UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Ingeniería Mecánica

Centro de Investigación de Soldadura (CIS)

Trabajo de Diploma

Desarrollo de un prototipo de fundente aglomerado para el recargue utilizando mezclas pirometalúrgicas en su conformación

Autor: Sergio Hernández Martínez

Tutores: Dr. Lorenzo Perdomo González

Ing. Humberto Carlos Díaz Martínez

Curso: 2015-2016

CON SU ENTRAÑABLE TRANSPARENCIA

Pensamiento

Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

Albert Einstein (1879-1955)

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico especialmente a mi madre por haberme apoyado en todo momento, a mi padre, hermanos y a toda mi familia.

Agradecimientos

Por ayudarme a desarrollar mi trabajo de diploma y por auxiliarme en los momentos en que más los necesité, les agradezco con el alma:

- *A mami por su dedicación, cariño, comprensión y ayuda en estos años de estudio.*
- *A papi por su ayuda y saber sacar de mí lo mejor.*
- *A mis hermanos, especialmente a Sheila por el cariño que me brinda y porque siempre espera mi llegada.*
- *A mis abuelos por hacerme sentir un nieto querido por ellos.*
- *A mis tíos y tías, por preocuparse por mí, al igual que todos mis primos.*
- *A toda mi familia, porque siempre he podido contar con ellos sin importar la distancia.*
- *A mis amigos y compañeros de estudios por estar ahí en estos años y no haberme fallado.*
- *A mi tutor por guiarme en este trayecto, por ayudarme a ser un mejor estudiante.*
- *A Alexis Delgado (La Bala), Misael, Enrique, Alexis Masa por ayudarme para lograr un buen desarrollo de este trabajo.*
- *A todas las personas que me han apoyado y a los que por una razón u otra ya no están, gracias por haber formado parte de mi desarrollo personal y contribuir con mi desarrollo profesional.*

Muchas Gracias

Resumen

En el presente trabajo se estudia la conformación de un fundente aglomerado aleado para el recargue, mediante el proceso SAW, utilizando una mezcla pirometalúrgica como carga aleante. El prototipo de fundente, se conformó en el laboratorio del Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS), donde la matriz está formada por escorias de soldadura del fundente OK flux 1040 y la carga aleante por una mezcla de cromita refractaria, pirolusita y aluminio, aglomerados con una solución de poliestireno expandido. La matriz y la carga aleante son finalmente aglomerados con silicato de sodio. Con el prototipo de fundente se realizaron varios depósitos de soldadura, observándose un adecuado comportamiento tecnológico del fundente durante el proceso de relleno. Se realiza la caracterización química de los depósitos y se evalúan los parámetros geométricos de los cordones de soldadura.

Summary

In this paper the formation of an agglomerated flux for hardfacing alloy is studied by the SAW process, using a pyrometallurgical mixture as an alloying charge. The prototype flux was formed in the laboratory the Welding Research Center (CIS), where the matrix is formed by welding slag flux OK Flux 1040 and the alloy charge a mixture of refractory chromite, manganese dioxide and aluminum agglomerates with a solution of expanded polystyrene. The matrix and the alloy charge are finally bonded with sodium silicate. With the prototype flux several weld deposits were made, showing an appropriate technological behavior of flux during the filling process. The chemical characterization of the deposits are made and the geometric parameters of the weld beads are evaluated.

Índice

Introducción 1
Capítulo 1: Fundamentos Teóricos 4
1.1 Soldadura por arco eléctrico. Generalidades 4
1.2 Proceso de soldadura por arco sumergido (Proceso SAW) 6
1.3 Principio de funcionamiento 7
1.4 Influencia de los parámetros del régimen de soldadura en la forma y dimensión del cordón 9
1.5 Ventajas y limitaciones 11
1.6 Aplicación 12
1.7 Fundente 13
1.7.1 Clasificación de los fundentes según el método de obtención 13
1.7.2 Fundentes Fundidos 14
1.8 Uso de escoria de soldadura 16
1.9 Criterios para la evaluación del comportamiento del fundente 17
1.10 Sistema alambre fundente 18
1.11 Influencia de elementos de aleación 19
1.12 Componentes del fundente a utilizar (materias primas) 20
1.14 Termita. Características 21
1.14.1 Definición 21
1.14.2 Reacciones fundamentales. Energía que aporta (ΔH). Productos que origina 22
1.14.3 Aplicación de la soldadura por temita 22
Capítulo 2: Parte experimental 24
2.1 Materias primas 24
2.2 Preparación del fundente 25
2.2.1 Secuencia de trabajo. Equipamiento 27
2.3 Obtención de los depósitos 28
2.4 Caracterización de los depósitos 29
2.4.1 Determinación de los parámetros geométricos del cordón 29
2.4.2 Caracterización química 29
Capítulo 3: Análisis de los resultados 30
3.1 Potencialidades la carga aluminotérmica 30

3.1.1 Balance de masa 30
3.1.2 Cálculo de calores de reacción 32
3.2 Fundente con carga aluminotérmica 33
3.2.1 Evaluación del fundente y de sus propiedades tecnológicas 33
3.3 Resultados y análisis de las propiedades de los depósitos 36
3.3.1 Resultados del análisis de las dimensiones geométricas 36
3.4 Calculo del coeficiente de dilución 39
3.5 Calor aportado por la fuente 40
3.6 Resultados del análisis químico 41
Conclusiones 45
Recomendaciones 46
Referencias 47
Anexos 50

Introducción

El proceso de soldadura por arco sumergido, actualmente identificado como Proceso SAW, aparece en la primera mitad del siglo XX (O'Brien, 2005). La primera patente de un proceso de soldadura por arco sumergido bajo una capa de fundente granular fue obtenida por B.S. Rubinoff, en los Estados Unidos, en 1930. Es el Instituto de Soldadura Eléctrica E.O. Patón, en la ex URSS, el que desarrolló y perfeccionó este proceso durante la Segunda Guerra Mundial, y su más importante aplicación fue en la soldadura de construcción de los tanques de guerra T34 (Grupo de Tecnología de Soldadura y Recuperación de Piezas CIS-UCLV, 2002).

Los fundentes para la recuperación de piezas y soldadura, mediante el proceso de soldadura por arco sumergido (proceso SAW), deben permitir la obtención de depósitos con determinadas propiedades mecánicas. Esto puede ser logrado mediante la acción conjunta de múltiples factores como la composición química, la dureza, microestructura, etc.

El proceso SAW brinda ventajas en cuanto a la productividad, economía, calidad de los depósitos, es por eso que tiene una amplia aplicación en el mundo, y nuestro país no está exento a esto.

Para llevar a cabo dicho proceso, se requiere de alambre, fundente y la energía necesaria para que haya un buen depósito, ya sea aplicando una soldadura o el relleno. Los fundentes de soldadura utilizados para cualquiera de estos propósitos resultan ser materiales granulados fusibles, las cuales forman un corcho de escoria protegiendo la zona del cordón depositado de la atmósfera.

Cada fundente incorpora propiedades específicas según lo requiera cada caso. Para estos procesos se utilizan fundamentalmente dos tipos de fundentes, fundidos y aglomerado, ambos son utilizados para la soldadura de unión, dependiendo de su uso o de la selección de la composición específica del metal base y de la composición y relación de los sistemas de óxidos de los fundentes propiamente dichos.

Actualmente el país se encuentra inmerso en la política de recuperación y fabricación de piezas por lo que representa tal actividad para la economía de las empresas y del país, y

además como una necesidad imperiosa para mantener activo el transporte, la maquinaria agrícola e industrial.

En el IV Congreso del Partido Comunista de Cuba, celebrado en abril del 2011, se aprobó un documento que rige la política económica y social del país a partir de ese momento. El mismo trata varios puntos sobre la Política de Ciencia, Tecnología, Innovación y Medio Ambiente, donde se plantea en los lineamientos 132 y 134 respectivamente lo siguiente: "Perfeccionar las condiciones organizativas, jurídicas e institucionales para establecer tipos de organización económica que garanticen la combinación de investigación científica e innovación tecnológica, desarrollo rápido y eficaz de nuevos productos y servicios, su producción eficiente con estándares de calidad apropiados y la gestión comercializadora interna y exportadora, que se revierta en un aporte a la sociedad y en estimular la reproducción del ciclo. Extender estos conceptos a la actividad científica de las universidades"; "Las entidades económicas en todas las formas de gestión contarán con el marco regulatorio que propicie la introducción sistemática y acelerada de los resultados de la ciencia, la innovación y la tecnología en los procesos productivos y de servicios, teniendo en cuenta las normas de responsabilidad social y medioambiental establecidas"(IV Congrso del Partico Comunista de Cuba, 2011).

Lo anterior hace referencia a la necesidad de estimular el trabajo conjunto de centros de investigación y empresas en busca de dar soluciones a problemas comunes y fomentar el desarrollo de productos.

Planteamiento del problema

No se conoce el comportamiento tecnológico y propiedades del metal depositado mediante proceso SAW, de un fundente aglomerado aleado para el recargue utilizando mezclas pirometalúrgicas en su conformación, donde la matriz está formada por escorias de fundente OK flux 1040 y la carga aleante por una mezcla de cromita refractaria, pirolusita y aluminio aglomerados con una solución de poliestireno expandido.

Hipótesis

Con una matriz formada por escorias de soldadura del fundente OK flux 1040 y una carga aleante por una mezcla aluiminotérmica, aglomerados con una solución de poliestireno expandido, es posible obtener un fundente aglomerado aleado que garantice adecuadas propiedades tecnológicas en depósitos de soldadura usados en el recargue por SAW.

Objetivo General

Obtener un fundente aglomerado aleado para el proceso SAW, constituido por una matriz de escorias de fundente OK flux 1040, y la carga aleante por una mezcla de cromita refractaria, pirolusita y aluminio aglomerados con una solución de poliestireno expandido, que garantice adecuadas propiedades tecnológicas en el metal depositado mediante proceso SAW.

Objetivos específicos

1. Obtener el fundente aglomerado, utilizando escorias de soldadura del fundente OK Flux 1040 como matriz y la mezcla pirometalúrgica como carga aleante.
2. Evaluar el comportamiento tecnológico del fundente aglomerado obtenido.
3. Caracterizar los depósitos obtenidos

Tareas

1. Revisión bibliográfica sobre el tema y elaborar los fundamentos teóricos para el desarrollo del trabajo.
2. Preparación de las escorias del fundente y obtención de la matriz.
3. Evaluación del comportamiento tecnológico de la matriz.
4. Confección de la carga aleante.
5. Conformación del fundente aleado.
6. Obtención de los depósitos con el régimen de soldadura seleccionado.
7. Preparación y caracterización de los depósitos obtenidos en cuanto a comportamiento tecnológico, composición química y macro estructura.
8. Procesamiento de los resultados.

Capítulo 1: Fundamentos Teóricos

1.1 Soldadura por arco eléctrico. Generalidades

La soldadura constituye el proceso de unión localizada de metales o no metales (materiales bases), producida por calentamiento de los materiales a temperaturas adecuadas, con o sin la aplicación de presión, o por la aplicación de presión únicamente, y sin o con el empleo de material de aportación. El resultado del proceso de soldadura es la costura soldada (Grupo de Tecnología de Soldadura y Recuperación de Piezas CIS-UCLV, 2002).

Existen diversos métodos para cometer una soldadura, dentro de ellos se destacan los métodos que utilizan arco eléctrico. A continuación, se muestra un esquema donde se representan estos procesos de soldadura y seguidamente son explicados brevemente (O'Brien, 2005).

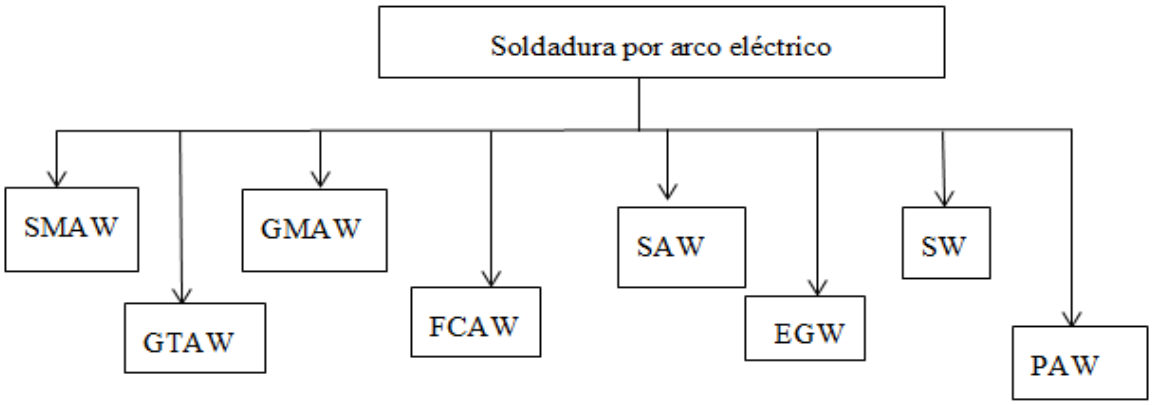

Figura 1.1: Procesos de soldadura por arco

– La Soldadura Manual con Electrodo Revestido (SMAW), es un proceso de soldadura por arco en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando. Es por mucho el más grandemente utilizado de los procesos de soldadura por arco.

