GMAW
Fuente: *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*

²⁰ Leturno, D. B. 1997. *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*. Danbury, CT, USA. Welder Training Program Praxair Inc.

La soldadura por arco con alambre sólido y gas es un proceso versátil que puede usarse para soldar una amplia variedad de metales como: aceros al carbón, aceros inoxidable, aceros de baja aleación y aluminio. Se puede usar también para soldar láminas ó secciones relativamente gruesas. Las soldaduras pueden hacerse en todas las posiciones y el proceso puede usarse para soldadura automática o semiautomática.

En soldadura semiautomática, la velocidad de alimentación del alambre, el voltaje, el amperaje y el flujo de gas son preestablecidos en los controles del equipo. El operador necesita simplemente guiar la pistola a lo largo de la junta, o la pistola puede permanecer estacionaria y el ensamble girando.

Prácticamente toda la soldadura hecha con este proceso usa electrodo positivo. Esta polaridad proporciona penetración profunda, un arco estable y bajos niveles de salpicadura. La corriente alterna no se usa para este proceso.

Para entender mejor este proceso puede depositar metal soldadura a alta velocidad, es necesario que el término "densidad de corriente" sea comprendido. La figura muestra un electrodo revestido de $\frac{1}{4}$ " de diámetro y un alambre sólido de $\frac{1}{16}$ " de diámetro. Ambos son capaces de transportar 400 amperios. Nótese que el área del alambre de $\frac{1}{16}$ " de diámetro es únicamente una cuarta parte del área del alambre de electrodo revestido.

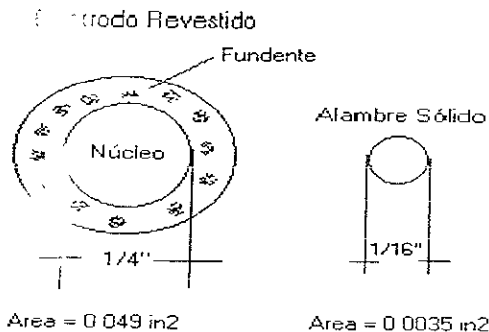


Figura 12 comparación entre un electrodo revestido y un alambre sólido
Fuente: *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*

Por lo tanto se puede expresar que la densidad de corriente de un alambre de $\frac{1}{16}$ ", es 14 veces más grande que en un alambre de $\frac{1}{4}$ " en iguales corrientes de soldadura. La resultante velocidad de fusión del alambre sólido es muy elevada. Si aumentáramos la corriente en el electrodo de $\frac{1}{4}$ " para aumentar la densidad

de corriente; el calor generado por resistencia a través de las 14" de longitud del electrodo sería excesivo y la varilla se calentaría tanto que agrietaría al revestimiento y dejaría inservible al electrodo. El alambre de 1/16" transporta esa elevada corriente en una distancia menor de $\frac{3}{4}$ " que es la distancia aproximada del extremo del tubo de contacto al arco.

6.2 Modalidades de Transferencia

El proceso GMAW tiene 3 modalidades distintas de transferencia de metales: corto circuito, globular y spray). La modalidad de transferencia de metales es determinada por muchos factores, incluyendo la corriente, el diámetro del alambre, el voltaje o longitud del arco, las características del suministro de energía y el gas de protección.

La Sociedad Americana de Soldadura define la soldadura GMAW-S (corto circuito) de la siguiente manera: "un proceso de soldadura por arco con alambre sólido protegido por gas inerte en el que el alambre consumible es depositado durante cortos circuitos repetidos".

En la modalidad de corto circuito, el electrodo es alimentado a una velocidad constante a un rango que excede el rango de fusión. Cuando tiene contacto con el baño de soldadura fundido, ocurre un corto circuito, y en ese momento no hay arco. La corriente entonces empieza a elevarse y calienta el alambre hasta que está en un estado plástico. Al mismo tiempo, el alambre empieza a deformarse o reducirse debido al efecto de contracción electromagnética. Eventualmente el valor de la corriente y la fuerza de contracción resultante ocasionan una caída del metal para desprenderse hacia el área de fusión. En este punto, se establece un arco. Esta secuencia se repite por sí misma aproximadamente 50 a 250 veces por segundo.

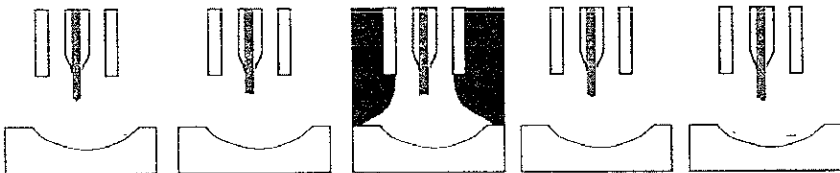


Figura 13 transferencia del metal por la modalidad de corto circuito
Fuente: *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*

Puesto que no se establece arco durante el corto circuito, la entrada de calor general es baja, y la profundidad de fusión es relativamente baja; por esto, se debe tener cuidado en la selección del procedimiento y de la técnica de soldadura para asegurar una fusión completa cuando se efectúe soldadura de metal grueso. Debido a sus características de baja entrada de calor, el proceso produce áreas de fusión de soldadura pequeñas, que se solidifican rápidamente, lo que la hace ideal para soldar en todas las posiciones. La transferencia de corto circuito también es particularmente adaptable para soldar chapas metálicas con una distorsión mínima y para rellenar partes con espacios libres o con un mal ajuste, con menos tendencia a la fusión de un lado a otro de la parte que se está soldando.

La transferencia globular se caracteriza por la transferencia del metal fundido en grandes gotas a través del arco. Esta modalidad de transferencia se lleva a cabo cuando el voltaje de arco y corriente están entre los niveles de voltaje y corriente en transferencia de corto circuito y spray, y ocurre con todos los tipos de gas de protección. La transferencia globular se caracteriza por un tamaño de gota aproximadamente dos a cuatro veces mayor que el diámetro del electrodo.

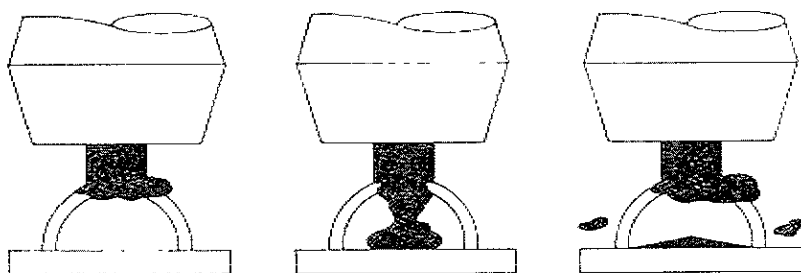


Figura 14. transferencia globular del metal
Fuente: *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*

Estas fuerzas tienden a mantener la gota en el extremo del alambre. Con el bióxido de carbono la gota crece en tamaño y eventualmente se transfiere por gravedad debido a su peso o corto circuito a través del espacio abierto del arco.

En la transferencia por spray, el metal fundido es propulsado axialmente a través del arco en pequeñas gotas. En una mezcla de gases de cuando menos 80% de argón, la transferencia del metal del electrodo cambia de modalidad globular a

spray, al aumentar la corriente de soldadura para cualquier diámetro de electrodo. El cambio se lleva a cabo a un valor que se llama la corriente de transición globular-spray.

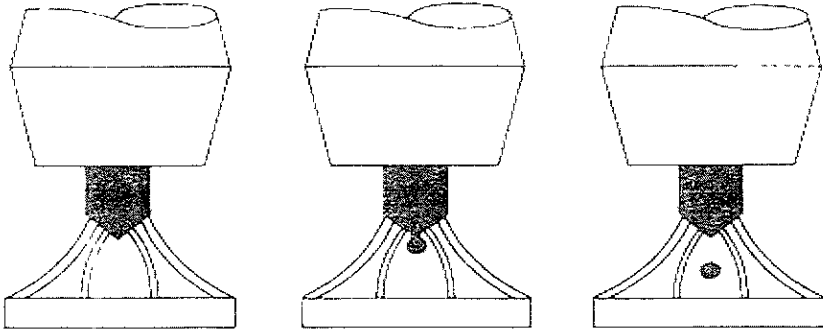
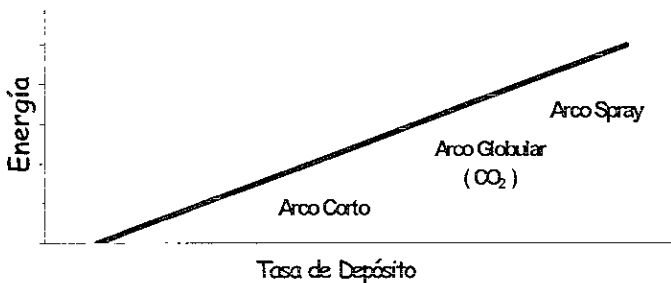


Figura 15. transferencia spray
Fuente: *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*

El metal fundido se transfiere a través del arco al ser las pequeñas gotas iguales o menores que el diámetro del electrodo. La transferencia de metal se dirige axialmente a la pieza de trabajo. Puesto que las gotas de metal son pequeñas, la velocidad de transferencia puede ser tan alta como varios cientos de gotas por segundo. Sólo se puede soldar en posición plana.

Gráfica #3: Tipos de Transferencia en proceso GMAW



6.3 Equipo para proceso GMAW

El equipo usado para la soldadura por arco con alambre sólido y gas es más complicado que el requerido para la soldadura por arco con electrodo revestido. El costo inicial es relativamente alto, pero se amortiza rápidamente debido a los ahorros en mano de obra y gastos generales logrados por la rápida deposición de soldadura.

A continuación describimos el equipo básico necesario para soldadura semiautomática por arco con alambre sólido y gas:

1) Fuente de Poder

Para este proceso se recomienda usar una fuente de poder de corriente directa y voltaje constante. Puede ser un transformador rectificador ó un inversor. Sus características de auto corrección de longitud del arco y su voltaje de circuito abierto más bajo, son las que la hacen la más adecuada. Las fuentes de poder de voltaje constante que se usan para soldar con electrodos con núcleo de fundentes y las que se usan para soldar por transferencia tipo rocío (spray) son similares.

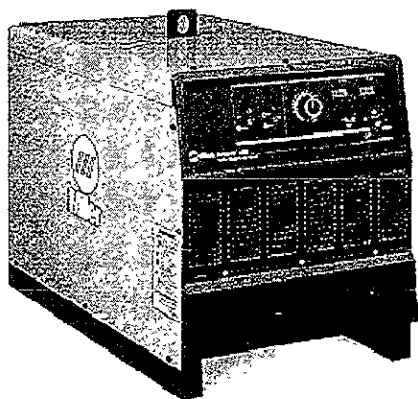


Figura 16 fuente de poder de una máquina para proceso GMAW
Fuente *Catálogo de Productos 2000 Miller*

Las máquinas soldadoras diseñadas para soldadura por arco con gas y alambre sólido tienen una toma de corriente de 115 voltios que proporciona la energía para operar el alimentador de alambre. También tienen un receptáculo para recibir la energía eléctrica requerida para cerrar el contactor principal en la fuente de poder, misma que envía la corriente a la pistola cuando se activa el gatillo.