– La Soldadura por Arco de Tungsteno y Gas (GTAW), es un proceso de soldadura por arco que utiliza un arco entre un electrodo de tungsteno (no consumible) y el charco de soldadura. El proceso se emplea con un gas protector y sin aplicación de presión.

– Soldadura por Arco de Metal y Gas (GMAW), es un proceso de soldadura por arco que emplea un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. El proceso se realiza bajo un escudo de gas suministrado externamente y sin aplicación de presión.

– Soldadura por Arco con Núcleo de Fundente (FCAW) es un proceso de soldadura por arco que aprovecha un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. Este proceso se emplea con protección de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin un escudo adicional de gas de procedencia externa, y sin aplicación de presión.

– Soldadura por Arco Sumergido (SAW) produce la coalescencia de metales calentándolos con un arco entre un electrodo de metal desnudo y el trabajo. EI arco y el metal derretido está "sumergido" en un manto de fundente granular fusible sobre el trabajo. No se aplica presión, y el metal de aporte se obtiene del electrodo y en ocasiones de un suministro complementario como una varilla para soldar o gránulos metálicos.

– Soldadura Electrogás (EGW), es un proceso de soldadura por arco que utiliza un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura para soldar en la posición vertical con respaldos que retienen el metal de soldadura fundido. El proceso se emplea con o sin un gas protector de proveniencia externa y sin aplicar presión.

– Soldadura de Pernos por Arco (SW), es un proceso en que la base (extremo) del perno se une a la pieza de trabajo mediante el calentamiento del perno y del trabajo con un arco que se forma entre los dos. Una vez que las superficies que se van a unir alcanzan la temperatura apropiada, se juntan a baja presión. Se emplean pistolas soldadoras de pernos para sostener los pernos y empujarlos en la secuencia correcta durante la soldadura. Este método se parece en muchos aspectos a la soldadura por arco de metal protegido manual.

– Soldadura por Arco de Plasma (PAW) es un proceso de soldadura por arco que produce coalescencia de metales calentándolos con un arco constreñido entre un electrodo y la pieza de trabajo (arco transferido) o entre el electrodo y la boquilla de constricción (arco no transferido). La protección generalmente se obtiene del gas caliente ionizado que sale del soplete. Este gas de plasma por lo regular se complementa con una fuente auxiliar de gas protector, el cual puede ser un solo gas inerte o una mezcla de gases inertes. No se aplica presión, y se puede añadir o no metal de aporte.

1.2 Proceso de soldadura por arco sumergido (Proceso SAW)

El proceso SAW se fundamenta en la fusión de un electrodo continuo, macizo o tubular, protegido por la escoria generada por un fundente (granulado o en polvo), con el que se alimenta el arco por separado (Martín, 2008).

El desarrollo de las soldaduras automática y semiautomática por arco sumergido es uno de los logros más importantes en el campo de la técnica de soldadura. Este proceso se caracteriza por el hecho de que el arco arde entre la punta del electrodo y la pieza bajo una capa de fundente de un espesor aproximado de 50-60 mm (Sola, 1998).

En la figura 1.2 se observa este proceso donde el arco eléctrico está sumergido en una capa de fundente que lo cubre totalmente protegiendo el metal depositado durante la soldadura. Además, al igual que en los demás procesos de soldadura por arco, este es un proceso en el cual el calor es aportado por un arco eléctrico generado entre uno o más electrodos y la pieza de trabajo.

Una ventaja del proceso es que, estando el arco completamente encerrado, pueden utilizarse intensidades de corriente extremadamente elevadas (200 a 2000 Amperes) sin chisporroteo o arrastre de aire. Las intensidades elevadas producen una penetración profunda y el proceso es térmicamente eficiente, puesto que la mayor parte del arco está bajo la superficie de la plancha. Es un proceso de alta dilución, en el que aproximadamente se funde dos veces más metal base que electrodo. La cantidad de polvo fundente fundido durante la soldadura es aproximadamente la misma en peso que la de alambre fundido, y se deja sobre el cordón de soldadura como una capa de escoria vítrea. Bajo esta escoria el metal soldado tiene una superficie lisa, casi sin ondulaciones, debido al alto aporte de calor que produce un baño de soldadura grande que solidifica lentamente en contacto con la escoria relativamente fluida. Las soldaduras obtenidas por arco sumergido son notables por su apariencia limpia y contornos lisos. El polvo fundente no fundido durante la operación de soldadura es posible recuperarla para utilizarla nuevamente, pero debe tenerse cuidado que no esté contaminada. Cuando se hace la soldadura en superficies inclinadas o cerca de los cantos es necesario un estante o un dispositivo similar para soportar el fundente (O'Brien, 2005).

La soldadura por arco sumergido, al fundir el metal base con una considerable profundidad de fusión, permite disminuir el ángulo de preparación de bordes a soldar y a veces sin pasar la preparación (Sola, 1998).

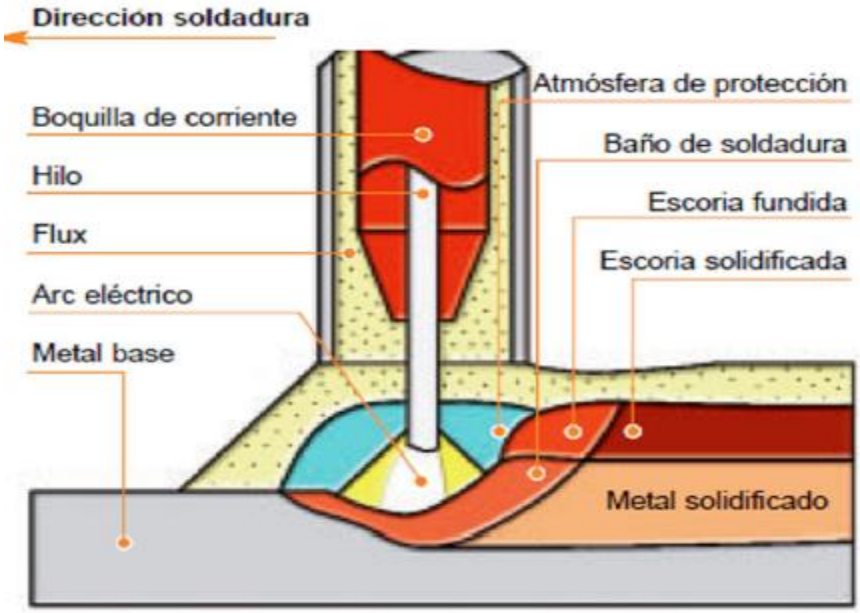

Figura 1.2: Soldadura por arco sumergido (Martín, 2008)

1.3 Principio de funcionamiento

En la figura 1.3 se muestra los componentes de la instalación para este proceso de soldadura. La corriente eléctrica se conduce entre el electrodo y la pileta fundida a través de un plasma gaseoso inmerso en el fundente. La potencia es suministra por un generador, transformador – rectificador o un transformador y se conduce al alambre (electrodo) a través del tubo de contacto, produciéndose el arco entre aquel y el metal base. El calor del arco funde el electrodo, el fundente y parte del metal base, formando la pileta de soldadura que conforma la junta. En los equipos de este tipo hay un mecanismo que tracciona el alambre y lo conduce a través del tubo de contacto y de la capa de fundente hasta el metal base. Los alambres utilizados son generalmente aceros de bajo carbono y de composición química perfectamente controlada; el alambre se encuentra usualmente enrollado en una bobina. El fundente se va depositando delante del arco a medida que avanza la soldadura. Cuando se solidifica, se extrae el exceso para utilizarlo nuevamente y el fundido se elimina

mediante un piqueteado. En los equipos modernos existe una aspiradora que absorbe el excedente de fundente y lo envía nuevamente a la tolva de alimentación (O'Brien, 2005).

Este procedimiento se aplica solamente que a la soldadura y al recargue de piezas en aceros al carbono, aleados o con baja aleación, y en aceros inoxidables o refractarios.

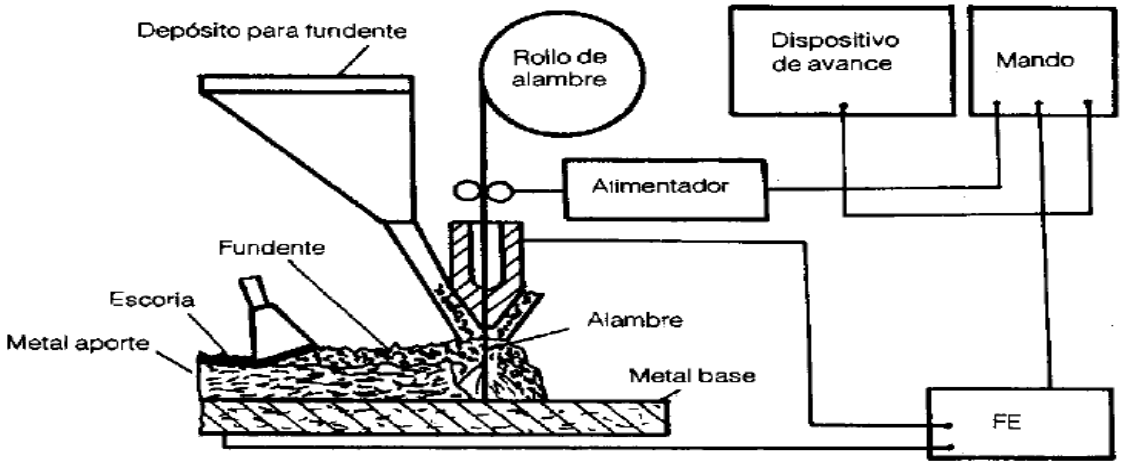

Figura 1.3: Esquema de los componentes de la instalación del proceso SAW (Grupo de Tecnología de Soldadura y Recuperación de Piezas CIS-UCLV, 2002)

Figura 1.4: Proceso de soldadura (Weld, 2016)

Existen varias formas de aplicación del proceso, estos pueden ser:

– Semiautomático: Utiliza una un dispositivo en forma de pistola de soldar manipulada manualmente que se encarga de alimentar el alambre y el fundente. La velocidad de avance pude darse de forma manual o mediante un pequeño mecanismo montado en dicha pistola.

– Automático: Utiliza un equipamiento que realiza la soldadura sin requerir un operario que ajuste los controles.

– Mecanizado: Emplea un equipamiento (tractor de soldadura con mecanismo de alimentación del alambre, mecanismo de avance y panel de control), este debe ser monitoreado por un operario.

1.4 Influencia de los parámetros del régimen de soldadura en la forma y dimensión del cordón

Muchos, concuerdan que la selección de condiciones de soldadura más conveniente para el espesor de chapa y preparación de junta a soldar es muy importante, a los efectos de lograr soldaduras libres de defectos. Los parámetros considerados son (O'Brien, 2005; Tejeda, 2014; Grupo de Tecnología de Soldadura y Recuperación de Piezas CIS-UCLV, 2002):

Polaridad:

Con corriente continua positiva, CC (+) se logra mayor penetración, mejor aspecto superficial y mayor resistencia a la porosidad (Polaridad inversa).

Con corriente continua negativa, CC (-) se obtiene mayor velocidad de deposición con menor penetración (Polaridad directa).

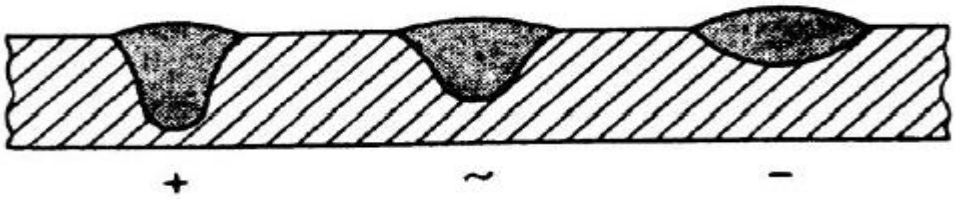

Figura 1.6: Influencia del tipo de corriente y polaridad sobre la forma del cordón.

Corriente de soldadura:

Con el aumento de la intensidad de la corriente de soldadura aumenta la penetración y la velocidad de deposición. También es importante mencionar que una intensidad excesiva produce un arco penetrante y mordeduras, o un cordón estrecho con refuerzo excesivo, por otro lado si la intensidad es demasiado baja el arco es inestable y se producirá falta de penetración.

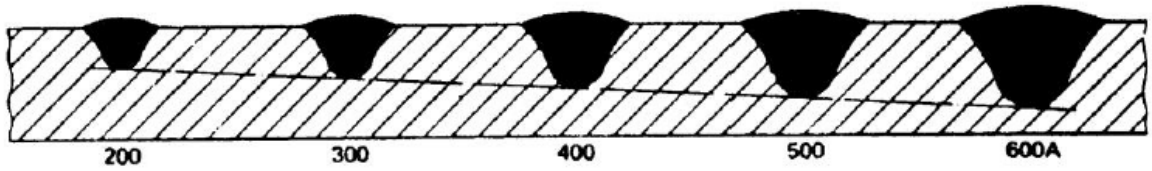

Figura 1.7: Influencia de la intensidad de corriente en el aspecto del cordón.

Tensión del arco:

Al aumentar la tensión se incrementan la dilución y el ancho del cordón, disminuyendo la sobremonta. Al mismo tiempo aumenta la cantidad de fundente que se funde con igual cantidad de alambre, lo que afecta a la composición química del metal de soldadura en el caso de emplear fundentes activos. El voltaje determina fundamentalmente la geometría del cordón; por cada volts que se aumente, se está aumentando la potencia de fusión en un 1 % y la dilución en conjunto con el gasto de fundente en un 10%.

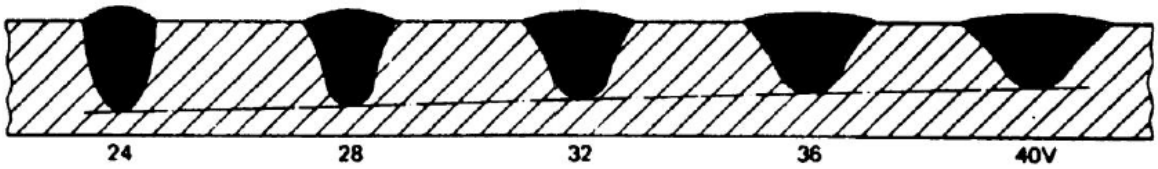

Figura 1.8: Efecto de la tensión en el aspecto del cordón.

Velocidad de avance:

Al aumentar la velocidad de traslación del arco disminuye el calor aportado por unidad de longitud del cordón de soldadura, como también hay menor cantidad de aportación del metal y una disminución del refuerzo del cordón, y este aumento de velocidad de soldeo puede provocar un ligero aumento en la penetración.

Por otro lado si la velocidad es demasiado baja el cordón de soldadura tendrá un refuerzo excesivo que favorece la formación de grietas, y un baño de fusión de grandes dimensiones, con tendencia a formar inclusiones de escoria, y costuras con acabado más pobre.

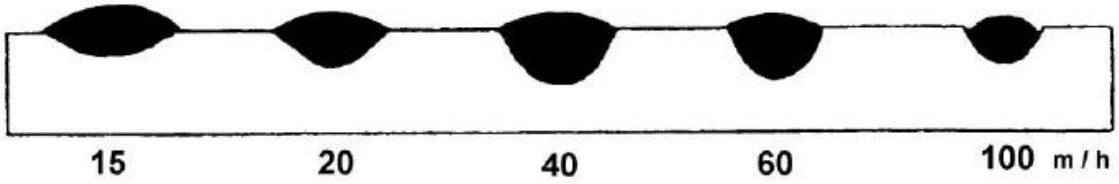

Figura 1.9: Efecto de la velocidad de soldadura sobre el aspecto del cordón.

Es necesario mencionar la influencia de otros parámetros como el diámetro del alambre que aumentando el diámetro se reduce la penetración pero el arco se torna más inestable y se dificulta su encendido, y el espesor de la capa de fundente que, una cama de fundente de poco espesor puede producir porosidad por una inadecuada protección del metal fundido. Por otro lado, una cama muy gruesa desmejora el aspecto del cordón y pude conducir a derrames del metal fundido en soldaduras circunferenciales y producir dificultades para la remoción de la escoria en chaflanes profundos.

El proceso SAW puede utilizar corriente alterna o continua, y la fuente de corriente puede estar regulada con una Curva de Característica Estática de Corriente Constante o de Voltaje Constante. La elección más común, o para las aplicaciones más usuales es trabajar con una fuente de corriente regulada en Voltaje Constante y con el electrodo consumible en polaridad positiva. La clase de corriente y la polaridad influyen en la composición química del metal aportado y en la forma del cordón (Martín, 2008).

1.5 Ventajas y limitaciones

Ventajas

El empleo de esta soldadura posibilita que las juntas pueden ser preparadas en "V" con poca profundidad debido a la elevada penetración del proceso que permite reducir notablemente, o incluso suprimir el achaflanado en ciertos casos, obteniéndose con esto un menor consumo de alambre y fundente, bajo precio de coste del cordón de soldadura, dado que la cantidad de metal a aportar es a menudo mucho más reducida que con los demás procedimientos de soldadura, es característico las altas velocidades debido a la elevada intensidad con que se opera en la mayoría de las aplicaciones, deformaciones reducidas, cordones de soldadura de muy buen aspecto, no es necesario proteger al operador de la máquina de la emisión de radiación, ya que el arco se encuentra sumergido en el fundente, evitándose además las salpicaduras del metal fundido, no hay escape de humo y el fundente actúa como un desoxidante protegiendo el arco y aportando elementos de aleación al cordón en el caso de emplear fundentes aleados, tiene un campo de aplicación muy extenso que permite usos muy variados como son: soldadura de chapas delgadas, soldadura de chapas espesas, soldadura de acero blando, aleados o inoxidables, trabajos de recargue y de

mantenimiento y la posibilidad, con los productos de aporte apropiados, de obtener juntas con excelentes características mecánicas (O'Brien, 2005; Air Liquide, 2016).

Limitaciones

Este proceso posee varias desventajas como: el tiempo de preparación mayor previa es mayor que otros, algunas soldaduras requieren algún tipo de respaldo para evitar la perforación del metal base, no permite la soldadura de chapas de poco espesor (inferior a 1,5 mm) teniendo en cuenta la fuerte penetración, está limitada, salvo a disposiciones particulares, a la ejecución de soldaduras situadas a la posición de soldadura plana y horizontal, no se aplica más que a los aceros al carbono, aleados o no, así como a los aceros inoxidables y refractarios, a partir del espesor de 16 mm, no se puede efectuar más el enlace de piezas borde a borde, es entonces necesaria una preparación de las piezas (chaflán) (O'Brien, 2005; Air Liquide, 2016).

1.6 Aplicación

La soldadura por arco sumergido ha encontrado su principal aplicación en los aceros suaves de baja aleación, aunque con el desarrollo de fundentes adecuados el proceso se ha usado también para el cobre, aleaciones a base de aluminio y titanio, aceros de alta resistencia, aceros templados y revenidos y en muchos tipos de aceros inoxidables. También se aplica para recubrimientos duros y reconstrucción de piezas. Es un método utilizado principalmente para soldaduras horizontales de espesores por encima de 5mm, en que las soldaduras sean largas y rectas. Pueden soldarse espesores hasta doce milímetros sin preparación de bordes mientras que con preparación de bordes el espesor máximo a unir es prácticamente ilimitado (O'Brien, 2005).

Este método es ampliamente utilizado, tanto para soldaduras a tope como en T, en construcción naval e industrias de recipientes a presión, estructuras metálicas, tubos y tanques de almacenaje; para esta última finalidad se utilizan máquinas especiales autopropulsadas, con un dispositivo para contener el fundente, para soldar las costuras circulares en plaza.

1.7 Fundente

A manera general el fundente es un producto químico que se agrega en el proceso de soldadura con el objetivo de proteger la soldadura fundida de la interacción con el ambiente, al formar una atmósfera protectora inerte para evitar la formación de compuestos químicos indeseables en las superficies fundidas de los metales, limpiar y desoxidar la soldadura fundida, ayuda a controlar las propiedades químicas y mecánicas del metal de aporte en la soldadura (Weld, 2016).

1.7.1 Clasificación de los fundentes según el método de obtención

Los fundentes para la soldadura por arco sumergido están granulados a un tamaño controlado. Existen dos métodos importantes para elaborar los fundentes, granulados y fundidos (Weld, 2016).

Se fabrican mezclando en seco los ingredientes del fundente y luego aglomerándolos en una mezcla con silicato líquido, entonces los gránulos del fundente son horneados una temperatura relativamente baja para eliminar el agua del silicato líquido. Este tipo de fundente puede contener partículas metálicas desoxidantes las cuales pueden favorecer a la buena operación sobre oxido y escamas metálicas. Una desventaja notable de este tipo de fundente es su alta capacidad higroscópica, mientras están almacenados son capaces de absorber altas cantidades de humedad si no están apropiadamente aislados y acondicionados. Un procedimiento eficaz para eliminar la humedad, si se sospechara de su existencia, es el de hornear los paquetes de fundente sin abrir en hornos para electrodos a una temperatura de entre 260 °C (500 F) y 427 °C (800 F) durante un tiempo no mayor de 6 horas, lo que debería remover toda la humedad existente, muchos operadores prefieren hacer este procedimiento con todos los paquetes de fundente, incluyendo los nuevos, como una forma de asegurar el resultado de sus soldaduras y garantizando así que estén libres de contaminación (Weld, 2016).

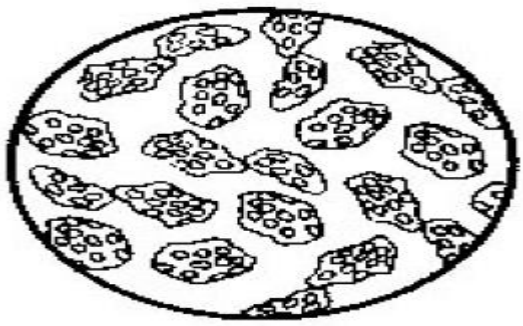

Figura 1.10: Vista de la granulometría de un fundente aglomerado(Weld, 2016)

1.7.2 Fundentes Fundidos

Estos son fabricados mezclando los ingredientes para luego fundirlos en un horno eléctrico de alta temperatura hasta formar un líquido homogéneo. Este fundente líquido al enfriarse vuelve a su estado sólido para luego ser triturado en un molino hasta lograr la granulometría adecuada al formato requerido. Su ventaja principal es que debido a su alta dureza, producto del proceso de fundición a alta temperatura de 1614 °C (3000 F), es que el grado de hidroscopia es casi nulo, es muy difícil que este material absorba humedad, no obstante alguna humedad podría condensarse en las superficies de los granos, la cual es de fácil manejo pudiéndose eliminar a una muy baja temperatura, 145 °C (300 F) por una hora, el proceso de fundición también logra que los componentes se mezclen químicamente uniforme, esto proporciona un rendimiento estable de la soldadura, incluso a altos niveles de corriente, también permiten una velocidad de avance más alta durante el proceso de soldadura.

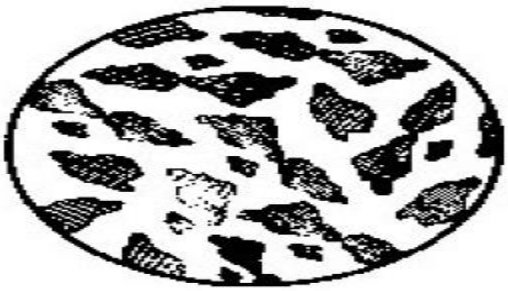

Figura 1.11: Vista de la granulometría de un fundente fundido(Weld, 2016)

Según la composición química los fundentes se clasifican en(O'Brien, 2005):

– básicos
– ácidos
– neutros

Los fundentes básicos poseen normalmente altos contenidos de MgO y/o CaO, y los ácidos de SiO_2. Los fundentes básicos se han convertido recientemente en los principales para aplicaciones críticas, donde se requiera un riguroso control de la composición y propiedades del depósito; estos están disponibles para cualquier aplicación sobre un material soldable por proceso SAW.

Uno de los errores de concepto más importantes lo constituye la creencia generalizada de que el metal depositado con fundentes altamente básicos proporciona muy buenas propiedades de resiliencia (energía de deformación (por unidad de volumen) que puede ser recuperada de un cuerpo deformado cuando cesa el esfuerzo que causa la deformación) en soldadura multipasada. Es importante entender que, contrariamente a esa extendida creencia, muchos de los fundentes básicos disponibles comercialmente no muestran una relación directa entre basicidad y tenacidad del metal depositado (Martín, 2008).