2) Alimentador de alambre

Cuando se solda con una fuente de poder de voltaje constante, como es el caso en la mayoría de las aplicaciones de soldadura por arco con alambre sólido y gas, la función principal del alimentador es la de entregar el alambre para soldar hacia el arco a una velocidad constante. Como la velocidad de alimentación del alambre determina el amperaje, y el amperaje determina la cantidad de calor en el arco, una alimentación no consistente del alambre producirá soldadura de penetración variable y con presentación irregular en su acabado. La nueva tecnología electrónica ya hace posible el diseñar motores con controles de velocidad que producirán la misma velocidad aunque varíe la carga en el motor ó el voltaje de entrada al motor esté oscilando.

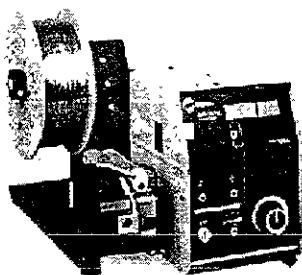


Figura 17: alimentador del microalambre para una máquina de proceso GMAW
Fuente. *Catálogo de Productos 2000 Miller*

Por razones de seguridad el alimentador también controla al contactor principal de la soldadora. Esto asegura que el alambre se energizará únicamente cuando se oprima el gatillo de la pistola soldadora.

El fluido de gas protector está controlado por una válvula solenoide (magnética) integrada en el alimentador para entregar o suspender el flujo al operar el gatillo de la pistola. La mayoría de los alimentadores utilizan un circuito de freno dinámico para detener rápidamente el motor al final de la soldadura y evitar que

el alambre siga alimentándose cuando se ha terminado de soldar. La mayoría de los alimentadores tienen un circuito especial que permite a la corriente de soldadura el sostenerse por un corto periodo de tiempo después de que se ha interrumpido la alimentación de alambre, de tal manera que la punta del alambre se quema solo lo suficiente para permitir fácilmente el reinicio del arco.

Los rodillos alimentadores ó roles de guía, jalan al alambre del carrete y lo impulsan a través de un conducto hacia la pistola para soldar. Estos rodillos generalmente se cambian para poder acomodar diferentes diámetros de alambre, aunque algunos roles están diseñados para alimentar una combinación de medidas.

3) Pistola soldadora

Su función es entregar el alambre para soldar, la corriente y el gas protector hacia el arco.

Existen pistolas para operación semiautomática y automática.

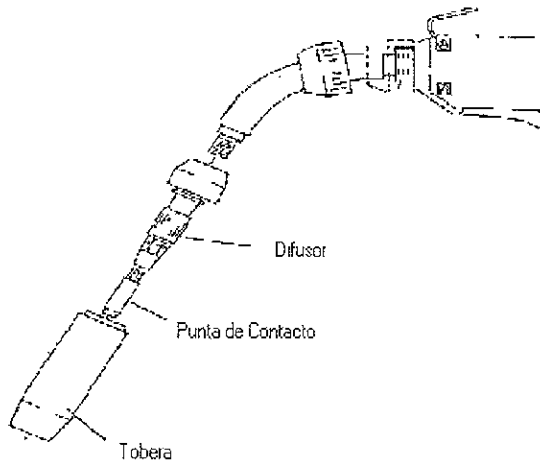


Figura 18 pistola soldadora para proceso GMAW y sus partes principales
Fuente: *Catálogo de Productos 2000 Miller*

Las pistolas para el proceso de soldadura por arco con alambre sólido y gas, tienen varias características en común. Todas tienen una tobera de aleación de cobre por donde se entrega el gas protector hacia el área del arco sin causar turbulencia y evitando la aspiración de aire atmosférico. La pistola puede ser

enfriada por agua para soldadoras semiautomáticas de alto amperaje, y para soldaduras automáticas en donde el arco es de larga duración. La corriente de soldadura se transfiere al alambre a medida que este viaja a través de la punta de contacto que está situada dentro de la tobera. El orificio en la punta de contacto (por el que pasa el microalambre) es solamente unas cuantas milésimas de pulgada mayor que el diámetro del alambre. Un tubo de contacto desgastado ocasionará un arco errático debido a la pobre transferencia de la corriente.

Capítulo VII: Breve descripción de otros procesos de soldadura

7.1 Soldadura por arco con alambre tubular (FCAW)

En lo que se refiere al equipo y aplicación, el proceso FCAW²¹ es muy similar al proceso con alambre sólido.

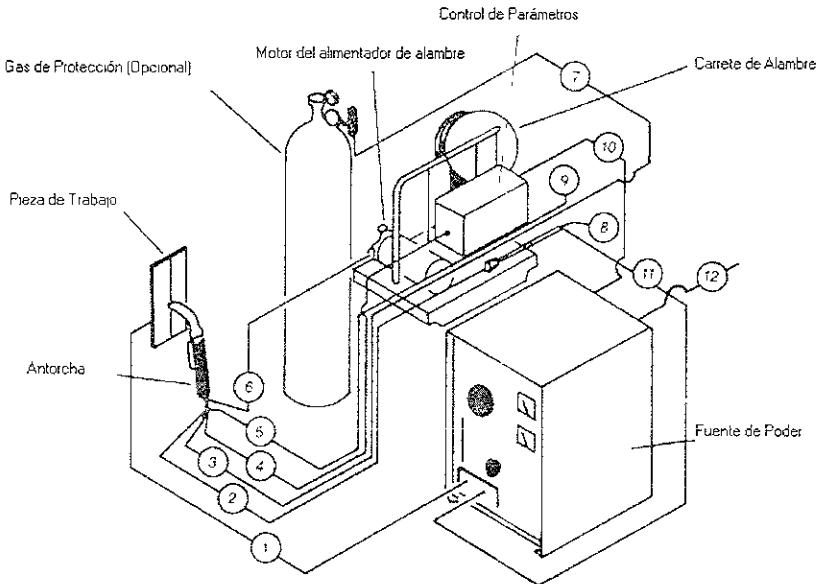


Figura 19 descripción del proceso FCAW
Fuente. *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*

La mayor diferencia entre éstos dos procesos estriba en el propio alambre, ya que el tubular posee un núcleo de fundente que el alambre sólido no tiene. El alambre tubular se fabrica a partir de una cinta ó fleje metálico, el cual primero se dobla en forma de "U" en donde se deposita el fundente y enseguida esa "U" es cerrada mediante el uso de rodillos formadores, para configurar el pequeño tubo.

El alambre tubular es un electrodo continuo que se alimenta al arco eléctrico donde se funde y transfiere al charco de metal fundido.

²¹ *Soldadura Tecnología Básica* 1994 San Nicolás de los Garza, Nuevo León: Gerencia de Servicios Técnicos de Electrodo Monterrey, S.A. de C V

Como en el alambre sólido el alambre tubular también requiere de un gas de protección que evite la oxidación del aire atmosférico. En los alambres tubulares la contaminación se evita de dos maneras principalmente: aplicando un gas protector de una fuente externa ó generando el gas protector exclusivamente por descomposición de los ingredientes del fundente contenido en el núcleo del electrodo (alambre autoprotegido).

Además del gas protector, el electrodo tubular produce una cubierta de escoria para mayor protección del metal soldadura durante su proceso de solidificación. Esta escoria se remueve manualmente con cepillo.

El arco formado por electrodo de alambre tubular utiliza básicamente los mismos principios de densidad de corriente explicados anteriormente. Sin embargo, en el alambre tubular los ingredientes granulares del fundente son malos conductores de electricidad y por lo tanto la corriente fluye principalmente a través de la capa exterior del metal. Cuando se comparan dos secciones transversales del mismo diámetro se observa que el alambre tubular tiene un área con capacidad para transportar corriente mucho más pequeña que el alambre sólido. Esta mayor concentración de corriente sobre un área menor ocasiona un mayor rango de consumo de electrodo y consecuentemente una mayor de deposición.

7.2 Soldadura por Arco Sumergido (SAW)

Este proceso²² difiere de los anteriormente expuestos debido a que el arco, tal como su nombre lo indica, no es visible, ya que se encuentra cubierto por un fundente granular suelto. Un electrodo continuo es alimentado automáticamente mediante rodillos a través de un portaelectrodo, donde la corriente es transmitida por la boquilla de contacto. El electrodo se mueve hacia el fundente donde se inicia el arco y el fundente es alimentado sobre la superficie a soldar mediante una tolva y tubo dosificador que se desplaza a la misma velocidad que el electrodo.

El fundente ayuda a formar el charco de metal fundido, retarda el enfriamiento y actúa como escudo protector. También forma la cubierta de escoria y el exceso que no se funde puede ser reutilizable.

²² Soldadura Tecnología Básica 1994 San Nicolás de los Garza, Nuevo León Gerencia de Servicios Técnicos de Electrodo Monterrey, S A de CV

Algunas ventajas de este proceso es que la radiación es atenuada por el fundente sólido, no se produce salpique, genera una mínima cantidad de humos y es un proceso de alta deposición de soldadura (alta corriente y alta velocidad de alambre). Entre las desventajas se puede mencionar la recolección de fundente no utilizado, el equipo no puede ser movable (es grande y pesado) y solamente se puede soldar en posición plana y horizontal.

7.3 Soldadura por Arco en Gas Inerte con Electrodo de Tungsteno (GTAW)

La Sociedad Americana de Soldadura define la Soldadura GTAW²³ como "un proceso de soldadura por arco que produce coalescencia de metales al calentarse con un arco entre un electrodo de tungsteno (no consumible) y la pieza de trabajo. La protección se obtiene por medio de un gas. Puede o no usarse metal de aporte".

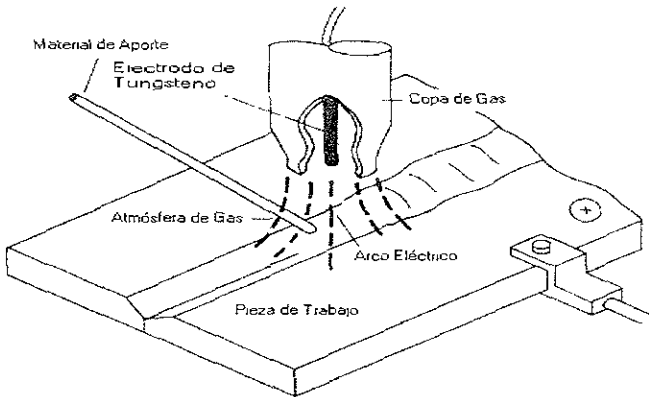


Figura 20. descripción del proceso GTAW
Fuente: *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*

El uso de electrodos de tungsteno no consumibles y de gases de protección inertes produce las soldaduras de más alta calidad de cualquier otro proceso de soldadura con arco descubierto. Las soldaduras son brillantes y pulidas, sin escoria o salpicaduras, y requieren muy poca o ninguna limpieza posterior a la soldadura. La soldadura GTAW se usa fácilmente en todas las posiciones de

²³ *Certification Manual For Welding Inspectors* (3th Edition) 1993, Miami, FL, USA. American Welding Society

soldadura y proporciona excelente control en el área de fusión de la soldadura, especialmente en partes delgadas e intrincadas.

La soldadura por arco con electrodo de tungsteno y gas puede ser ejecutada con equipo relativamente sencillo.