La expresión 1.1, permite determinar la basicidad del fundente (Martín, 2008)

$$B = \frac{CaO+MgO+Na_2O+K_2O+Li_2O+CaF_2+{}^{1}/_{2}(MnO+FeO)}{SiO_2+-{}^{1}/_{2}(Al_2O_3+TiO_2+ZrO_2)} \qquad (1.1)$$

La clasificación clásica de los fundentes según la basicidad, aceptada por la generalidad de los autores es: cuando B > 1 son básicos, si B < 1 son ácidos y para B = 1 se consideran neutros. La basicidad de un fundente la define el sistema de óxidos principal de la matriz, de ello se infiere la importancia de la matriz del fundente y de su sistema de óxidos principal.

Igualmente los fundentes se clasifican según su efecto en los resultados finales de la operación de soldadura, los cuales pueden ser Activos y Neutros.

Activos

Los fundentes activos son aquellos que causan un cambio sustancial en la composición química final del metal de soldadura cuando el voltaje de soldadura (y por consiguiente la cantidad de Fundente) es cambiado. Los fundentes fundidos generalmente aportan grandes cantidades de magnesio y silicio al material de aporte, incrementando la resistencia, pero cuando se usa fundente activo para hacer soldaduras de multipases, puede ocurrir una excesiva acumulación de estos componentes resultando en una soldadura muy vulnerable a las grietas y las fracturas, los fundentes activos deben ser usados limitadamente en las soldaduras con pasos múltiples, especialmente sobre oxido y escamas metálicas, un cuidado especial en la regulación del voltaje es recomendado cuando se usa este tipo de fundentes en el procedimiento de soldadura con pasos múltiples para evitar la saturación de magnesio y silicio, por tanto, no es recomendado el uso de fundentes activos en soldaduras de pasos múltiples en láminas de un diámetro superior a los 25 mm (1") (Weld, 2016).

Neutros

Este tipo de fundente no causa cambios significativos en la composición química del metal de aporte, ni siquiera con variaciones de voltaje. Los fundentes neutros no afectan la fuerza de la soldadura indiferentemente al voltaje o número de pases de soldadura que se apliquen. Como regla general, los fundentes neutros deben ser parte de las especificaciones de las soldaduras con pases múltiples.

1.8 Uso de escoria de soldadura

Varios autores (Garg, 2010; Singh, 2009), han descrito el uso de la escoria de soldadura para su reciclaje. La soldadura por arco sumergido (SAW) es un proceso que genera una gran cantidad en de escoria. La mayoría de la escoria producida en la industria es desechada, pero esta escoria es posible reciclarla nuevamente, permitiendo volverse a utilizar para las mismas operaciones de SAW y reduciendo los costes del proceso para la generación de fundentes.

Las escorias están siendo rehusadas actualmente como fundentes o matrices de fundentes para la soldadura(Pérez et al., 2015). En la industria cubana también se utilizan para la

soldadura SAW diferentes tipos de fundentes, los cuales están formados por un sistema de óxidos del tipo $Si0_2$-MnO, los que producen elevados volúmenes de escorias. Estas escorias conservan el sistema de óxidos mayoritarios (MnO + SiO_2) > 60 %, lo que hace posible su aprovechamiento, a pesar de tener valores algo elevados de óxido de hierro, fósforo y azufre en relación con los fundentes de este sistema. La presencia de estos residuos da la posibilidad de valorar alternativas de uso en el propio proceso que les dio origen. Lo que puede lograrse realizando un reajuste de la composición química, con el objetivo de lograr propiedades adecuadas para el empleo en el relleno superficial por SAW de piezas que trabajan bajo condiciones severas de desgaste abrasivo y de bajo impacto (Cruz et al., 2005). Ejemplo de ello puede ser en la recuperación de rodillos de buldózer.

También es importante mencionar el uso de fundentes aglomerados con polímeros, para los que se han realizado estudios sobre el uso de un polímero como aglomerante en el revestimiento de electrodos para soldadura, donde se aprecian buenos resultados. Además se han desarrollado trabajos donde se aplica este mismo principio para SAW, en los que se manifiesta que la aplicación del polímero a este proceso resulta eficaz, proporcionando un buen aspecto visual en el cordón de la soldadura (Silva y Quieroz, 2015).

1.9 Criterios para la evaluación del comportamiento del fundente

La matriz generalmente está formada por un grupo de óxidos y sales (Al_2O_3, SiO_2, TiO_2, MnO, CaO, MgO, CaF_2). Los fundentes fundidos más utilizados en la industria cubana son del tipo SiO_2-MnO, los que después de la fusión en el proceso de soldadura, las escorias siguen conservando el sistema de óxido mayoritario (SiO_2-MnO) > 60 %, lo que posibilita su aprovechamiento a pesar del cambio de su composición original y la posible degradación de esa composición (Cruz et al., 2005).

Las características de los óxidos cumplen funciones metalúrgicas y tecnológicas, las funciones metalúrgicas son: la regulación del carácter ácido - básico de las escorias y de la transferencia de elementos y las funciones tecnológicas: garantizar estabilidad del arco eléctrico, buen desprendimiento de escoria, conformación del cordón, no presencia de humo, ni llamas y contribuir a la reducción de las pérdidas por salpicaduras (Artíles, 2006).

Por tanto para garantizar ese sistema de óxidos, se hace necesario la adecuada selección de las materias primas, con el objetivo de obtener las propiedades necesarias.

Se recomienda evaluar las propiedades tecnológicas siguientes (Artíles, 2006):

- Estabilidad de arco.
- Desprendimiento de escoria.
- Presencia de llama.
- Presencia de humo.
- Presencia de poros o grietas.
- Presencia y uniformidad del cordón.

1.10 Sistema alambre fundente

Varios autores(Sola, 1998; Tejeda, 2014) coinciden que la calidad de la soldadura por arco sumergido depende en gran medida de las propiedades del fundente empleado. También se habla de que intervienen dos elementos esenciales: el alambre electrodo y el fundente, de la calidad de estos depende en gran medida de la calidad del relleno que se realiza.

Por tanto, es importante que exista una gran compatibilidad entre alambre (electrodo)-fundente para garantizar determinadas propiedades del metal depositado siendo significativo garantizar la correcta compatibilidad entre la matriz y la carga aleante con el alambre electrodo seleccionado.

Esta compatibilidad debe garantizar la protección de la zona de soldadura contra el aire de la atmósfera, la estabilidad del arco, la buena formación del metal de la costura, que no proporcione la formación de grietas, la adecuada composición, la estructura y propiedades del metal depositado, la separación fácil de la costura de escoria y el menor desprendimiento de polvo y gases dañinos para la salud del soldador.

Los fundentes se diferencian según su empleo, composición y propiedades. Según el método de fabricación se dividen en: aleados y no aleados. Los aleados se obtienen mediante la fusión en hornos de una carga de composición determinada y por lo general son silicatos. Los no aleados o cerámicos son mezclas mecánicas de materiales en forma de de polvo y grano (Sola, 1998).

Alambre-electrodo: es el encargado de suministrar el metal de aporte, el cual puede influir su composición química decisivamente en la calidad del relleno efectuado, este se elige de acuerdo al sistema alambre-fundente deseado con el fin de obtener las propiedades exigidas en el metal depositado.

Fundentes: es el encargado de proteger la soldadura la calidad de la misma depende del tipo de fundente utilizado ya que estos aportan un grupo de elementos aleante, los cuales influyen en las propiedades mecánicas y tecnológicas al ser depositado por la fusión.

Loa fundentes aglomerados aleados destinados al relleno duro (recargue) deben:

– Asegurar la adecuada composición química el metal depositado, así como sus propiedades mecánicas.
– Asegurar la estabilidad del arco durante todo el proceso.
– Formar una costra de escoria de fácil desprendimiento.

Existen tres combinaciones de alambre-fundente para obtener las propiedades requeridas en la capa aportada.

– Alambre aleado con fundente aleado.
– Alambre no aleado con fundente aleado.
– Alambre aleado con fundente no aleado.

De las variantes anteriores la segunda es la más utilizada, resulta más económica y garantiza una alta calidad en las capas depositada.

1.11 Influencia de elementos de aleación

Los elementos de aleación influyen sobre la microestructura que se desea obtener y sus propiedades tecnológicas o mecánicas. A continuación se plantea la influencia de algunos elementos (Guliáev, 1983; Artíles, 2006):

– Carbono: Eleva la tendencia del acero a amortizar las vibraciones, influye notablemente, tanto con la dureza que se obtiene como con la estructura de la capa que se aporta, contribuyendo a una mayor resistencia al desgaste y es el elemento principal para la

formación de carburos estables. El carbono, a pesar de su afinidad por el oxígeno, cumple la función de desoxidante.

– Cromo: Aumenta la profundidad del endurecimiento y mejora la resistencia al desgaste y la corrosión. Durante el relleno afina el grano y tiene influencias positivas en la obtención de estructuras martensíticas o de grado inferior, así como, en la existencia de la austenita residual y la formación de carburos.

– Manganeso: Actúa como un desoxidante y también neutraliza los efectos nocivos del azufre, facilitando la laminación, el moldeo y otras operaciones de trabajo en caliente. El manganeso, presente en el metal depositado, aumenta su templabilidad y contribuye a la formación de la estructura durante el enfriamiento al aire y la mejora de las propiedades del metal depositado como, resistencia al impacto y al desgaste expuesto. El Mn, al igual que en el alambre, puede introducirse también en los fundentes con el doble propósito de actuar como desoxidante.

– Molibdeno: Influye esencialmente en la templabilidad y aumenta también la dureza y resistencia a altas temperaturas o sea, brida una mayor estabilidad al rojo.

– Vanadio: Básicamente ofrece dureza y ayuda en la formación de granos de tamaño fino. Aumenta la resistencia a los impactos y la resistencia a la fatiga.

1.12 Componentes del fundente a utilizar (materias primas)

– **Pirolusita (Manganeso):** La industria metalúrgica es la principal consumidora de manganeso, y solo el 5 % de este metal se emplea en las industrias de la electrotécnica (para la producción de baterías secas), de la química (pinturas y lacas) y de la cerámica (Vasallo, 2008). En Cuba los yacimientos de mayor importancia están en Oriente, ocupando el primer lugar el de Ponupo, cerca de El Cristo.

– **Cromita (cromo):** Actualmente los principales consumidores de cromitas es la industria metalúrgica (65%), la industria de los aislantes contra el calor (18%) y la industria química (17%). La adición de cromo al acero, aumenta su solidez, dureza y propiedades anticorrosivas (aceros inoxidables, esferas duras, resistentes a ácidos y en diferentes instrumentos de acero). Combinaciones de cromo con cobalto, tungsteno y molibdeno se utilizan como cubiertas anticorrosivas (cromado) (Vasallo, 2008).. El yacimiento Mercedita

constituye el depósito de cromita podiforme más grande de Cuba y del continente americano. Se explota desde 1981 y de él se han extraído más de 500.000 t de cromita de grado refractario. Actualmente la producción es de más de 30.000 t/año (Proenza et al., 2016).

– **Aluminio:** En 1865 fue obtenido por el químico ruso N. Bequet por medio de experimentos empleando el Mg a partir de una criolita (Na_3AlF_6). La industria del aluminio solamente se desarrolló después de encontrar el método de electrólisis de la criolita-arcillas el cual fue inventado casi simultáneamente en 1866 por P. Eru en Francia, Ch. Hall en EUA y K. Bayer en Rusia en 1887. También se han ideado métodos para obtener aluminio a partir de bauxitas de calidad inferior por medio de cocimiento. El aluminio es muy ligero, tiene alta conductividad eléctrica, alta estabilidad contra corrosión y alta estabilidad mecánica (combinado con Cu, Si, Mg, Mn, Zn, Ni), por lo que tiene una amplia aplicación en la industria de la aviación, de automóviles, transporte, construcción, envases de líquidos y utensilios de cocina. Las reservas de bauxitas en el mundo sobrepasan los 23 mil millones de toneladas, de las cuales 90 % se ubican en zonas tropicales, 75 % de ellas pertenecen a Australia, Guinea, Brasil, Jamaica y Camerún (Vasallo, 2008).

– **Escoria:** Como ya se conoce, la escoria de soldadura empleada es del fundente OK Flux 1040 proveniente del proceso de la empresa Conformat en Matanzas, las cuales son desechadas.

1.14 Termita. Características

1.14.1 Definición

La soldadura por termita es un proceso que produce coalescencia de metales calentándolos con metal fundido sobrecalentado proveniente de una reacción aluiminotérmica entre un óxido metálico y aluminio. EI proceso surgió a partir del descubrimiento, de que la reacción exotérmica entre polvo de aluminio y un óxido metálico puede iniciarse con una fuente de calor externa. La reacción es altamente exotérmica, por lo que, una vez iniciada, se mantiene a sí misma (O'Brien, 2005).

1.14.2 Reacciones fundamentales. Energía que aporta (ΔH). Productos que origina

Las reacciones aluiminotérmicas tienen como base que el aluminio reacciona con el oxígeno de los óxidos de otros metales para formar el óxido de aluminio, liberando gran cantidad de calor, que podrá entonces ser aprovechado en la realización de la soldadura de piezas metálicas, de diferentes tamaños(AWS, 2016).