La fuente de poder (CA ó CD) dependerá del tipo y espesor del material a soldar, así como la polaridad ya que en este proceso, la distribución de calor entre el electrodo y el metal base es controlada por la polaridad. En forma generalizada podemos establecer que con corriente directa, polaridad normal y electrodo negativo se logra una penetración profunda concentrando el calor en el metal base sin remoción de óxidos en el mismo. Con corriente alterna, la penetración es mediana, distribuyendo el calor entre el electrodo y el metal base con una buena limpieza y remoción de óxidos. Si utilizamos corriente directa con polaridad invertida y electrodo positivo se logra una máxima remoción de óxidos, concentración del calor en el electrodo y un cordón ancho con baja penetración.

El soplete es realmente un portaelectrodo que transmite la corriente al electrodo de tungsteno y el gas a la zona del arco. El electrodo se sostiene con un aditamento tipo mordaza que permite el ajuste para regular la extensión del electrodo que sobresale de la boquilla de gas. Los sopletes manuales están diseñados para aceptar electrodos de 3 a 6" de longitud. Los sopletes son enfriados por agua o aire. Las boquillas son fabricadas en materiales de cerámicas y su diseño cubre varias medidas y formas.

Los electrodos de tungsteno se venden en diámetros desde .010 hasta $\frac{1}{4}$ ". La forma de la punta es un factor importante en este proceso ya que si por ejemplo sé soldan juntas muy delgadas, el esmerilar el electrodo finamente (como punta de alfiler), se manifestará en un arranque fácil del arco con buena estabilidad y un cordón de buena apariencia.

Capítulo VIII: Gases de Protección

8.1 Aplicaciones Generales de los Gases en la Industria

Nuestro planeta se encuentra rodeado de una atmósfera que es una mezcla de gases a la que se le denomina aire. La importancia del aire radica en que determina el clima de la tierra y contiene el elemento que sostiene la vida, el oxígeno.

También encontramos gases en muchas otras situaciones: en el universo, el hidrógeno y el helio son elementos muy abundantes en las estrellas; los gases sulfurados de un volcán en actividad; mezclas de hidrocarburos en los pozos petroleros.

Sabemos que un gas es un estado en que se encuentra la materia y algunas de sus características principales es que un gas se expande hasta llenar el recipiente que lo contiene; en consecuencia, el volumen de un gas es igual al volumen de su recipiente. Igualmente, los gases se pueden comprimir con facilidad. Al aplicar presión a un gas, su volumen disminuye.

Los gases forman mezclas homogéneas unos con otros sin importar la identidad o la proporción relativa de los gases componentes de ella.

Estas propiedades generales que hemos comentado, se deben a que las moléculas individuales están relativamente separadas.

En la industria existen un sin fin de aplicaciones para los gases, algunas de ellas se mencionan a continuación:

En la industria alimenticia, el bióxido de carbono, obtenido como subproducto de varios procesos petroquímicos, es muy utilizado para la carbonatación de bebidas, congelación y transporte de alimentos. Otra aplicación importante para este gas es la neutralización de sistemas alcalinos para el tratamiento de aguas.

El nitrógeno es un gas muy abundante en la naturaleza, se obtiene por la destilación fraccionada del aire líquido y su carácter inerte lo hace ideal en la aplicación de atmósferas inertes en las industrias farmacéutica, alimenticia, química y petroquímica. En estado líquido también es utilizado para congelación

de alimentos y molienda criogénica. También se utiliza en hornos para tratamiento térmico y el flotado del vidrio.

Otro gas muy abundante y que se obtiene en el mismo proceso del nitrógeno es el oxígeno. Además de su abundante uso para cortar y soldar metales, se utiliza para tratamiento de aguas residuales, en piscicultura, hornos de incineración y por supuesto, para uso medicinal.

Gases de la familia de los raros o inertes como el xenón, neón y el kriptón se utilizan ampliamente en lámparas, equipos de diagnóstico médico por imagenología e investigación.

El helio, otro gas de la familia de los inertes, se utiliza para inflado de globos publicitarios y de investigación, para buceo profesional, como gas de arrastre para equipos de instrumentación analítica y para identificación de fugas. En estado líquido se utiliza para el enfriamiento de magnetos en equipos de resonancia en los hospitales y laboratorios de diagnóstico clínico.

El argón, será otro de los gases que detallaremos con mayor precisión, pero es muy utilizado en algunas aplicaciones de metalurgia y aleaciones especiales así como gas de cromatografía.

Algunos gases especiales como el monóxido de carbono, el bióxido de azufre, el ácido sulfhídrico y el óxido nítrico son muy utilizados para la elaboración de mezclas de referencia para calibración de equipos de monitoreo ambiental e instrumentación analítica.

8.2 Gases Utilizados en Soldadura

En la industria metalmeccánica, para el corte y soldadura de metales, se utilizan el nitrógeno, el helio, el argón, el bióxido de carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el acetileno. En el resto de este capítulo detallaré características de los gases utilizados en soldadura.

En los procesos de soldadura descritos en los capítulos anteriores se mencionó el uso de gases de protección contra la oxidación del aire en el charco del metal soldadura.

Podemos utilizar gases puros o mezclas de gases. Estas últimas tienen el objetivo de optimizar el proceso, debido a la combinación de algunas propiedades, como la conductividad térmica.

La conductividad térmica de un gas es su capacidad de conducir calor. Tiene influencia sobre la pérdida de calor radial desde el centro de la periferia de la columna de arco. Un gas que tenga baja conductividad térmica, producirá un arco que tiene dos zonas: un núcleo caliente estrecho y una zona exterior considerablemente más fría. Como resultado, el perfil de penetración del área de fusión de la soldadura muestra "un dedo" estrecho en la raíz y una parte superior más ancha. Por otro lado, un gas que tenga alta conductividad térmica conducirá más calor hacia fuera del núcleo, dando por resultado un arco más amplio y caliente. Al combinarse dos gases en una mezcla para soldar, este tipo de distribución de calor proporcionará una entrada del mismo más uniforme a la superficie de la pieza de trabajo y un perfil general más amplio a través de la zona de fusión.

En cualquier líquido existe una fuerza de atracción ejercida por las moléculas que se encuentran debajo de la superficie (tensión superficial). Un tirón hacia adentro (presión interna), se crea de esa manera y tiende a restringir al flujo de líquido. Su resistencia variará de acuerdo a la naturaleza química de cada líquido.

En el charco de soldadura, la tensión superficial entre el acero fundido y la atmósfera circundante tiene una influencia pronunciada en la forma del cordón de soldadura. Si el valor de la energía es alto, habrá como resultado un cordón de soldadura irregular. Los valores bajos promueven los cordones más planos con una susceptibilidad mínima a la socavación.

Aquí tenemos otro ejemplo de cómo al combinar gases, se mejoran palpablemente las propiedades de la soldadura. La protección con argón puro generalmente se asocia con una alta energía interfacial, produciendo un área de fusión lenta y un cordón de soldadura con una corona alta. Esto se atribuye parcialmente a la alta tensión superficial del hierro líquido en una atmósfera inerte. Los óxidos de hierro sin embargo, tienen una tensión superficial considerablemente más baja y por lo tanto promueven un buen baño al metal base. De ahí que la adición de porcentajes de oxígeno y bióxido de carbono al argón, dará por resultado un área de fusión de soldadura más fluida.

Otra propiedad de los gases importante a considerar, es la densidad, que es el peso del gas por volumen unitario. La densidad tiene influencia en la efectividad

de protección. Los gases más pesados que el aire requieren velocidades de flujo más bajas que los gases que son más ligeros.

Las velocidades de soldadura máximas dependen en gran parte del gas de protección que se seleccione, debido a la combinación de las propiedades de transferencia de calor, potencial oxidante y características de transferencia de metal.

Los gases con alta conductividad térmica producen el área de fusión más caliente y fluida.

Las mezclas que permiten la transferencia spray proporcionan un más alto nivel de eficiencia del depósito y generalmente mayores velocidades de recorrido y mejor aspecto del cordón, como lo muestra la siguiente ilustración:

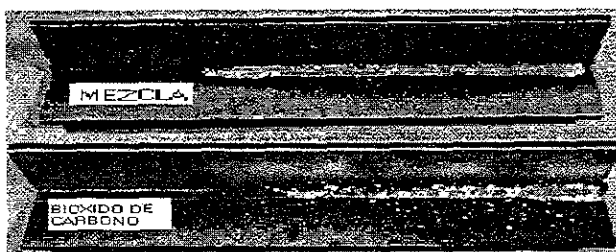


Figura 21. ejemplos de cordones resultantes con dos distintos gases de protección, en el ejemplo de arriba una mezcla argón - bióxido de carbono y en el segundo caso con bióxido de carbono puro, es notable el incremento de chisporroteo
Fuente: *CD Capacitación Miller*

Por ejemplo, en el mismo período de tiempo, una mezcla de argón en la modalidad de arco spray se puede producir un 20% más rápido que una soldadura hecha con bióxido de carbono en la modalidad globular (en soldadura de filete de $\frac{1}{4}$ " y más grandes, con la misma velocidad de alimentación de alambre, diámetro del alambre y tamaño del cateto del filete).

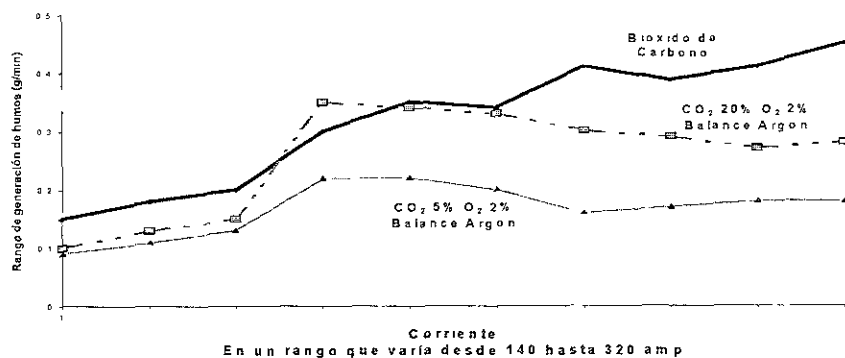
Además del gas de protección y del tamaño de soldadura, otros factores que afectan la velocidad de la soldadura incluyen la corriente y el voltaje, la posición de la soldadura, el ajuste de las juntas soldadas y la modalidad de recorrido (manual o mecanizada). Se logran las máximas velocidades de soldadura para cualquier gas en las aplicaciones mecanizadas con una placa limpia y muy buen ajuste.

En una aplicación manual, la habilidad del operador es frecuentemente el factor limitante. La capacidad de un soldador para seguir la trayectoria de manera

consistente a una costura de soldadura y depositar una soldadura aceptable es generalmente alrededor de 35 a 40 pulgadas por minuto.

Los humos y gases son creados por la reacción química entre el metal caliente y los gases activos como el oxígeno o el bióxido de carbono. La generación de humos por contaminación pueden disminuirse usando mezclas de argón, las que producen menos humos y gases, como se muestra en la siguiente gráfica:

Gráfica #4: Generación de humos de diferentes gases y mezclas de protección



Hasta aquí hemos comentado algunas ventajas de la utilización de las mezclas, y más adelante analizaremos las características de algunas mezclas de gases indicando sus composiciones, pero primero revisaremos las características individuales de los gases que son utilizados químicamente puros en procesos de soldadura: argón, helio y bióxido de carbono (estos se combinan entre sí) y del oxígeno y el hidrógeno (también utilizados para formar mezclas).

a) Argón

Constituye menos del 1% de la atmósfera de la tierra. Se clasifica en la tabla periódica de los elementos en la familia de los gases nobles.

Es un gas incoloro, inodoro, insípido, no es tóxico y es inerte, propiedad que lo convierte en un elemento ideal como protección contra la contaminación atmosférica en un proceso de soldadura. El argón también provoca buenas características al arranque de arco debido a su bajo potencial de ionización.

Generalmente es utilizado en proceso GTAW ó GMAW para soldar metales con base no ferrosa (aluminio, acero inoxidable, níquel o cobre). Se combina con el oxígeno y el bióxido de carbono para soldar acero al carbón en proceso GMAW, con helio para proceso GMAW ó GTAW, y con el hidrógeno para proceso GTAW.

Su baja conductividad térmica produce una columna de arco estrecha, reducida y que permite mayores variaciones en la longitud del arco con una influencia mínima en la energía del arco y la forma del cordón de soldadura.

b) Helio

Es el segundo elemento más ligero, después del hidrógeno y es más ligero que el aire. Pertenece a la misma familia que el argón y posee propiedades físicas similares.

Debido a su alta conductividad térmica y alta energía de ionización, el helio se usa como un gas de protección para aplicaciones de soldadura cuando se desea un aumento en la entrada de calor lo que va a significar mejor penetración y un cordón de soldadura más ancho.

Generalmente se utiliza para soldar aluminio con un proceso GTAW mecanizado, pero su arco es menos estable, se deben mantener altas velocidad de flujo y su costo es muy elevado.

c) Bióxido de Carbono

Es un gas reactivo, es decir, se disocia en monóxido de carbono y oxígeno con el calor del arco:



El oxígeno luego se combina con elementos que se transfieren a través del arco para formar óxidos que son liberados del baño de soldadura en fusión en forma de escoria e incrustaciones que generan una gran cantidad de vapores y humos. El electrodo (alambre sólido) debe contener altas cantidades de elementos desoxidantes para compensar la pérdida de elementos de aleación al soldar con este tipo de gas.

A pesar de este efecto, el gas carbónico es muy popular para soldar aceros al carbón con alambres sólidos y tubulares debido a su relativo bajo costo y

también a que se pueden lograr soldaduras consistentes, aunque la eficiencia del depósito disminuye por salpicaduras lo que afectará el costo final del proceso.

Con el bióxido de carbono no se puede hacer transferencia por spray, únicamente por corto circuito y globular.

Ahora mencionaremos algunas características de las mezclas existentes en el mercado:

d) Mezclas Argón - Bióxido de Carbono

Estos gases mezclados, se utilizan para soldar aceros al carbón de baja aleación. Se busca con estas mezclas, niveles de corriente más altos para establecer y mantener una transferencia de spray estable.

Con porcentajes superiores al 20% en bióxido de carbono, la transferencia por spray se vuelve inestable y ocurre transferencia globular y corto circuito.

Mezclas de composición 5% de bióxido de carbono base argón se utilizan para soldaduras fuera de posición.

Mezclas 8% de composición en CO_2 , el comportamiento es similar a la mezcla anteriormente descrita, pero con un aumento en la entrada de calor, lo que proporciona un área de fusión de soldadura más amplia y fluida en la transferencia por corto circuito o por spray.

Al trabajar con mezclas de 15% CO_2 , éstas se pueden aplicar en aceros al carbono de baja aleación. En la modalidad de transferencia por corto circuito, se logra una máxima productividad en metales de calibre delgado, minimizando la excesiva tendencia a la fusión de un lado a otro en comparación con mezclas con alto contenido de CO_2 , mientras se aumentan las velocidades de deposición y de recorrido. Al aumentar los porcentajes de bióxido de carbono del rango del 20% (niveles máximos de arco por spray), ocurren mejoras en la eficiencia de depósito debido a la disminución de pérdida por salpicaduras. Esta mezcla soportará la modalidad de transferencia de arco por spray.

Una mezcla con 25% de contenido de CO_2 y el resto en argón, se usa comúnmente para soldadura GMAW transferencia por corto circuito en aceros de bajo contenido de carbono y proporciona una frecuencia óptima de goteo utilizando microalambres de diámetro 0.035 y 0.045". Esta mezcla opera bien en

aplicaciones de corriente intensa en metal de base pesada. Promueve buena estabilidad de arco, control del baño de soldadura en fusión y apariencia del cordón de soldadura. No soportará la modalidad de transferencia de metal del tipo por spray.

e) Mezclas Argón - Oxígeno

La adición de pequeñas cantidades de oxígeno al argón estabiliza de gran manera el arco de soldadura, aumenta la velocidad de la gota de metal de aporte, baja la corriente de transición de spray y tiene influencia sobre la forma del cordón de soldadura. El baño de soldadura en fusión es más fluido y permanece fundido por más tiempo, permitiendo que el metal fluya hacia fuera a los bordes de soldadura.

Mezclas con 1% de composición en oxígeno se usan principalmente para transferencia en spray para aceros inoxidable. Ese porcentaje de oxígeno generalmente es suficiente para estabilizar el arco y mejorar la velocidad de la gota y la apariencia del cordón de soldadura.

Aumentando a 2% el oxígeno, tendremos una mezcla para arco spray en aceros al carbón, de baja aleación e inoxidables. Las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión de las soldaduras hechas con adiciones de oxígeno al 1 y 2% son similares. Sin embargo, la apariencia del cordón de soldadura será más oscura y oxidada para las soldaduras al 2% con aceros inoxidables.

Con 5% de oxígeno, la mezcla proporciona un charco más fluido. Es la mezcla argón - oxígeno que se usa comúnmente para la soldadura general de acero al carbono. El oxígeno adicional también permite velocidades de recorrido más rápidas.

f) Mezcla Argón - Bióxido de Carbono - Oxígeno

Esta mezcla es muy versátil debido a su capacidad de operar las modalidades de transferencia por corto circuito, globular y por rocío.

La ventaja de esta mezcla es su capacidad de proteger al acero al carbono y al acero de baja aleación en todos los espesores usando cualquier modalidad de transferencia de metal aplicable. Produce buenas características de soldadura y propiedades mecánicas en aceros al carbono con baja aleación. En metales base

con calibres delgados, el oxígeno constituyente ayuda a la estabilidad del arco a niveles de corriente muy bajos (30 a 60 amperes) permitiendo que el arco se mantenga corto y controlable, lo que ayuda a minimizar la excesiva fusión de un lado a otro y la distorsión al bajar la entrada de calor total hacia la zona de soldadura. Generalmente es utilizada en transferencia por spray, proporcionando altas velocidades de depósito y velocidades de recorrido mucho mayores que el gas carbónico.

g) Mezclas Argón - Hidrógeno

El hidrógeno se añade frecuentemente al argón para mejorar las propiedades térmicas del mismo. Su atmósfera reductora también mejora el baño del área de fusión de la soldadura y produce superficies más limpias debido a una menor oxidación superficial. El alto voltaje del arco asociado con el hidrógeno aumenta la dificultad de arrancar el arco, razón por la cual se recomienda la más baja cantidad de hidrógeno. Son típicas las adiciones de hasta 5% para soldadura manual y hasta 10% para soldadura mecanizada.

Las mezclas argón - hidrógeno se usan principalmente en acero inoxidable y níquel. El hidrógeno no se usa para soldar carbono o acero de baja aleación así como ninguna aleación de cobre, aluminio o titanio, puesto que ocurrirá agrietamiento o porosidad debido a la absorción del gas.

h) Mezclas Argón - Helio

El helio se mezcla frecuentemente con el argón para obtener las ventajas de ambos gases. El argón proporciona buena estabilidad del arco y acción de limpieza, mientras que el helio mejora el baño de soldadura con un área de fusión más limpia.

Las mezclas de argón - helio se usan principalmente para metales con base no ferrosa como el aluminio, cobre, aleaciones de níquel y magnesio. Las adiciones de helio a un gas con base de argón aumentarán la entrada de calor. De manera general, mientras más grueso sea el metal base, mayor será el porcentaje de helio. Entre más se aumente el porcentaje de helio, aumentará el voltaje de arco, las salpicaduras y la relación ancho profundidad de soldadura. El porcentaje de argón debe ser cuando menos 20% cuando se mezcla con helio para producir y mantener una transferencia por spray estable.

8.3 Tablas de las Propiedades Físicas y Químicas de los Gases Utilizados en Soldadura

A continuación se presentan tablas para proporcionar mayor información de los gases utilizados en procesos de soldadura GMAW y GTAW²⁴:

Tabla #2: Identificación del producto

Nombre Químico	Fórmula	Sinónimos	Familia Química	Peso Molecular
Argón	Ar	Gas de recubrimiento, Argón-40	Gases Raros	39.948
Bióxido de Carbono	CO ₂	Anhidrido carbónico, ácido carbónico gaseoso	Anhidrido ácido	44.010
Helio	He	Helio-4	Gases Raros	4.003
Hidrógeno	H ₂	No aplica	No aplica	2.016
Oxígeno	O ₂	No aplica	No aplica	32.000

Tabla #3: Riesgos de los componentes

Nombre Químico	TLV-TWA, límite de exposición máxima durante 8 horas / día y 40 horas / semana
Argón	Asfixiante simple
Bióxido de Carbono	5000 ppm
Helio	Asfixiante simple
Hidrógeno	Asfixiante simple
Oxígeno	Ninguno establecido

²⁴ Data Source: Guide to Industrial Gases and Cryogenic Fluids 2000 Danbury, CT, USA Praxair Technology Inc

Tabla #4: Propiedades físicas

Propiedad	Ar	CO ₂	He	H ₂	O ₂
Punto de ebullición a 760 mmHg (° C)	-185.9	-78.5	-268.9	-252.77	-183
Punto de congelamiento (° C)	-189.2	N/A	-272	-259.2	-218
Densidad del vapor a 21° C (aire = 1)	1.378	1.522	0.138	0.0696	1.105
Presión de vapor a 20° C (psig)	Gas	830	Gas	Gas	Gas
Apariencia y olor a T y P normales	Incoloro-Inodoro	Incoloro-Inodoro	Incoloro-Inodoro	Incoloro-Inodoro	Incoloro-Inodoro

Tabla #5. Peligros de fuego y explosión

Propiedad	Ar	CO ₂	He	H ₂	O ₂
Punto de Ignición (método de prueba)	N/A	N/A	N/A	Gas Inflamable	N/A
Temperatura de Ignición (° C)	N/A	N/A	N/A	520	N/A
Límites inferior - superior de inflamabilidad en el aire (% en volumen)	N/A	N/A	N/A	4 - 75	N/A

Tabla #6: Datos de reactividad

Propiedad	Ar	CO ₂	He	H ₂	O ₂
Estable	X	X	X	X	X
Inestable					
Riesgos de polimerización	No ocurre	No ocurre	No ocurre	No ocurre	No ocurre

Tabla #7: Incompatibilidad

Ar	Químicamente inerte
CO ₂	Metales alcalinos, alcalinos térreos, acetiluros metálicos, cromo, titanio por encima de los 550° C y uranio por encima de 750° C.
He	Químicamente inerte
H ₂	Agentes oxidantes, litio y halógenos
O ₂	Materiales combustibles e inflamables, asfalto, aceites y grasas, incluyendo materiales derivados del petróleo