De manera general la reacción termoquímica ocurre de la siguiente manera (O'Brien, 2005):

Óxido metálico + aluminio (polvo) $\longrightarrow$ Óxido de aluminio + metal + calor

Las reacciones termoquímicas típicas, **y** las energías térmicas producidas, aparecen a continuación:

$3Fe_3O_4 + 8Al \rightarrow 9Fe + 4Al_2O_3$: H= 3350 kJ

$3Fe0 + 2Al \longrightarrow 3Fe + Al_2O_3$: H = 880 kJ

$Fe_2O_3 + 2Al \longrightarrow 2Fe + Al_2O_3$: H = 850 kJ

$3CuO + 2Al \longrightarrow 3Cu + Al_2O_3$: H = 1210 kJ

$3Cu_2O + 2Al \longrightarrow 6Cu + Al_2O_3$: H = 1060 kJ

Como se observa las reacciones dan origen a disímiles productos, los cuales pueden variar a partir de los elementos de reacción de la mezcla. EI calor generado por esta reacción exotérmica produce un líquido compuesto por metal y óxido de aluminio.

1.14.3 Aplicación de la soldadura por temita

La aplicación más frecuente suele ser la soldadura de secciones de rieles para formar tramos continuos, ya que constituye una forma eficaz de minimizar el número de uniones sujetas con pernos en la estructura de la vía. Esta soldadura puede ser efectuada con o sin precalentamiento La soldadura por termita sin precalentamiento puede servir para empalmar barras de acero de refuerzo para concreto armado. EI empleo de barras de refuerzo continuas permite diseñar columnas o vigas de concreto con menor sección transversal que cuando las barras no están soldadas (O'Brien, 2005).

También se emplea en el campo marino para reparar secciones gruesas de metal ferroso como armazones de popa, piezas del timón, ejes y soportes rotos. Los cuellos, piñones y dientes de piñones rotos de rodillos para láminas y placas se reemplazan con piezas totalmente nuevas, coladas o forjadas a un tamaño ligeramente en exceso del requerido para que puedan maquinarse. Luego se sueldan por termita a la sección principal.

Los extremos de bamboleo muy desgastados de los rodillos de forjas de acero pueden reemplazarse de manera similar con un depósito de metal de termita con la tenacidad suficiente y que sea maquinable.

Capítulo 2: Parte experimental

2.1 Materias primas

Para la conformación del fundente se emplearon materias primas provenientes de varios yacimientos de minerales, residuales sólidos de la industria y algunos productos industriales.

Se emplean materias primas como:

- Pirolusita que es mineral de manganeso, procedente del Yacimiento Margarita de Cambute en Santiago de Cuba.

- Cromita refractaria que es un mineral de cromo de baja ley, empleado en la fabricación de mezclas de moldeo, procedente del Yacimiento Cayo Guam, en la Provincia de Holguín.

- Aluminio metálico en forma de virutas que se obtienen en el proceso de maquinado en la fábrica de antenas de Santa Clara.

- Escoria de soldadura, del proceso SAW, de fundente del fundente OK flux 1040, generadas en la Empresa Conformat de Matanzas.

- Solución de piliestireno expandido en cloroforma al 15 %. Se utiliza el poliestireno procedente de embalajes.

- Silicato de sodio metalúrgico, producido en Sagua La grande, Villa Clara.

En la tabla 2.1 se presenta la composición química de las materias primas usadas en el procesamiento.

Tabla 2.1: Composición química de las materias primas utilizadas (% masa)

Viruta de aluminio		**Cromita**		**Pirolusita**		**Escorias**	
Comp.	Cont. %	Comp.	Cont. %	Comp.	Cont. %	Comp.	Cont. %
Si	3,5-4,0	Cr_2O_3	32,87	Al_2O_3	1,54	SiO_2	34,78
Fe	0,5-0,6	SiO_2	5,79	CaO	1,35	MnO	25,15
Mn	0,3-0,35	Al_2O_3	26,06	Fe_2O_3	1,51	CaO	13,38
Cu	0,5-0,8	Fe_2O_3	16,16	MgO	0,3	Al_2O_3	7,66
Mg	0,3-0,5	CaO	0,42	MnO	0,14	Fe_2O_3	6,29
Zn	0,5-0,6	MgO	16	MnO_2	76,14	MgO	3,88
Al	Balance	-	-	K2O	0,24	CaF_2	1,31
-	-	-	-	P_2O_5	0,02	TiO_2	1,43
-	-	-	-	Na_2O	0,47	Na_2O	1,41
-	-	-	-	SiO_2	5,6	P	0,096
-	-	-	-	Humedad	2,08	S	0,04

2.2 Preparación del fundente

Primeramente se tritura, en un molino de bolas, la escoria de soldadura para posteriormente ser pasada por el tamiz con un tamaño de grano de 0,25 mm. La cromita y la pirolusita ya se encontraban con un tamaño de grano por debajo de 1 mm, el aluminio fue tamizado por debajo de 1 mm, utilizándose ambos productos con este tamaño de grano.

Se seleccionó una carga aleante formada por 25 g de aluminio, 24 g de cromita y 51 g de pirolusita durante un periodo de 30 minutos, conformando una mezcla de 100 g de termita (Tejeda, 2014; Ruiz, 2012). Esta mezcla fue aglomerada con una solución de poliestireno expandido, la que fue secada primeramente al aire y después a 60 °C durante 1 hora. Finalmente se trituró hasta obtener una granulometría inferior a 1 mm.

Posteriormente este producto (carga aleante) se mezcló con 800 g de escoria molida (matriz) durante 30 min, posteriormente se le adiciono un 20 % de aglutinante (silicato de sodio). Al secarse esta mezcla al aire y después de un proceso de tamizado a 2,5 mm, se coloca en una estufa (calcinación) a una temperatura de 250 °C a 300 °C para eliminar la humedad durante una hora, después es colocada en un recipiente (desecadora) para preservarla, hasta la realización del proceso de soldadura.

Además de la evaluación del fundente secado y calcinado a 300 ºC, se hizo una evaluación con este producto calcinado, en una mufla, a 450 ºC.

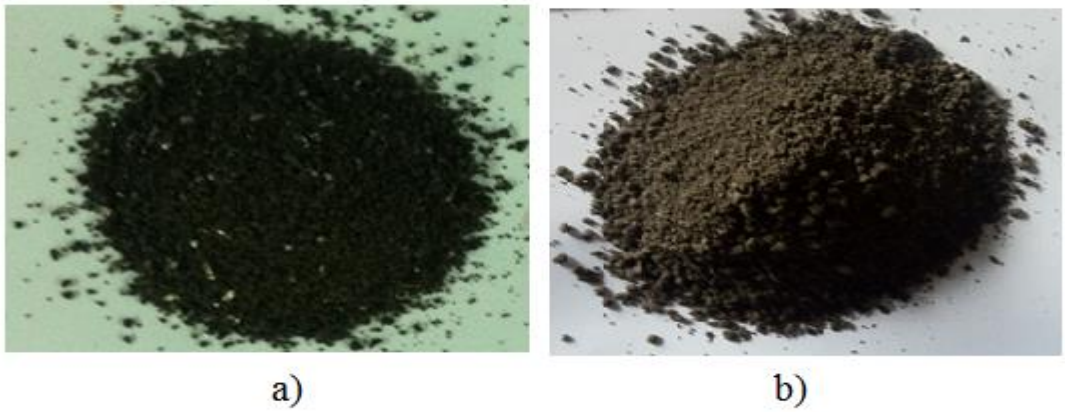

Figura 2.1: Fundentes obtenidos, a) con termita, b) sin termita

Como se observa en la figura 2.1 b), igualmente se realizó una prueba con este fundente y así tener un patrón de comportamiento sin carga aleante.

En la figura 2.2 se muestra los pasos seguidos durante el proceso de confección del fundente con carga aleante hasta la realización del depósito. Para el caso del fundente sin la carga aleante se elimina la parte de la carga y se procede de igual manera.

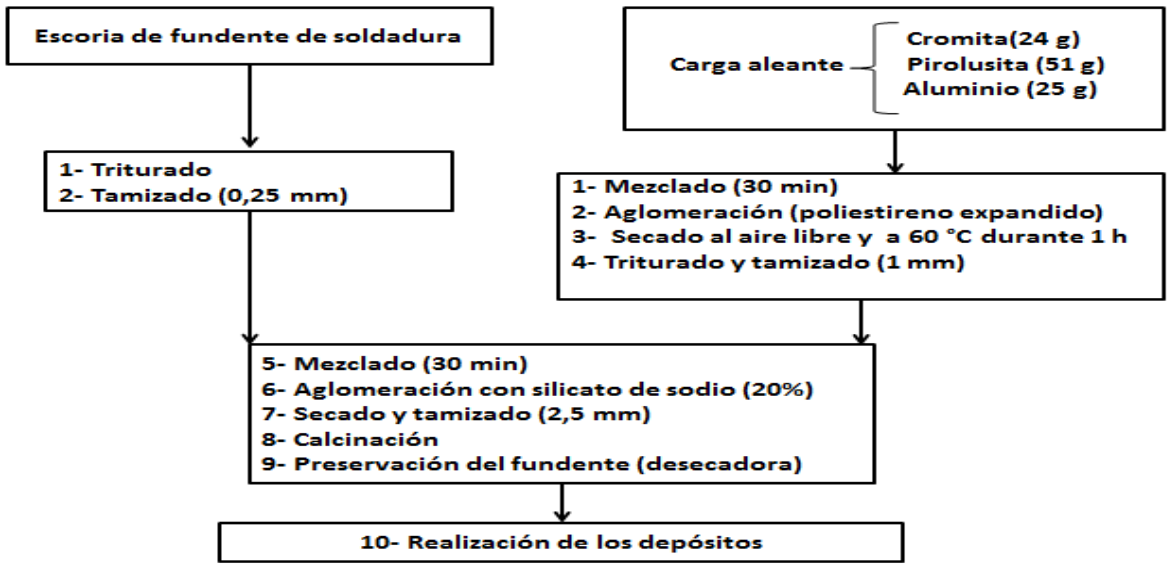

Figura 2.2: Diagrama de flujo del fundente con carga aleante

2.2.1 Secuencia de trabajo. Equipamiento

– Pesaje: El pesaje de los diferentes componentes se realizó con una balanza técnica.

– Mezclado: Esta operación se llevó a cabo en un mezclador rotatorio que cuenta con un recipiente metálico, realizándose la alimentación de los productos en orden ascendente de densidades, el mezclado se realiza durante 30 minutos, colocándose el equipo con una inclinación de 30° respecto a la horizontal.

– Secado: Una vez mezclados los diferentes componentes, la mezcla es calentada, en una estufa y mufla. Se utilizaron varios rangos de temperatura.

– Realización del depósito: Con el fundente ya elaborado se efectúan los depósitos con el tractor de soldadura para el proceso SAW ubicado en el propio centro de investigación**.** En la figura 2.3 se muestra una foto de este equipo, el cual es del modelo BEM 202.01 del año 1989 y masa de 115 Kg. La fuente de alimentación empleada fue un rectificador de soldadura, sus datos se especifican en la tabla siguiente:

Tabla 2.2: Datos de la fuente de alimentación

Modelo	BAY 50604
Corriente	500 A
Tención	3 - 220 V
Frecuencia	60 Hz
Ciclo de trabajo	60%
Tensión de vacío	85 V
Masa	360 Kg

Figura 2.3: Equipo para soldadura SAW

2.3 Obtención de los depósitos

Los depósitos de soldadura se realizaron sobre una chapa de acero 1020 con un espesor de 10 mm y la altura de la boquilla es de 25 mm, utilizando el siguiente régimen de trabajo:

- velocidad del carrito o del dispositivo de avance de 0.63 m/min
- velocidad de alimentación del alambre de 0.143 m/min
- intensidad de la corriente de 350 A
- voltaje de 35 V

Como se explicó en el primer capítulo no se pude pasar por alto la evaluación del comportamiento tecnológico. Este tiene en cuenta varios aspectos, los que dan una medida de la calidad del proceso efectuado, o sea la obtención de excelentes depósitos.

Se obtuvieron varios depósitos de soldadura con las diferentes variantes.

- Con el fundente aglomerado con carga aleante calcinado a 300 ºC, se realizaron varios depósitos todos realizados bajo las mismas condiciones.

- se realizó primeramente un cordón (depósito 1),
- después se obtuvieron dos cordones uno al lado del otro (depósito 2),
- finalmente se efectuaron tres cordones uno al lado del otro (depósito 3)

- Con el fundente aglomerado sin carga aleante (depósito 4)

- este cordón sin la termita se realiza con el fin de tener un patrón respecto a los demás prototipos.