Tabla #8. Procedimientos especiales en caso de incendio y peligros
inusuales de fuego y explosión

Ar	<p>El argón no es inflamable. El contenedor puede romperse debido al calor del fuego por lo que no debe someterse a temperaturas superiores a los 52° C. La mayoría de los contenedores están provistos con dispositivos de alivio de presión diseñados para ventear el gas cuando el contenedor esta expuesto a temperaturas elevadas.</p> <p>En un entorno de fuego, se deberá rociar los contenedores con agua por aspersión desde la máxima distancia posible y si no existe riesgo, alejarlos del área de fuego.</p>
CO ₂	<p>El bióxido de carbono no es inflamable. El contenedor puede romperse debido al calor del fuego por lo que no debe someterse a temperaturas superiores a los 52° C. La mayoría de los contenedores están provistos con dispositivos de alivio de presión diseñados para ventear el gas cuando el contenedor esta expuesto a temperaturas elevadas.</p> <p>En un entorno de fuego, se deberá rociar los contenedores con agua por aspersión desde la máxima distancia posible y si no existe riesgo, alejarlos del área de fuego.</p>
He	<p>El helio no propaga el fuego. El contenedor puede romperse debido al calor del fuego por lo que no debe someterse a temperaturas superiores a los 52° C. La mayoría de los contenedores están provistos con dispositivos de alivio de presión diseñados para ventear el gas cuando el contenedor esta expuesto a temperaturas elevadas.</p> <p>En un entorno de fuego, se deberá rociar los contenedores con agua por aspersión desde la máxima distancia posible y si no existe riesgo, alejarlos del área de fuego.</p>
H ₂	<p>Es un gas inflamable. Su flama es casi invisible. Al momento de una fuga el gas puede inflamarse espontáneamente. El hidrógeno tiene una baja energía de ignición. Forma mezclas explosivas con aire y agentes oxidantes. El recipiente puede romperse debido al calor del fuego. No extinga la flama ya que existe la posibilidad de una reignición explosiva.</p>
O ₂	<p>Es un agente oxidante, acelera vigorosamente la combustión. En contacto con materiales inflamables puede causar fuego o explosión. El contenedor puede romperse debido al calor del fuego por lo que no debe someterse a temperaturas superiores a los 52° C. La mayoría de los contenedores están provistos con dispositivos de alivio de presión diseñados para ventear el gas cuando el contenedor esta expuesto a temperaturas elevadas.</p> <p>En un entorno de fuego, se deberá rociar los contenedores con agua por aspersión desde la máxima distancia posible y si no existe riesgo, alejarlos del área de fuego.</p>

Tabla #9. Productos de descomposición peligrosos

Ar	A partir de la radiación del arco, pueden formarse óxidos de nitrógeno y ozono. Otros productos de descomposición durante el uso normal, se originan por la volatilización, reacción u oxidación del material que se trabaja.
CO ₂	En presencia de descargas eléctricas, se descompone en monóxido de carbono y oxígeno
He	Ninguno
H ₂	Ninguno
O ₂	Ninguno

Tabla #10: Procedimiento en caso de derrame o fuga

Ar	El argón es un asfixiante. Evacuar completamente el área de peligro. Si es posible, bloquear la fuga. Ventilar el área de la fuga o mover el recipiente a un área bien ventilada. Usar equipo de respiración autónomo en espacios confinados.
CO ₂	El bióxido de carbono es un asfixiante. Evacuar completamente el área de peligro. Si es posible, bloquear la fuga. Ventilar el área de la fuga o mover el recipiente a un área bien ventilada. Usar equipo de respiración autónomo en espacios confinados.
He	El helio es un asfixiante. Evacuar completamente el área de peligro. Si es posible, bloquear la fuga. Ventilar el área de la fuga o mover el recipiente a un área bien ventilada. Usar equipo de respiración autónomo en espacios confinados.
H ₂	El hidrógeno mezclas explosivas con el aire. Evacué inmediatamente al personal del área de peligro. Usar equipo de respiración autónomo en espacios confinados. Si no existe riesgo, retire las fuentes ignición.
O ₂	Elimine la fuga si no hay riesgo. Ventile el área de fuga o mueva el recipiente a un área bien ventilada. Aleje todos los materiales inflamables de los alrededores. Nunca permita el contacto del oxígeno con superficies aceitosas, ropa grasosa o algún otro material combustible.

8.4 Suministro de gases industriales en una planta de transformación o de proceso

Como en particular, esta tesis se enfoca a la justificación económica del uso de una mezcla de argón - bióxido de carbono como gas de recubrimiento en un proceso de soldadura GMAW, a continuación se describen las opciones de suministro de estos gases.

En el mercado nacional, existen actualmente 4 grandes empresas²⁵ fabricantes y proveedoras de gases y que cuentan con la capacidad técnica y logística para suministrar desde cantidades muy pequeñas hasta grandes cantidades de producto. Esto estará determinado de acuerdo a las necesidades de cada planta y en particular al número de estaciones de soldadura disponibles y el tipo de producto que fabrican, así como el número de turnos que estarán produciendo cada día.

En el caso de demandas pequeñas de gas (hasta un rango de 2,000 a 2,500 metros cúbicos mensuales), el uso de cilindros de acero al carbón, en los cuales se suministra la mezcla ya elaborada, es una manera sencilla para proveer el gas a cada una de las estaciones de soldadura.

En dichos cilindros, se envasa la mezcla a una presión aproximada de 2,200 libras con un contenido de 6.5 metros cúbicos (varia de acuerdo a la composición de cada mezcla). Estos cilindros tienen un peso aproximado de 70 kilogramos y sus dimensiones oscilan en un rango de 23 cm de diámetro y 140 cm de altura.

Las empresas gaseras pueden proveer las mezclas argón - bióxido de carbono en sus diferentes composiciones en un lapso de 24 horas, tiempo suficiente para no detener en ningún momento la producción. Normalmente sus políticas de comercialización, establecen la firma de un contrato de suministro con sus clientes básicamente porque entregan los cilindros en comodato o arrendamiento, siendo estos sus activos más importantes.

Para optimizar el suministro de gas y eficientar la operación de la planta buscando la reducción de los tiempos muertos por cambio de los cilindros que han sido vaciados, se recomienda la instalación de una red de suministro²⁶.

²⁵ Praxair, Infra, Aga Gas y Messer

²⁶ El costo de una instalación para suministro de gases depende de la longitud total de tubería a utilizar así como el tipo de material que se coloque. En el caso de gases para soldadura, se recomienda tubo de cobre que reduce considerablemente el costo. El diseño y colocación de la instalación dicha red puede ser contratado con las mismas compañías que suministran los gases.

Esta consiste en la colocación de un manifold doble al que se conectan determinada cantidad de cilindros; de un lado los que están en operación y del otro lado los que se encuentran en espera, una vez que se vacíen los tanques que estén suministrando el gas.

También se coloca un regulador general cuya función es disminuir la presión interna de los cilindros hasta un rango de 50 libras para homogenizar la presión en la red de suministro (la cual es preferible que esté diseñada en forma de anillo).

A cada toma para las estaciones de soldadura, se colocará un flujómetro para calibrar la alimentación de gas en un rango de 30 a 40 pies cúbicos. Menor a este intervalo, el charco soldadura puede presentar porosidad y un rango mayor significa un desperdicio. Al flujómetro se le puede anexar un equipo llamado gasgard que evitará que el rango sea modificado por el operador una vez que el supervisor o el gerente de la planta los calibra.

Otros aditamentos que pueden ser colocados son alarmas audibles o visibles que indiquen que los cilindros de un lado del manifold se han vaciado y un switch over que haga el cambio de lado en forma automática.

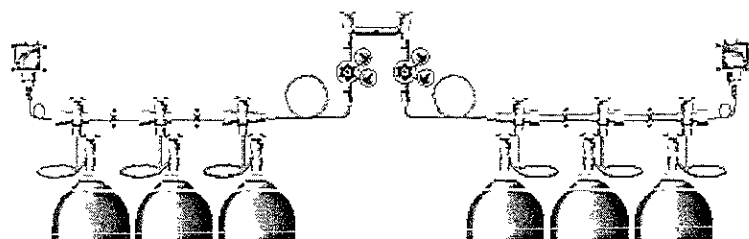


Figura 22. manifold doble que cuenta con tres cilindros de cada lado
Fuente: *Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel*

Una ventaja importante de colocar una red de suministro, es que se reduce el movimiento de cilindros dentro de la planta y en consecuencia la operación se hace más segura.

Para empresas que demandan mayor cantidad de gas, existen otras formas de suministros con contenedores criogénicos de baja presión. Estos pueden ser fijos o portátiles.

Los contenedores fijos²⁷ existentes en el mercado fluctúan en una capacidad de almacenamiento desde 1,500 hasta 11,000 galones.

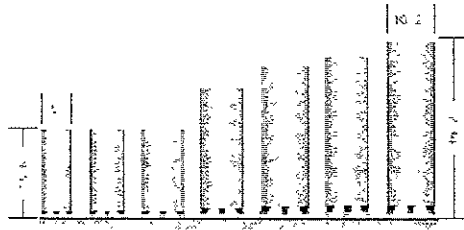


Figura 23 contenedores criogénicos estacionarios comúnmente denominados tanques termo, son llenados mediante un autotanque del proveedor

Fuente: *Infra Air Products Catálogo de Productos 2000*

En tanto, los contenedores portátiles tienen una capacidad de llenado de aproximadamente 45 galones.

La característica de estos recipientes es que tanto para el argón como para el bióxido de carbono, se distribuye y almacena el producto en estado líquido (este se gasifica internamente) y en forma pura, es decir, si el cliente por sus volúmenes de consumo, requiere un tanque termo estacionario o portátil deberá contar con la red de suministro (instalación) y con un mezclador que se calibra para generar la mezcla en sitio de acuerdo al porcentaje que se desee.

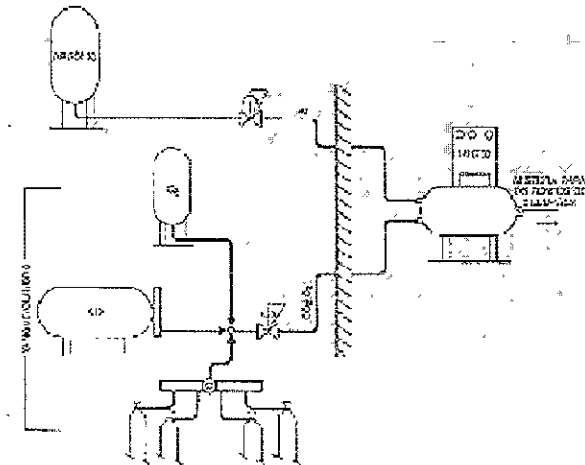


Figura 24 arreglo de una instalación que produce la mezcla para soldar en "sitio"

²⁷ Para instalar un tanque estacionario, la empresa proveedora de gases lleva a cabo un estudio de logística para checar las condiciones de entrega. Igualmente se hace un proyecto indicando las características de la cimentación para el termo.

Estos tanques constan de dos recipientes, uno externo y otro interno, aislados entre sí al alto vacío (para evitar transferencias de calor y una gasificación en exceso). En los tanques estacionarios el recipiente interno es de acero inoxidable y los portátiles todos son de acero inoxidable, para soportar las muy bajas temperaturas.



Figura 25 tanques criogénicos portátiles, comúnmente llamados P&S ó cochinas
Fuente. *Infra Air Products Catálogo de Productos 2000*

Capítulo IX: Seguridad en procesos de soldadura y manejo de gases

9.1 Seguridad en procesos de soldadura

Los riesgos que se presentan en la actividad de soldadura eléctrica son:

- a) Gases: la principal forma de contrarrestar posibles efectos dañinos es mantener una ventilación adecuada. Si el proceso de soldar se lleva a cabo dentro de espacios confinados, deberá requerirse de equipo especial como respiradores autónomos, extractores, arnés y cuerda de vida. En toda actividad, el operador deberá mantener la cabeza alejada del área que está soldando. También deberá evitarse efectuar la soldadura en placa sucia o contaminada y deberá removerse la pintura y recubrimientos.
- b) Descarga eléctrica: se deberá evitar tocar partes eléctricas energizadas, hacer tierra inadecuadamente, usar cable del calibre correcto, conexiones bien apretadas, limpias y secas, no usar objetos metálicos personales al momento de soldar.
- c) Radiación del arco y chisporroteo: usar protección para ojos y piel. Se deberá utilizar una careta con el lente de sombra adecuada (10, 11, 12 ó 14) de acuerdo al amperaje con que se está soldando. Para cubrir la piel ropa de algodón limpia, con chalecos, petos y polainas resistentes al calor. Para protección del ruido se recomienda el uso de tapones auditivos.
- d) Prevención de incendios: se deberá designar áreas específicas para las operaciones de soldadura, que se encuentren libres materiales líquidos, sólidos o gaseosos inflamables como pinturas, gasolina, aceites, solventes, madera, papel ó acetileno. En caso de no poder contar con áreas específicas se deberán colocar mamparas para evitar que el calor y el salpicado llegue a estos materiales. Contar con extintores adecuados para el tipo de material combustible que se tenga en el área.

9.2 Seguridad en el manejo de gases

Un punto importante, es que el personal usuario de los gases industriales debe estar muy bien capacitado en su manejo seguro.

Al manejar gases, tenemos implícitos varios factores de riesgo:

1) Presión

Una liberación súbita de la presión puede causar daños muy serios al personal. Los cilindros de acero al carbón tienen dispositivos de seguridad como discos de ruptura y tapones fusibles para evitar que los recipientes puedan llegar a estallar, por ejemplo si se encuentran rodeados de un entorno de fuego. Los tanques termo tienen dispositivos de relevo de presión (alivio) que tienen la misma finalidad.

Es muy importante que a la hora de desplazar un cilindro se coloque el capuchón a la válvula con el objeto de protegerla en caso de una caída. Un evento de ruptura de la válvula de un cilindro puede causar la liberación del gas contenido en una décima de segundo desarrollando una potencia de 75,000 HP.

Asimismo, los cilindros deben estar sujetos con cadenas a paredes o columnas cuando se estén usando. En los almacenes deberán existir caballerizas para acomodarlos.

2) Temperatura

Los líquidos criogénicos pueden causar severas quemaduras al contacto con la piel. Por ello es importante enjear el área de un tanque criogénico colocando letreros que adviertan el peligro.

El uso de equipo de protección como petos y guantes aluminizados y una careta facial es muy importante para manejar líquidos criogénicos.

3) Incendio

Los cilindros y las instalaciones criogénicas deben estar alejados de materiales combustibles. No deben mezclarse gases oxidantes con gases combustibles así como mantener una distancia mínima de 8 metros en su almacenamiento.

4) Asfixia

Cualquier gas (aunque sea inerte y no tóxico) causa el desplazamiento del nivel normal de oxígeno en el aire para sostener la vida. Los recipientes que contengan gases deben almacenarse y usarse en un área que esté muy bien ventilada.

Capítulo X: Justificación Técnica

En los capítulos anteriores se hizo una descripción de los dos procesos de soldadura que nos interesa estudiar en la parte venidera correspondiente al análisis de costos.

A manera de recopilación (con base a lo explicado en los capítulos anteriores sobre la descripción de los procesos), se detallará a continuación una breve comparación de los procesos *GMAW* y *SMAW*:

Tabla #11 : Comparación de parámetros entre proceso SMAW y GMAW con mezcla como gas de protección

Proceso	Tasa de Depósito	Eficiencia del Electrodo(%)	Residuos		
			Escoria	Colillas	Chisporroteo
SMAW (Electrodo Revestido)	Baja	65	Sí	Sí	Alto
GMAW (Alambre sólido protegido con Mezcla)	Media	98	No	No	Muy Bajo

Proceso	Eficiencia del Soldador (%)	Velocidad de Avance	Aspecto del Cordón	Versatilidad de Uso	Limpieza del Depósito
SMAW (Electrodo Revestido)	40	Baja	Bueno	Alta	Baja
GMAW (Alambre sólido protegido con Mezcla)	60	Media	Muy Bueno	Media	Alta

Con relación al cambio del gas de protección en proceso *GMAW*, observamos lo siguiente:

Tabla #12 . Comparación de algunos parámetros entre proceso GMAW con bióxido de carbono puro y mezcla para soldar como gases de protección

Proceso	Tasa de Depósito	Eficiencia del Electrodo(%)	Residuos		
			Escoria	Colillas	Chisporroteo
GMAW (Alambre sólido protegido con CO ₂)	Baja	88	No	No	Bajo
GMAW (Alambre sólido protegido con Mezcla)	Media	98	No	No	Muy Bajo

Proceso	Eficiencia del Soldador (%)	Velocidad de Avance	Aspecto del Cordón	Versatilidad de Uso	Limpieza del Depósito
GMAW (Alambre sólido protegido con CO ₂)	55	Baja	Bueno	Media	Bajo
GMAW (Alambre sólido protegido con Mezcla)	60	Media	Muy Bueno	Media	Alta

Capítulo XI: Análisis de Costos

Toda empresa, sea grande o pequeña, debe indagar en las decisiones que toman: ¿qué bienes deben producir?, ¿cuánto les cuesta producir un determinado conjunto de bienes?, ¿a qué precio deben vender los bienes y servicios?

La esencia de una empresa es comprar materias primas y equipo para transformarlas o procesarlas para producir bienes o servicios y venderlos generando utilidades para los inversionistas.

Una manera en que las empresas pueden mejorar su rentabilidad es disminuir sus costos y es muy evidente que a éstos deben prestarles una gran atención, ya que cada peso de costo reduce sus beneficios y en el presente trabajo de tesis se pretende demostrar una alternativa que permita disminuir costos.

En un proceso productivo tenemos involucrado lo siguiente:

COSTOS DIRECTOS	<ul style="list-style-type: none"> Materias primas Mano de obra Servicios (electricidad, vapor, agua de proceso o de enfriamiento)
COSTOS INDIRECTOS	<ul style="list-style-type: none"> Materias primas indirectas (colorantes, empaque) Depreciación Amortización Seguros de fábrica Generales (enfermería, vigilancia, cafetería) Mantenimiento
GASTOS	<ul style="list-style-type: none"> Administración Ventas Financieros

En un proceso de soldadura, podemos relacionar tres tipos de costos directos de producción: mano de obra, el gas de protección y los consumibles (electrodos).

El factor de costo dominante en cualquier operación de soldadura es la mano de obra. El gas de protección adecuado puede reducir estos costos al aumentar la velocidad de soldadura y el ciclo de trabajo mientras se disminuye el tiempo de limpieza. El efecto de la selección del gas de protección adecuado en la operación de soldadura puede dar por resultado una reducción significativa en el costo general.

El costo del gas de protección puede estimarse a no más de aproximadamente cinco por ciento de los costos totales. Cuando se determinen los costos de consumibles, el precio del alambre y del gas de protección deben considerarse juntos debido al efecto que el gas de protección tiene en la eficiencia de deposición. El alambre y el gas a menor precio pueden también producir la más baja eficiencia de deposición. A pesar de que el precio inicial puede ser alto, la combinación recomendada de alambre y gas puede aumentar la eficiencia de deposición y dar como resultado un costo general más bajo.

Los gases de protección altamente oxidantes, tales como el bióxido de carbono puro, requieren alambres de soldadura con desoxidantes adicionales para compensar la pérdida de aleación en el arco de soldadura. Si la protección de bióxido de carbono se cambia a argón con 20% de bióxido de carbono, se puede substituir una soldadura menos cara debido a la buena retención de aleación del gas de protección argón. Este cambio puede dar por resultado tanto como 15% de ahorro en el costo del alambre, mientras se mantienen buenas propiedades mecánicas, facilidad de operación y aumento en la velocidad de soldadura.

Las condiciones de la superficie de la placa pueden también tener un gran efecto en la velocidad de soldadura y en la apariencia del cordón de soldadura. Oxidación, presencia de aceite ó pintura pueden reducir la velocidad de recorrido y afectarán la apariencia del cordón de soldadura. El uso de placa que se haya limpiado con chorro de arena puede reducir la velocidad de recorrido y afectará la apariencia del cordón de soldadura.

El ciclo de trabajo del operador es la cantidad de tiempo en que un operador está realmente soldando contra el tiempo que se gasta en funciones asociadas, tales como el ajuste, la limpieza y otras actividades no de soldadura.

Cuando se solda metal ferroso usando bióxido de carbono como gas de protección, se acumula salpicadura en la boquilla de gas, impidiendo el flujo de gas o se acumula en el extremo del tubo de contacto, ocasionando problemas en la alimentación del alambre. La remoción del exceso de salpicadura de las boquillas de gas y de las piezas de trabajo se lleva su tiempo y disminuye el ciclo de trabajo. El uso de mezclas de gases con base de argón reduce en gran manera la salpicadura de soldadura, eliminándola en algunos casos completamente. Como resultado, los operadores pueden soldar por períodos más largos antes de detenerse a limpiar la salpicadura de las boquillas y de las puntas de contacto. El aumento en el ciclo de trabajo resultante significa mayor producción por soldador y una vida más larga del equipo.

La salpicadura es metal de soldadura que no termina en el cordón. Cualquier factor que reduzca la salpicadura mejorará la eficiencia de depósito del proceso de soldadura. El cuadro siguiente muestra los rangos de eficiencia de depósito para los procesos que se exponen en la presente tesis (aunque para efectos de éste trabajo analizaremos costos únicamente entre proceso *GMAW* y *SMAW*):

Tabla #13: Eficiencias de depositación para diferentes procesos de soldadura

Proceso	Tipo de Electrodo	Rango de Eficiencia de Deposición
<i>GTAW</i>	Tungsteno	95 - 100%
<i>GMAW</i>	Alambre sólido	85 - 98%
<i>FCAW</i>	Alambre tubular	75 - 90%
<i>SMAW</i>	Electrodo revestido	50 - 70%

El uso del gas de protección adecuado asegurará que la eficiencia de deposición sea tan alta como sea posible para el proceso usado. Por ejemplo, la eficiencia de deposición de una operación con soldadura *GMAW* usando bióxido de carbono puro era 89%. Cuando el gas de protección se cambió a una mezcla de argón con 25% de bióxido de carbono, la eficiencia de deposición aumentó a 97%. Más del alambre se deposita en la soldadura.