- Con el fundente aglomerado con carga aleante calcinado a 450 ºC

- se ejecutó un cordón con el fin ver su comportamiento después de secado a mayor temperatura (depósito 5).

2.4 Caracterización de los depósitos

2.4.1 Determinación de los parámetros geométricos del cordón

Para la determinación de los parámetros geométricos del cordón, primeramente se cortan los depósitos y se obtienen las probetas, utilizando un disco y una afiladora universal modelo 6HA38 en el taller de Afilado de la Empresa Planta Mecánica de Santa Clara. Después se someten las probetas a un proceso de preparación en Laboratorio de Metalografía del Centro de Investigaciones de Soldadura de la UCLV, mediante operaciones de lijado desde un tamaño de grano de 120 a 600. Una vez preparadas las probetas, son atacadas con Nital al 4%, durante un tiempo de 5 s el cual revela la forma del cordón. Los parámetros fueron tomados con ayuda de un pie de rey y las imágenes fueron tomadas por un escáner de computadora marca Canon, modelo F190500.

También se estudia el comportamiento del coeficiente de dilución, para lo que es necesario realizar la medición y calcular las áreas de los respectivos depósitos por medio del programa Image J., esto se realiza colocando la imagen en el programa y marcando el área que se desea medir.

2.4.2 Caracterización química

El análisis químico fue realizado mediante la Espectrometría de Emisión Atómica (Spectrolab) en un Spectrógrafo Belec Vario Lab en el laboratorio químico de la Empresa Planta Mecánica de Santa Clara. La muestra para el análisis fue preparada por medio de una Fresadora Universal 6P83Ш en el taller Herramental de dicha empresa.

Figura 2.4: Spectrógrafo Belec Vario Lab.

Capítulo 3: Análisis de los resultados

3.1 Potencialidades la carga aluminotérmica

Varios autores (Tejeda, 2014; Díaz, 2005; Riera, 2002) ya estudiaron, con resultados satisfactorios, la obtención de un fundente aglomerado aleado utilizando como carga aleante una carga conformada por una ferroaleación al Cr-Mn. (Ruiz, 2012) estudió la confección del fundente utilizando como matriz el fundente fundido AH-348 y Tejeda, realizó el mismo estudio pero utilizando como matriz las escorias del proceso de soldadura, procedentes del fundente OK flux 1040 (Tejeda, 2014), debe destacarse que el sistema de escoria de ambos fundentes es muy parecido, del tipo SiO_2-MnO.

La aleación al Cr-Mn fue obtenida mediante procesamiento aluminotérmico, utilizando como materias primas, cromita refractaria, pirolusita y virutas de aluminio. Durante el procesamiento de esta carga se genera una cantidad de calor de 784 cal/g, lo cual permite el desarrollo del proceso de fusión reducción de manera auto sostenida y la adecuada separación del metal y la escoria (Bravo, 2010). Estas reacciones son iniciadas mediante un arco eléctrico.

Potencialmente, esta reacción puede ocurrir dentro del fundente y el propio proceso de soldadura sería el iniciador de la reacción, donde, los metales producidos (Cr, Mn y Fe) deben pasar al depósito de soldadura y la alúmina a la escoria. Por otro lado, el calor generado por las reacciones de oxidación reducción será aportado al proceso.

3.1.1 Balance de masa

La composición de los depósitos de soldadura, con fundente aglomerado aleado, está en dependencia de la cantidad de elementos de aleación que se incorporen a la mezcla, sin afectar el desempeño tecnológico del fundente.

Los óxidos de manganeso y de hierro reaccionan exotérmicamente con el aluminio desprendiendo gran cantidad de calor, lo que permite la reducción de los óxidos a metal (Mn, Cr y Fe), Seguidamente se muestran las reacciones que ocurren en este proceso, a partir de las cuales se realiza el balance de masas y se determinan los calores de reacción:

$3FeO + 2Al = 3Fe + Al_2O_3$ (3.1)

$3SiO_2 + 4Al = 3Si + 2Al_2O_3$ (3.2)

$Cr_2O_3 + 2Al = 2Cr + Al_2O_3$ (3.3)

$3MnO_2 + 4Al = 3Mn + 2Al_2O_3$ (3.4)

$3MnO + 2Al = 3Mn + Al_2O_3$ (3.5)

$MnO_2 + 2Mg = Mn + 2MgO$ (3.6)

$MnO_2 + Si = Mn + SiO_2$ (3.7)

El balance de masa realizado se muestra en el anexo 1, el mismo se realiza con la ayuda del programa Excel. El balance permite predecir la cantidad de metal y escoria, así como la composición química del metal a producirse por la termita.

Tabla 3.1: Masa teórica de metal y escoria a generase por la termita

Metal			Escoria		
Elementos	Metal (g)	%	Componente	Masa (g)	%
Mn	24,67	65,2	SiO_2	2,01	3,69
Cr	5,4	14,26	Al_2O_3	47,11	86,6
Fe	3,39	8,96	MgO	4,13	7,59
Si	1,98	5,23	CaO	0,79	1,45
Cu	0,75	1,98	Na_2O	0,24	0,44
Al	1,66	4,38	K_2O	0,12	0,22
Total	37,86	100	Total	54,4	100

Como se observa en la tabla 3.1, la termita es capaz de producir, determinados niveles de Mn y Cr, donde el contenido más elevado corresponde al manganeso, seguido por el cromo.

La cantidad de termita a adicionar al fundente debe ser estudiada cuidadosamente ya que no puede afectar el cumplimiento de las funciones tecnológicas ni metalúrgicas del mismo.

3.1.2 Cálculo de calores de reacción

El calor de reacción (Qr) es la energía absorbida por un sistema cuando los productos de una reacción se llevan a la misma temperatura de los reactantes. Para una definición completa de los estados termodinámicos de los productos y de los reactantes, es preciso especificar la presión. Si se toma la misma presión para ambos, el calor de reacción es igual al cambio de entalpía del sistema, ΔHr. En este caso podemos escribir: Qr = ΔHr (Cedrón et al., 2011).

El calor producido por la termita se determina a partir del análisis de las ecuaciones ya planteadas anteriormente. Según Perry, los calores de formación y las energía libre de los óxidos que intervienen en las reacciones químicas se muestran en la tabla 3.2 (Perry, 1999).

Tabla 3.2: Calores de formación de los óxidos

Óxido	ΔH (kcal/mol)	ΔG (kcal/mol)
FeO	-64.62	-59.38
Cr_2O_3	-268.8	-249.3
MnO_2	-124.58	-111,49
MnO	-92.04	-86.77
SiO_2	-203.35	-190.4
MgO	-143.84	-136.17

$$\Delta H_R = \sum n\Delta Hf_{prod} - \sum n\Delta Hf_{reacc} \qquad (3.8)$$

Con la expresión anterior, se determinan los calores de reacción de todos los óxidos involucrados en el proceso, obteniéndose que todas son exotérmicas y termodinámicamente factibles.

De los resultados de los cálculos se obtuvo que la termita es capaz de producir 76 300 cal (318 936,7 J), los que divididos por 100 gramos de mezcla, utilizados para fabricar el fundente, equivalen a 763 cal/g (3189,3 J/g). Esta cantidad de calor es suficiente para el auto sostenimiento de esta mezcla cuando es realizada de manera independiente.

En este caso, al formar parte del fundente, esta termita irá reaccionando bajo la acción del arco eléctrico, por tanto, este calor se suma al calor aportado por la fuente durante el proceso de soldadura.

En la tabla siguiente se muestra el resultado del cálculo del calor de reacción para cada depósito.

Tabla 3.3: Calor suministrado por la termita

Depósito	Calor (J)
1	27815,66
2	27815,66
3	34551,49
5	10749,89

3.2 Fundente con carga aluminotérmica

3.2.1 Evaluación del fundente y de sus propiedades tecnológicas

La evaluación de las propiedades tecnológicas de la matriz es un aspecto que no se puede pasar por alto, como se menciona en el primer capítulo, estas se evalúan atendiendo a varios aspectos en una escala del 1 al 5. A continuación se muestra una tabla donde se aprecian los resultados.

Tabla 3.4: Resultados promedios en la evaluación de las propiedades tecnológicas en la matriz

Depósito	Estabilidad de arco	Desprendimiento de escoria	Presencia de llama	Presencia de humo	Presencia de poros o grietas	Presencia y uniformidad del cordón
1	5	5	4,5	5	5	5
2	5	5	4,5	4,9	4,9	4,9
3	5	5	4,6	5	5	5
4	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5

Todas las propiedades, en su generalidad, se comportaron bien. La separación de la escoria ocurrió espontáneamente después de algunos segundos, esta propiedad es importante ya que el fundente puede ser utilizado en piezas cilíndricas con depósitos continuos y al girar el rodillo y comenzar el cordón continuo ya debe haberse desprendido la escoria del cordón anterior.

Figura 3.1: Un cordón con su escoria (deposito 1)

Como se puede observar en la figura anterior el cordón posee buena apariencia superficial, es significativo mencionar que las escorias se desprenden totalmente del cordón, hubo buena estabilidad durante el proceso de soldadura, hay presencia de llama en determinados momentos de la soldadura, sobre todo al final del cordón y no hay poros.

Figura 3.2: Dos cordones con su escoria (depósito 2)

En la figura 3.2 se muestran dos cordones con sus respectivas escorias, en donde la costura posee buena apariencia superficial, aunque debe señalarse que en el primer depósito presenta algunas marcas superficiales y fue un poco menos uniforme que el resto, el segundo cordón fue más corto. Las escorias se desprenden totalmente del cordón, hay buena estabilidad durante el proceso de soldadura, hay presencia de llama en determinados momentos de la soldadura, sobre todo al final del cordón y no hay presencia de poros.

Figura 3.3: Tres cordones con sus escorias (depósito 3)

En la figura 3.3 se revelan tres cordones con sus pertinentes escorias, donde se observa que la costura posee buena apariencia superficial, las escorias se desprenden totalmente del cordón, buena estabilidad durante el proceso de soldadura, hay presencia de llama en determinados momentos de la soldadura, sobre todo al final del cordón y no hay presencia de poros.

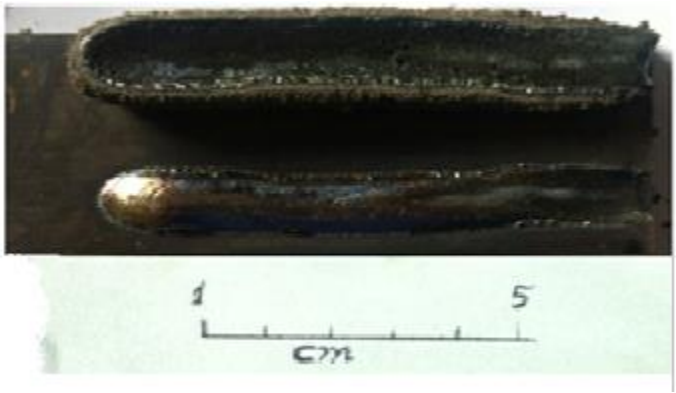

Figura 3.4: Cordón sin termita (depósito 4)

En la figura 3.4 aparece un cordón sin la carga aleante, el cual no tiene poros, posee una buena apariencia superficial, las escorias se desprenden totalmente del cordón, buena estabilidad durante el proceso de soldadura, no hay presencia de llama.

Figura 3.5: Cordón con termita calcinado a 450 °C durante 2 horas (depósito 5)

En la figura 3.5, un cordón con la carga aleante y calentado a 450 °C, el cual no tiene poros, posee una buena apariencia superficial, aunque se observan algunas marcas sobre el depósito, las escorias se desprenden totalmente del cordón, buena estabilidad durante el proceso de soldadura, no hay presencia de llama.

3.3 Resultados y análisis de las propiedades de los depósitos

3.3.1 Resultados del análisis de las dimensiones geométricas

En la figura 3.6 se muestra la foto tomada a las diferentes probetas donde se evidencia la penetración y el ancho de la costura.

Una vez registradas las fotos se procedió a la medición de las dimensiones geométricas y la forma de la costura, la cual se caracteriza por los siguientes elementos (Figura 3.7): profundidad de fusión o penetración (h_p), altura del refuerzo (h_r), altura total ($H= h_p + h_r$) y ancho de la costura (b) (Sola, 1998).