En los capítulos anteriores se mencionaron justificaciones técnicas para la utilización de una mezcla argón - bióxido de carbono. Sin embargo, debemos también pensar en el aspecto económico por lo que a continuación se lleva a cabo el análisis para un par de casos donde se comparan procesos de soldadura.

Prueba 1: Fabricación de tanques para camiones para el almacenamiento de combustible utilizando una mezcla de argón - bióxido de carbono contra bióxido de carbono puro (la mezcla contiene un porcentaje superior al 75% de argón)

Proceso Utilizado Tipo de gas: Bióxido de Carbono		Proceso Sugerido Tipo de gas: Mezcla Argón - Bióxido de Carbono	
Tipo de Unión De acuerdo al proceso del cliente donde se realizó el estudio (otros tipos de uniones comunes son a tope, en T, en esquina y orilla)	En "Traslape"	Tipo de Unión	En "Traslape"
Espesor	5/16"	Espesor	5/16"
Velocidad del alimentador (in/min)	255	Velocidad del alimentador (in/min)	405
Soldadura			
Tipo de electrodo	Alambre Sólido	Tipo de electrodo	Alambre Sólido
Diámetro (in)	0.045	Diámetro (in)	0.045
Longitud específica (m/kg)	124.15	Longitud específica (m/kg)	124.15
La longitud específica es un dato que se encuentra en las tablas de especificación del fabricante del electrodo, a menor diámetro de alambre mayor longitud específica, se mide en unidad de longitud sobre unidad de peso			
Peso del cordón (kg/m)	0.25	Peso del cordón (kg/m)	0.25
Longitud total soldada (m)	500	Longitud total soldada (m)	500
Eficiencia de alambre (%)	85	Eficiencia de alambre (%)	97
Sobresoldadura ó corona	Sí	Sobresoldadura ó corona	No
Precio de la soldadura (\$/kg)²⁸	\$15.33	Precio de la soldadura (\$/kg)	\$15.33
Gas de Protección			
Costo (\$/m³)²⁹	\$22.00	Costo (\$/m³)	\$80.00
Flujo de gas (cfh)	40	Flujo de gas (cfh)	35
Mano de Obra			
Eficiencia del soldador (%)	55	Eficiencia del soldador (%)	60
Salario del soldador (semanal)³⁰	\$800.00	Salario del soldador (semanal)	\$800.00
Factor de gastos secundarios³¹	1.43	Factor de gastos secundarios	1.43
Parámetros de Fabricación			
Tasa de Depósito (kg/h)	3.13	Tasa de Depósito (kg/h)	4.97
Velocidad de avance (m/h)	12.67	Velocidad de avance (m/h)	20.13

²⁸ Se determinó como precio promedio considerando la cotización de 3 distribuidores al mes de diciembre del año 2000, tomando como base 1 tonelada marca Lincoln Gases Industriales de Cuautitlán, S A de C V , Ferreteria Modelo, S A de C V. y un distribuidor de la empresa Aga Gas, S A de C V ubicado en la delegación Azcapotzalco

²⁹ Se determinó como precio promedio considerando la cotización sobre la base de 200 metros cúbicos de mezcla y 400 kilogramos de CO₂ de las empresas Infra, S A de C V y Aga Gas, S A de C V

³⁰⁻³¹ Dato proporcionado por el Gerente de Planta de la empresa Manufacturas de Acero del Norte, S A de C V. con objeto de poder presentarle un estudio similar

Proceso Utilizado		Proceso Sugerido	
Tipo de gas: Bióxido de Carbono		Tipo de gas: Mezcla Argón - Bióxido de Carbono	
Tasa de Depósito (kg/h) = (Velocidad del alimentador × 1.524) / (Longitud Especifica del alambre) 1.524 es un factor de conversión para convertir de in/min a m/h			
Velocidad de avance (m/h) = (Tasa de Depósito kg/h) / Peso del cordón (kg/m)			
Cantidad de soldadura requerida (kg)	145.3	Cantidad de soldadura requerida (kg)	127.3
Cantidad de soldadura requerida (kg) = (Peso del cordón kg/m × Longitud Total m) / Eficiencia del alambre			
Excedente por sobresoldadura (kg)	14.5	Cantidad de soldadura requerida (kg)	0
Cantidad total de soldadura (kg)	159.8	Cantidad total de soldadura (kg)	127.3
Cantidad de soldadura requerida (kg)	145.3	Cantidad de soldadura requerida (kg)	127.3
COSTO TOTAL DE SOLDADURA	\$2,450.09	COSTO TOTAL DE SOLDADURA	\$1,951.81
COSTO TOTAL DE SOLDADURA = CANTIDAD DE SOLDADURA REQUERIDA × COSTO UNITARIO POR KG			
COSTO TOTAL DE GAS	\$ 983.25	COSTO TOTAL DE GAS	\$1,970.00
COSTO TOTAL DE GAS = (PRECIO UNITARIO POR m ³ × FLUJO × LONGITUD TOTAL SOLDADA) / VELOCIDAD DE AVANCE			
Tiempo de Entrega del Proyecto			
Tiempo (horas)	71.7	Tiempo (horas)	41.4
Tiempo (semanas)	1.49	Tiempo (semanas)	0.86
Tiempo (horas) = Longitud total soldada m / Velocidad de Avance / Eficiencia del soldador 1 mes = 4 semanas de 6 días = 48 horas			
COSTO TOTAL MANO DE OBRA	\$ 1,709.66	COSTO TOTAL MANO DE OBRA	\$986.75
COSTO TOTAL MANO DE OBRA = (SUELDO SEMANAL × FACTOR DE GASTOS SECUNDARIOS × TIEMPO Semanas)			

En resumen:

Proceso Utilizado		Proceso Sugerido	
Tipo de gas: Bióxido de Carbono		Tipo de gas: Mezcla Argón - Bióxido de Carbono	
GRAN TOTAL	\$ 5,143.00	GRAN TOTAL	\$4,908.00
COSTO POR METRO	\$ 10.29	COSTO POR METRO	\$ 9.82
AHORRO 5%			

Prueba 2: Fabricación de gatos hidráulicos para talleres de automóviles proponiendo el uso una mezcla de argón - bióxido de carbono contra electrodo revestido (la mezcla contiene un porcentaje superior al 75% de argón)³²:

Proceso Utilizado Electrodo Revestido		Proceso Sugerido Tipo de gas. Mezcla Argón - Bióxido de Carbono	
Tipo de Unión	En "T"	Tipo de Unión	En "T"
Espesor	5/16"	Espesor	5/16"
Velocidad del alimentador (in/min)	-	Velocidad del alimentador (in/min)	405
Soldadura			
Tipo de electrodo	Electrodo Revestido 7018	Tipo de electrodo	Alambre Sólido
Diámetro (in)	3/16	Diámetro (in)	0.045
Longitud específica (m/kg)	-	Longitud específica (m/kg)	124 15
La longitud específica es un dato que se encuentra en las tablas de especificación del fabricante del electrodo, a menor diámetro de alambre mayor longitud específica, se mide en unidad de longitud sobre unidad de peso			
Peso del cordón (kg/m)	0.25	Peso del cordón (kg/m)	0.25
Longitud total soldada (m)	500	Longitud total soldada (m)	500
Eficiencia del electrodo (%)	66	Eficiencia de alambre (%)	97
Sobresoldadura ó corona	Sí	Sobresoldadura ó corona	No
Precio de la soldadura (\$/kg)	\$14.64	Precio de la soldadura (\$/kg)	\$15.33
Gas de Protección			
Costo (\$/m ³)	-	Costo (\$/m ³)	\$65.00
Flujo de gas (cfh)	-	Flujo de gas (cfh)	35
Mano de Obra			
Eficiencia del soldador (%)	55	Eficiencia del soldador (%)	60
Salario del soldador (semanal)	\$800.00	Salario del soldador (semanal)	\$800.00
Factor de gastos secundarios	1 43	Factor de gastos secundarios	1 43
Velocidad de avance (m/h) = (Tasa de Depósito kg/h) / Peso del cordón (kg/m)			

³² Para efectos prácticos se considera el costo de la soldadura y mano de obra de la misma manera que en la prueba 1. En el caso del gas se consideró un precio menor (comparado contra la prueba 1) debido al alto volumen estimado a consumir

Proceso Utilizado Electrodo Revestido		Proceso Sugerido Tipo de gas: Mezcla Argón - Bióxido de Carbono	
Parámetros de Fabricación			
Tasa de Depósito (kg/h)	2.30	Tasa de Depósito (kg/h)	4.97
Tasa de Depósito (kg/h) = (Velocidad del alimentador x 1.524) / (Longitud Especifica del alambre) 1.524 es un factor de conversión para convertir de m/min a m/h En el caso del electrodo revestido, la tasa de depósito se puede obtener de las tablas del fabricante			
Velocidad de avance (m/h)	9.20	Velocidad de avance (m/h)	20.00
Velocidad de avance (m/h) = (Tasa de Depósito kg/h) / Peso del cordón (kg/m)			
Cantidad de soldadura requerida (kg)	189	Cantidad de soldadura requerida (kg)	127.3
Cantidad de soldadura requerida (kg) = (Peso del cordón kg/m x Longitud Total m) / Eficiencia del alambre			
Excedente por sobresoldadura (kg)	18.7	Cantidad de soldadura requerida (kg)	0
Cantidad total de soldadura (kg)	207	Cantidad total de soldadura (kg)	127.3
Cantidad de soldadura requerida (kg)	189	Cantidad de soldadura requerida (kg)	127.3
COSTO TOTAL DE SOLDADURA		\$3,030.50	COSTO TOTAL DE SOLDADURA
			\$1,951.81
COSTO TOTAL DE SOLDADURA = CANTIDAD DE SOLDADURA REQUERIDA x COSTO UNITARIO POR KG			
COSTO TOTAL DE GAS		\$ 0.00	COSTO TOTAL DE GAS
			\$1,600.00
COSTO TOTAL DE GAS = (PRECIO UNITARIO POR m ³ x FLUJO x LONGITUD TOTAL SOLDADA) / VELOCIDAD DE AVANCE			
Tiempo de Entrega del Proyecto			
Tiempo (horas)	97.63	Tiempo (horas)	41.4
Tiempo (semanas)	2.03	Tiempo (semanas)	0.86
Tiempo (horas) = Longitud total soldada m / Velocidad de Avance / Eficiencia del soldador 1 mes = 4 semanas de 6 días = 48 horas			
COSTO TOTAL MANO DE OBRA		\$2,322.32	COSTO TOTAL MANO DE OBRA
			\$986.75
COSTO TOTAL MANO DE OBRA = (SUELDO SEMANAL x FACTOR DE GASTOS SECUNDARIOS x TIEMPO Semanas)			

En resumen:

Proceso Utilizado		Proceso Sugerido	
Tipo de gas: Bióxido de Carbono		Tipo de gas: Mezcla Argón - Bióxido de Carbono	
GRAN TOTAL	\$ 5,089.32	GRAN TOTAL	\$4,538.56
COSTO POR METRO	\$ 10.70	COSTO POR METRO	\$ 9.07
AHORRO 18%			

ESTA TESIS NO CALIF
DE LA BIBLIOTECA

Capítulo XI: Conclusiones y Recomendaciones

La soldadura consiste en la unión de dos o más piezas del mismo metal, dicha unión resulta por la fusión de los metales generada por el calor de un arco eléctrico y puede añadirse o no añadirse un material de aporte.

La función de un gas de protección es cubrir el charco soldadura para evitar el ataque de los gases atmosféricos. Además de la protección, un gas puro o una mezcla de gases pueden tener un efecto en la velocidad de soldadura, la penetración, la apariencia y las propiedades mecánicas.

En este trabajo de tesis, se dio una descripción general de 5 procesos muy utilizados en la industria metal mecánica, y en particular nos enfocamos a dos de ellos: el proceso SMAW y el proceso GMAW.

La primera patente registrada data de 1865 cuando Wilde soldó 2 piezas de hierro por fusión mediante el calor generado por una corriente eléctrica. Sin embargo, las soldaduras realizadas a finales del siglo XIX y principios del siglo anterior eran de muy mala calidad debido a que no se protegía el charco soldadura del ataque atmosférico y fue hasta después de 1920 cuando se realizaron las primeras pruebas con electrodos revestidos.

El uso de gases en soldadura se atribuye a la investigación realizadas por las empresas Linde de Union Carbide (antecedentes del proceso GTAW) y al a empresa Air Reduction (antecedentes del proceso GMAW).

A finales de los años 50 se comenzó a desarrollar el uso de alambres tubulares con fundente (proceso FCAW).

En un proceso de soldadura conceptos eléctricos básicos como el amperaje y el voltaje son indispensables para entender la forma óptima de calibrar la máquina soldadora y cuál es el comportamiento del electrodo al momento de fundirse.

La situación del mercado de la soldadura y los gases para soldadura en los Estados Unidos es el uso de alambres sólidos, proceso GMAW con la utilización de mezclas balance argón (en lugar del bióxido de carbono) para soldar acero al carbón y también alambre tubular, proceso FCAW que puede o no utilizar mezclas para soldar.

La tendencia del mercado mexicano es el desplazamiento del bióxido de carbono como gas de protección, resaltando que el beneficio económico que representa es para empresas con alto nivel de producción y se comienza a aplicar el proceso FCAW.

El proceso de soldadura manual (SMAW) es el más ampliamente utilizado, esto debido en gran parte a la simplicidad del equipo requerido.

En este proceso se utilizan electrodos conocidos como "revestidos". La función más importante del recubrimiento de un electrodo revestido es generar los gases que protejan al metal líquido del ataque del oxígeno y el nitrógeno atmosféricos, el efecto de la corrosión por este ataque causaría un efecto en la resistencia de la soldadura.

En el proceso GMAW, el recubrimiento es sustituido por un gas inerte, un gas reactivo o una mezcla de ambos y el electrodo utilizado es un alambre sólido, cuyo diámetro es considerablemente menor que la más delgada de las varillas revestidas, esta característica aunado a que una máquina para proceso GMAW alimenta el electrodo en forma semiautomática o automática, permite mayores velocidades de trabajo.

En el proceso GMAW existen 3 modalidades de transferencia del electrodo fundido, y las variaciones entre ellas se deben al voltaje que proporciona la soldadora y al gas de protección que está siendo utilizado, y el efecto que se logra en utilizar una u otra modalidad se verá reflejado en el aspecto del cordón y la velocidad de depositación.

Los gases que son utilizados químicamente puros son el argón, el helio y el bióxido de carbono, y estos se combinan entre sí y con el oxígeno y el hidrógeno para formar mezclas.

Al combinar gases en mezclas, el proceso GMAW se puede optimizar aun más debido a la combinación de propiedades como la conductividad térmica y el efecto sobre la tensión superficial del charco soldadura.

Las combinaciones más típicas con aplicación en el mercado para soldar aceros al carbón son mezclas binarias: bióxido de carbono (en un rango de 5 a 25%) en argón ó bien oxígeno (en un rango de 2 a 5%) en argón y mezclas terciarias: bióxido de carbono y oxígeno (en un rango de 2 a 8%) y el resto con gas argón.

El suministro de gases para soldadura se lleva a cabo por medio de cilindros de acero al carbón donde la mezcla se envasa a presiones superiores a 2,000 libras. Para consumos mayores se puede hacer la mezcla para soldar con la composición deseada mediante el suministro de los gases en forma líquida a tanques estacionarios.

En la industria inquieta a los gerentes y supervisores de producción de empresas que están acostumbrados a trabajar de cierta forma el llevar a cabo cambios tan sustanciales, como puede ser el hecho de cambiar su proceso de manufactura. El uso de las mezclas para soldar aceros al carbón no tiene porqué causar porosidades en las piezas soldadas³³.

Aunque en comparación con el proceso SMAW la inversión requerida para proceso GMAW es considerablemente alta debido a que el equipo es más complejo, la inversión se amortizará rápidamente por los ahorros logrados por la rápida deposición de la soldadura y en consecuencia reducción de los costos de soldadura y mano de obra.

Otros procesos utilizados en la industria son el FCAW (el electrodo es un alambre tubular que puede o no utilizar un gas de protección), el proceso SAW, cuya ventaja es la deposición de soldadura en forma muy rápida y el proceso GTAW cuyo principal beneficio es lograr cordones de excelente apariencia al soldar principalmente acero inoxidable.

En el capítulo correspondiente al análisis de costos se presentaron dos casos comparativos.

En el primer caso, se utilizó el mismo tipo de electrodo cambiando únicamente el gas de protección (en lugar de bióxido de carbono una mezcla argón - bióxido de carbono, proceso GMAW).

Los parámetros de calibración de la máquina difieren sobre todo en lo que se refiere a la velocidad de alambre, para el cual utilizando mezcla de soldar logra

³³ Comentarios muy frecuentes por parte de los responsables de producción al escuchar la propuesta de cambio del gas de protección

incrementarse casi al doble, lo que representa básicamente poder fabricar más piezas en el mismo período de tiempo.

Si bien el costo unitario en gas es más elevado utilizando mezcla para soldar (el fabricante tendrá que pagar al proveedor de gases un 100% más) las propiedades de la misma hacen que el costo por soldadura, el costo en mano de obra y el costo en limpieza, disminuyen tan considerablemente que se logrará reducir un 5% el costo unitario por metro linealmente soldado.

Es importante destacar que una empresa que cuenta con máquinas de proceso semiautomático, puede llevar el cambio del proceso en cuanto al tipo de gas de protección utilizado, sin hacer ninguna inversión en lo que respecta al equipo, es decir, el equipo es exactamente el mismo.

Otra ventaja que presentará será reducir el costo por cambiar partes de la antorcha (los comúnmente llamados consumibles) como son las toberas, las puntas de contacto y los difusores y el spray silicón para limpieza, debido a que la incrustación del alambre fundido será considerablemente menor con el uso de la mezcla ya que ésta reduce el chisporroteo o salpicado.

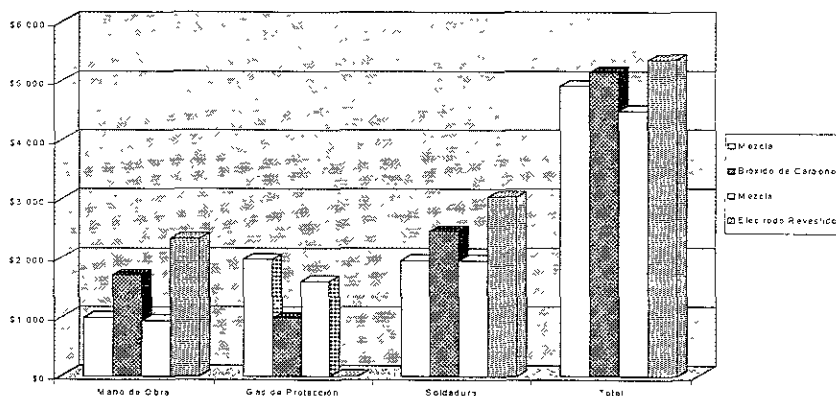
Respecto a la segunda prueba, el resultado es todavía más notorio debido básicamente a que el propio proceso de electrodo revestido tiene una eficiencia considerablemente menor al proceso GMAW utilizando mezcla para soldar, estamos hablando de un rango del 97 contra el 66%. La cantidad de soldadura utilizada y en consecuencia su costo se eleva notoriamente debido a la cantidad de colillas o desperdicios que se tienen con este proceso.

Otro factor que influye mucho es el tiempo de fabricación con lo que la mano de obra se incrementa considerablemente.

En la siguiente gráfica se detallan los costos involucrados en cada proceso³⁴, con lo que se podrá observar gráficamente las ventajas y ahorros de la utilización de proceso GMAW con la mezcla como gas de protección en sustitución del bióxido de carbono puro como gas de protección o el ahorro al cambiar el proceso de soldadura de SMAW a GMAW:

³⁴ Se obtiene de acuerdo a los valores obtenidos en los dos estudios de costos presentados en el capítulo anterior

Gráfica #4: Generación de humos de diferentes gases y mezclas de protección



En la gráfica anterior, las dos primeras barras de cada serie corresponden a la primer prueba, soldadura de los tanques de almacenamiento diesel; y la tercera y cuarta barras corresponden a la prueba de soldadura para los gatos hidráulicos. La primer y tercera barras de cada serie corresponden a los costos de la mezcla argón - bióxido de carbono propuesta para su utilización, y se observa claramente el ahorro en la última serie de columnas.

Otro punto importante para ahorro y que es considerable, es que se reduce el cambio de las partes (comúnmente llamados consumibles) que integran la antorcha de una soldadora para proceso GMAW; al utilizar una mezcla de gases se reduce el salpicado y la incrustación de metal del electrodo fundido.

Por lo explicado en los capítulos desarrollados en el presente trabajo de tesis, la propuesta de cambio de gas de protección, sustitución del bióxido de carbono por una mezcla para soldadura y la implementación del proceso GMAW en lugar del proceso SMAW, en este último caso, si el proceso de fabricación lo permite, es una propuesta viable que empresas de la industria metal mecánica pueden llevar a cabo para lograr la reducción de costos.

Bibliografía

- Soldadura Tecnología Básica. 1994. San Nicolás de los Garza, Nuevo León: Gerencia de Servicios Técnicos de Electroodos Monterrey, S.A. de C.V.
- Dayle, L., Leach, J., Shcarader, G. y Singer, M. 1988. Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros. (3ª. Edición) México: Prentice Hall.
- Leturno, D. B. 1997. Gas Metal Arc Welding of Carbon Steel. Danbury, CT, USA: Welder Training Program Praxair Inc.
- Certification Manual For Welding Inspectors. (3th. Edition). 1993, Miami, FL, USA: American Welding Society
- Partington, J.R. 1959. Tratado de Química Inorgánica. (6ª. Edición) México: Editorial Porrúa.
- Verdades Acerca de Soldadura MIG/MAG. 2000. Lidingö, Suecia: AGA AB.
- Quality Solutions for Welding & Cutting. 1997. Florence, SC, USA: ESAB Group.
- Eagar, T.W. y Kim, Y.S. 1993. Analysis of Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding Journal. Volume 72. Number 6. 269-278.
- Vallejo, H. 2000 Gases de Protección para Procesos de Soldadura. Memorias del Segundo Simposium Internacional de Soldadura del ITESM. 219-226.
- MIG Welding Handbook. 1996. Florence, SC, USA: ESAB Group.
- Data Source: Guide to Industrial Gases and Cryogenic Fluids. 2000. Danbury, CT. USA: Praxair Technologies Inc.