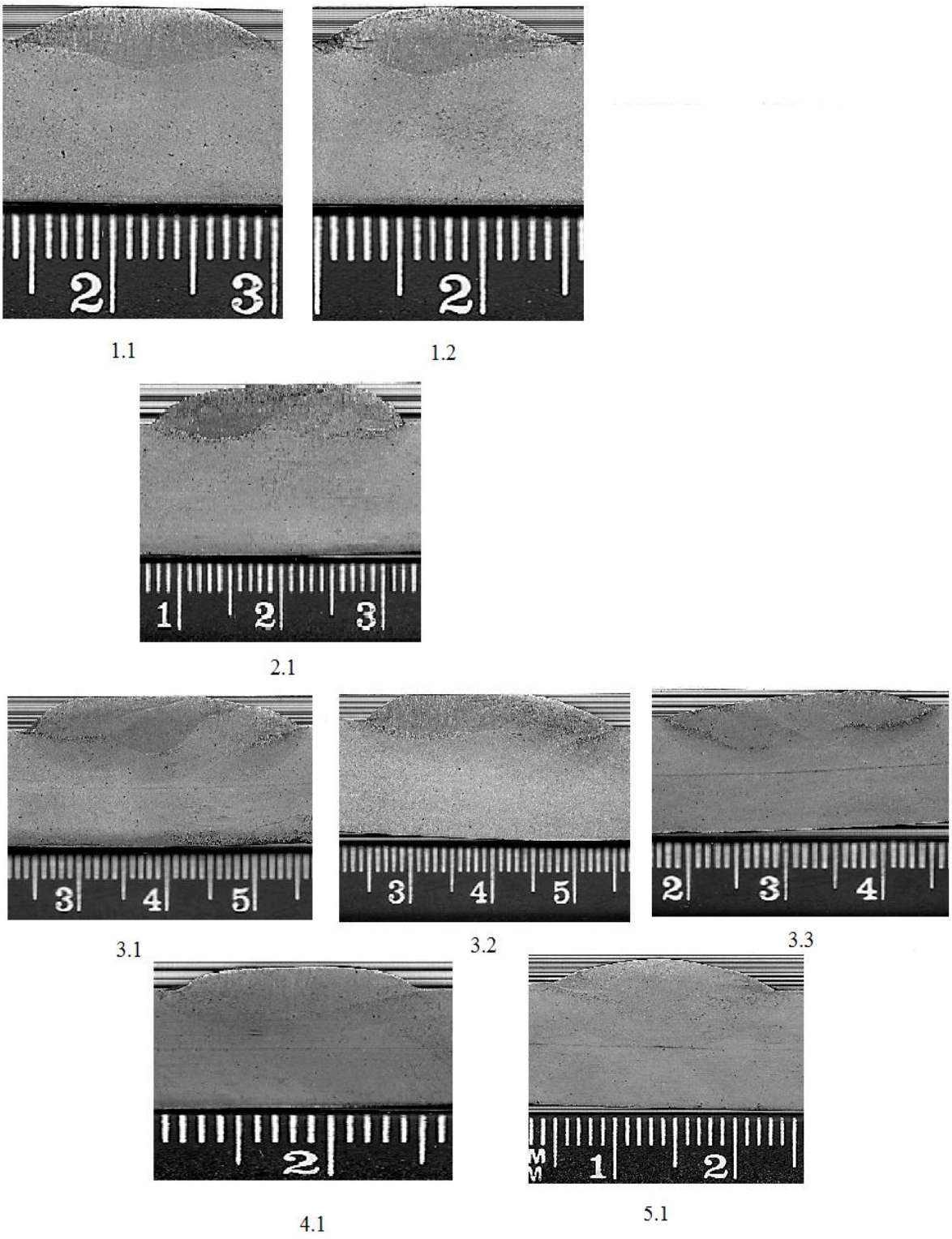

Figura 3.6: Foto de las probetas.

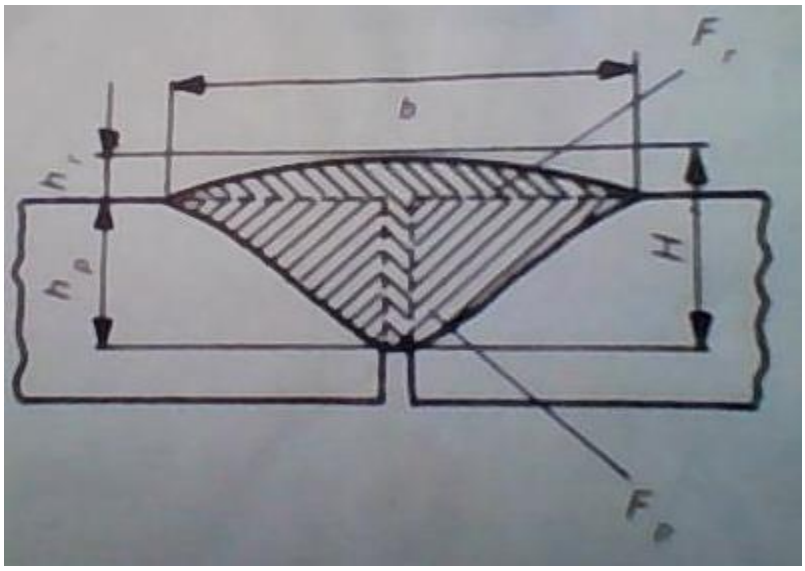

Figura 3.7: Sección de una costura.

Tabla 3.5: Resultado de las mediciones

Cordón	Probetas	h_p (mm)	Prom	h_r (mm)	Prom	H (mm)	Prom	b (mm)	Prom
1	1,1	2,12	2,14	2,83	2,94	4,95	5,08	15,59	15,59
	1,2	2,15		3,05		5,2		15,59	
2	2,1	2,12	2,12	5,1	5,1	7,22	7,22	25,57	25,57
3	3,1	2,12	2,35	4,6	3,83	6,72	6,18	29,55	28,84
	3,2	2,61		4,05		6,66		30,56	
	3.3	2,32		2,83		5,15		26,42	
4	4,1	2,12	2,12	3,04	3,04	5,16	5,16	13,6	13,6
5	5,1	2,13	2,13	3,7	3,7	5,83	5,83	16,59	16,59

En la tabla 3.5 se observa que la penetración varía entre 2,12 y 2,35, resultando el depósito 3 el de mayor valor, en cuanto a la altura del refuerzo el de mayor magnitud es el depósito 2. El ancho de la costura resulta entre 13,6 y 28,84, siendo la costura 3 de mayor ancho y el 4,1 el de menor; es importante no olvidar que el 4,1 pertenece al fundente sin termita.

3.4 Calculo del coeficiente de dilución

Existen diversas formas de calcular el coeficiente de dilución, el cual puede ser hallado mediante la relación de las áreas representadas en la figura 3.8 [Área del metal de la pieza (Amb) y el Área correspondiente al metal de aporte (Ama)] mediante la relación siguiente (Pérez, 2014):

$$D = Amb/(Amb + Ama) \quad (3.9)$$

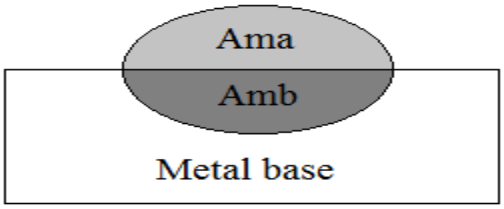

Figura 3.8: Representación de las áreas del metal depositado durante el relleno superficial

Según el valor del coeficiente de dilución, la composición del cordón puede variar significativamente y a la vez modificar las características del depósito. El coeficiente está en dependencia, del proceso empleado para realizar el recubrimiento superficial. En la medida que la potencia térmica es mayor, el coeficiente de dilución es también mayor para una misma velocidad de desplazamiento de la fuente.

Las áreas de los depósitos fueron calculadas por medio del software Image J, y posteriormente determinado el coeficiente por medio de la ecuación 3.9. Los resultados obtenidos para todos los depósitos se muestran a continuación:

Tabla 3.6: Áreas de los depósitos y coeficiente de dilución

Deposito	Amb (mm²)	Media	Ama (mm²)	Media	Dilución (%)	Media
1,1	143,99	147,84	68,96	66,265	67,62	69,05
1,2	151,69		63,55		70,47	
2,1	60,71	60,71	176,63	176,63	25,58	25,58
3,1	98,22	112,20	193,82	161,25	33,63	41,03
3,2	101,66		183,56		35,64	
3,3	136,71		106,36		56,24	
4,1	143,61	143,61	67,7	67,7	67,96	67,96
5,1	67,7	67,7	98,55	98,55	40,72	40,72

Como se evidencia en la tabla 3.6, el coeficiente oscila entre un 25 y 70 %, resultando los depósitos 1 y 4 los de mayor valor y el 2 el de menor. Como se aprecia en la tabla la calcinación del fundente a 450 ºC no influye en el coeficiente de dilución (depósito 5).

Posteriormente se ilustra un gráfico donde se muestra la dilución de los depósitos.

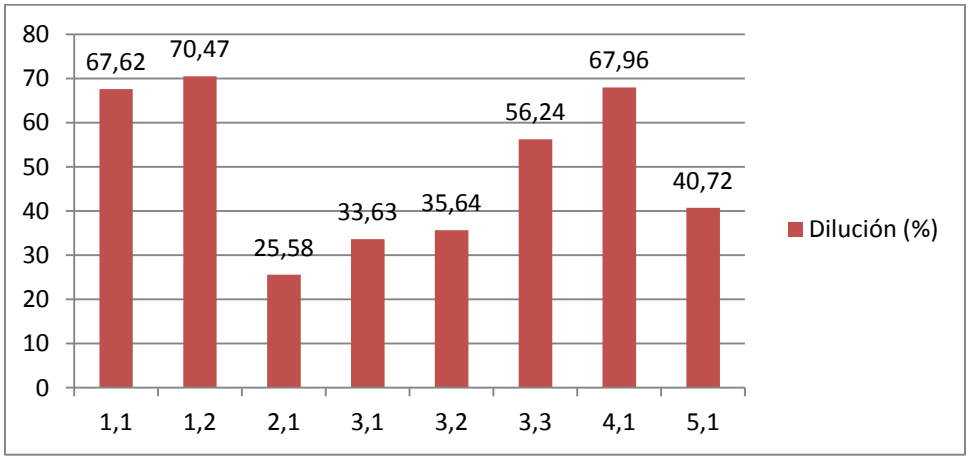

Figura 3.9: Dilución de los depositos.

En la grafica se observa que los coeficientes de dilución de los depositos de un solo cordón (1.1, 1.2, 4.1 y 5.1) no varian practicamente excepto el 5.1 que resulta el menor. En el caso de los depósitos de más de 1 cordón (2.1, 3.1, 3.2 y 3.3), igualmente se mantienen sin mucha diferencia a exepción del 3.3. De estos resultados, más significativo es que la incorporación de la termita al cordón aumenta ligeramente el coeficiente de dilución.

3.5 Calor aportado por la fuente

Para determinar el calor aportado por la fuente es necesario tomar en consideración los parámetros de trabajo utilizados, corriente y voltaje (Pérez, 2014)

Los valores de los parámetros ya fueron descritos en el segundo capítulo.

$$Q = \eta * Is * Ua\ (J/s) \qquad (3.10)$$

Donde:

η - Factor de aprovechamiento de la fuente (SAW = 0.9)

Is - Intensidad de la corriente (A)

Ua - Volteje de arco (V)

Vs – Avance de la soldadura (cm/s)

$$Q = 11025\, J/s$$

El calor aportado por la fuente, energía lineal (El) es:

$$EL = Q/Vs\ \ (J/cm\ \text{ó}\ J/mm) \qquad (3.11)$$

$$EL = 10500\ J/cm$$

Tabla 3.7: Calor suministrado por la termita y la fuente para los diferentes depósitos

Depósito	Calor termita (J)	Calor fuente (J)	Calor total(J)	Aporte (%)
1	27815,66	178500	206315,66	13,48
2	27815,66	126000	153815,66	18,08
3	34551,49	315000	349551,49	9,89
4		115500	115500	
5	10749,89	94500	105249,89	10,21

Como se observa en la tabla 3.7 se determina el calor aportado por la fuente de alimentación para cada depósito. El calor total aportado de cada depósito es finalmente la suma de ambos calores (termita y fuente). En la tabla se puede apreciar que el aporte promedio de la termita es 12,9 %. Este aporte en esta magnitud no influyó de manera significativa sobre los parámetros geométricos del cordón ni sobre los coeficientes de dilución, tal como se observó anteriormente, aunque si permitió la reducción de los óxidos minerales presentes en la termita, lo cual puede ser corroborado a partir de los análisis químicos realizados a los depósitos.

3.6 Resultados del análisis químico

En la tabla 3.8 aparecen los resultados obtenidos del análisis de la composición química de las probetas correspondientes a cada depósito realizado, además de la media de los depósitos 1 y 3. En la tabla no se muestran los resultados de la composición de algunos elementos (Mo, V, Ti, Nb, W, Co, Pb) por estar su contenido por debajo del 0,001 %.

Tabla 3.8: Resultado del análisis químico (% masa)

Probeta	1,1	1,2	Media 1	2,1	3,1	3,3	Media 3	4,1	5,1
C	0,081	0,081	0,081	0,09	0,104	0,091	0,0975	0,087	0,115
Si	0,388	0,336	0,362	0,438	0,394	0,351	0,3725	0,216	0,241
Mn	1,496	1,219	1,3575	1,569	1,342	1,407	1,3745	0,936	1,039
P	0,03	0,028	0,029	0,028	0,024	0,025	0,0245	0,03	0,024
S	0,006	0,008	0,007	0,011	0,009	0,004	0,0065	0,007	0,01
Cu	0,138	0,11	0,124	0,153	0,117	0,116	0,1165	0,106	0,096
Al	0,022	0,028	0,025	0,111	0,073	0,054	0,0635	0,004	0,024
Cr	0,137	0,092	0,1145	0,144	0,118	0,11	0,114	0,021	0,151
Ni	0,005	0,004	0,0045	0,009	0,008	0,007	0,0075	0,01	0,009

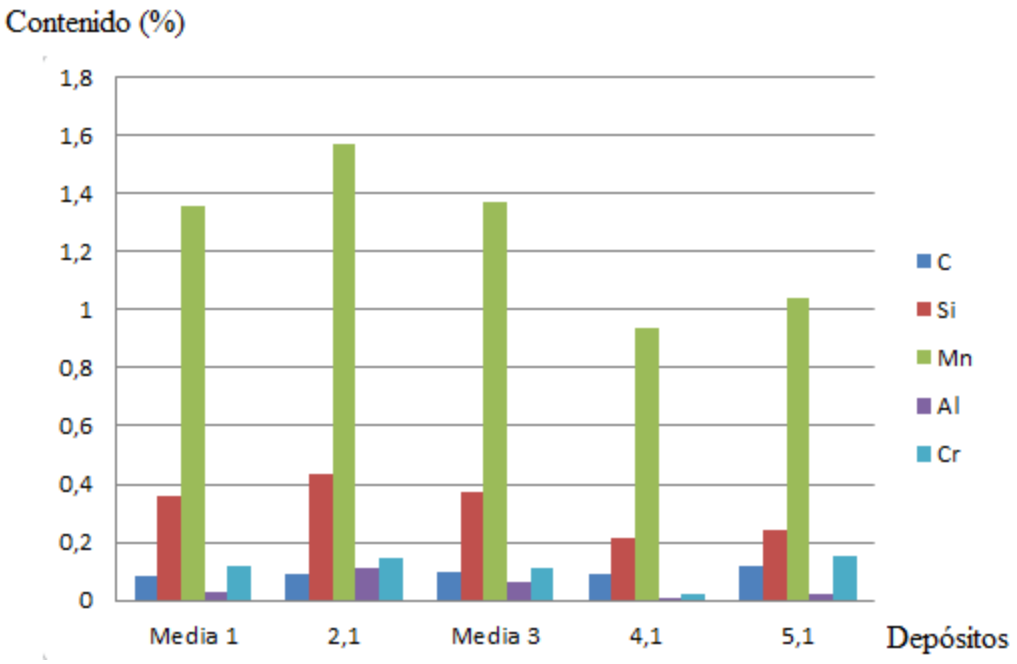

Figura 3.10: Contenidos de carbono, silicio, manganeso, aluminio y cromo de los depósitos

El contenido de manganeso y cromo son elevados, siendo los mayores valores para el manganeso las probeta 2.1 y para el cromo la 5.1. Para el caso del carbono, el más elevado es para la 5.1. El depósito 2.1 es el de mayor concentración de aluminio y silicio.

Tabla 3.9: Diferencia entre la media de los depósitos realizados y el depósito 4.

Elemento	Depósito			
	Media 1	2	Media 3	5
C	-6,90	3,45	12,07	32,18
Si	67,59	102,78	72,45	11,57
Mn	45,03	67,63	46,85	11,00
P	-3,33	-6,67	-18,33	-20,00
S	0,00	57,14	-7,14	42,86
Al	525,00	2675,00	1487,50	500,00
Cr	445,24	585,71	442,86	619,05

Como puede apreciarse en la tabla 3.9, los contenidos de Si, Mn, Al y Cr, se incrementaron en todos los depósitos con relación al depósito realizado sin termita incluida, donde los niveles de Si, Mn y Cr son consecuencia del proceso de reducción de los óxidos de cromo, manganeso y silicio presentes en la termita y el aluminio, proviene de un posible exceso de reductor en la mezcla. El contenido de carbono sólo fue inferior con relación al depósito 4 en el cordón 1, el incremento del contenido de carbono puede estar relacionado con la poliespuma utilizada como aglomerante de la termita, la que puede aportar determinados niveles de C a los depósitos.

Es de significar que el contenido de fósforo disminuyó en todos los casos, lo cual puede ser consecuencia del efecto del MnO_2 presente en la pirolusita. Por otro lado, el contenido de azufre fue inestable, aunque debe resaltarse que los contenidos de ambos elementos se mantuvieron en valores relativamente bajos, menos de 0,030 % para el fósforo y de 0,011 % para el azufre.

En la figura 3.11, se ilustran los incrementos de contenidos de los Cr, Mn y Si de los cordones obtenidos con termita con relación al cordón sin ella, donde se aprecia que el contenido de cromo aumenta entre 400 y 600 %, resultado menos significativos los incrementos de silicio y manganeso, lo cual puede deberse a que la matriz en todos los casos está integrada por escorias del soldadura del fundente OK flux 1040, constituidas por un sistema $MnO\text{-}SiO_2$, el cual puede aportar determinados niveles de estos metales a los cordones, reduciendo por tanto la diferencia con relación al cordón con termita.

El depósito obtenido con el fundente calcinado a 450 ºC, permitió obtener el depósito de mayor contenido de cromo, pero menores de manganeso y silicio, no siendo evidente la necesidad de realizar esta operación, la que sin dudas incrementa el costo de producción del fundente.

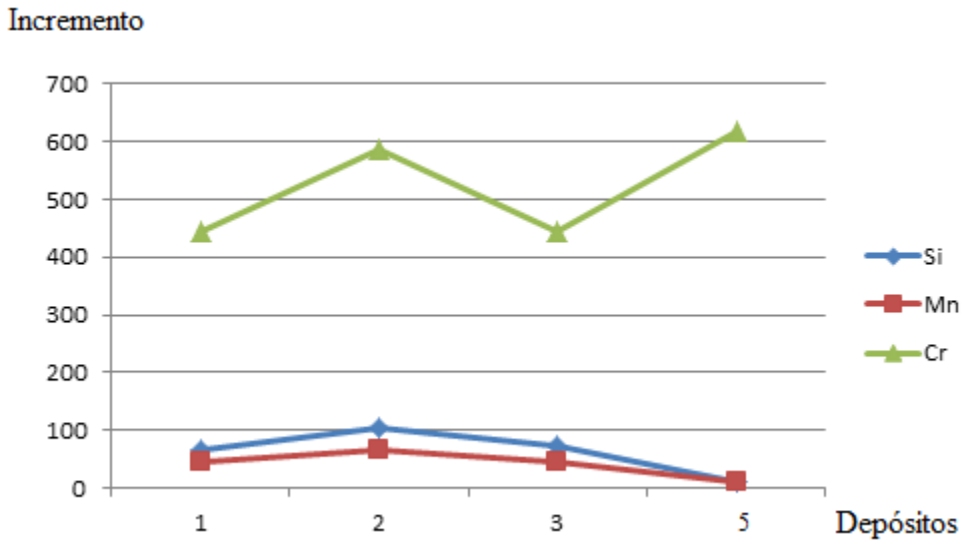

Figura 3.11: Incremento de los contenidos de Cr, Mn y Si de los cordones obtenidos con termita con relación al cordón sin termita

Conclusiones

1. La incorporación de un 11 % de mezcla aluminotérmica (cromita, pirolusita y aluminio) como carga aleante de un fundente aglomerado aleado, permitió obtener depósitos de soldadura, mediante el proceso SAW, con un adecuado comportamiento tecnológico.

2. La incorporación de una termita en el fundente aglomerado aleado, no produjo diferencias significativas en el comportamiento de los parámetros geométricos y los coeficientes de dilución, de los cordones obtenidos con relación a los obtenidos con el fundente sin la termita, a pesar de realizar un aporte de energía al proceso de un 12,9 % como promedio.

3. La caracterización química de los cordones de soldadura, permitió confirmar que la incorporación de un 11 % de termita al fundente permitió incrementar de manera significativa los contenidos de Mn, Si y Cr, evidenciando la posibilidad de obtener un fundente aglomerado aleado sin la necesidad de incorporar a la carga aleante ferroaleaciones, con las consiguientes ventajas económicas.

Recomendaciones

1. Evaluar el comportamiento del fundente incrementando la cantidad de termita incorporada.

2. Evaluar el comportamiento del fundente con la adición de grafito (carbono) a la carga aleante, evaluándose además las propiedades mecánicas de los depósitos.

Referencias

1. Cruz, A., Quintana, R., García, L., Perdomo, L., Jiménez G., Gómez, C., Alguacil, F.,Cores., A. (2005). ``Empleo de escorias de soldadura del sistema MnO-Si02 para la obtención de un nuevo fundente aglomerado aleado``en Revista de Metalurgía, [En Linea] Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España, Disponible en: http://revistademetalurgia.revistas.csic.es. [Accesado el 28 de marzo de 2016]

2. Artíles, A., (2006). Sistema de alambre fundente para la recuperación de árboles cigüeñales y otras piezas tipo eje mediante la soldadura por arco sumergido. Tesis Doctoral, Cuba UCLV, CIS.

3. Grupo de Tecnología de Soldadura y Recuperación de Piezas CIS-UCLV, (2002) Principales Procesos de Soldadura. Cuba, Grupo de Tecnología de Soldadura y Recuperación de Piezas CIS-UCLV.

4. IV Congreso del Partido Comunista de Cuba, (2011) Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. Cuba, IV Congreso del Partido Comunista de Cuba.

5. AWS. (2016). Manual de soldadura. Editorial Pearson Educación, Estados Unidos [En Linea]. Disponible en: http://www.serchtemuco.cl/soldaduras/Manual%20de%20Soldadura [Accesado el día 31 de mayo de 2016].

6. Bravo, Y., (2010) *Desarrollo de materiales abrasivos para la industria cubana.* Tesis de Grado. Cuba, CIS, UCLV.

7. Cedrón, J., Victoria, L., y J, Robles, (2011). *Química General. Material de enseñanza* [En Linea]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Disponible en: http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/141-calculo-de-calor-de-reaccion-entalpias-de-formacion. [Accesado el día 19 de mayo de 2016].

8. Pérez, D., Gómez, C., Pérez E., Quintana, R., Perdomo L., (2015). ``Aplicación de escoria granulada con aire a la soldadura automática``en *Ingeniería mecánica*. Vol 18. No 1. Enero-Abril de 2015, pp. 62-70.

9. Díaz, C., (2005) *Obtención de ferroaleaciones al cromo manganeso, mediante aluminotermia, para la fabricación de consumibles de soldadura.* Tesis de Grado. Cuba, CIS, UCLV.

10. Garg, J. y K Singh, (2010). ``Reciclaje de soldadura arco sumergido para la economía y el ambiente`` . Conferencia Nacional en los Avances y las Tendencias del futuro en Mecánica e Ingeniería de los Materiales, 19 y 20 de febrero de 2010, India.

11. Guliáev, A.(1983). *Metalografía*. Tomo II, Ed. MIR, Moscú, 364 pp.

12. Proenza, J., , Gervilla, F., Melgarejo, J., Revé, D., Rodríguez, G. (1998) ´´Las cromititas ofiolíticas del yacimiento Mercedita (Cuba). Un ejemplo de cromitas ricas en Al en la zona de transición manto-corteza´´en Acta Geológica Hispanica. número 33, p 179-212.

13. Air Liquide, (2016). *Aplicaciones Arco Sumergido (SAW)*. [En Linea], Disponible en: http://www. Aplicaciones Arco Sumergido.com [Accesado el día 4 de enero de 2016]

14. Martín, Á. (2008). ``Soldeo por Arco Sumergido`` en Revista *SolySol [En Linea]*.*Disponible http://www.solysol.com.es[Accesado el 20 de abril de 2016]*

15. Silva, A. y A. Quieroz, (2015). ``Soldagem com Arco Submerso Utilizando Fluxo Aglomerado com Polímero`` Congreso Nacional de soldadura,12 -15 de octubre de 2015 Salvador-Brasil, Asociación Brasileña de Soldadura

16. O'Brien, R., (2005). *Manual de Soldadura*. Tomo I, Ed. 8va, USA. American Welding Society

17. Pérez, M. (2014) Reacondicionamiento de piezas y Estructuras Metálicas. Cuba, CIS, UCLV (ed.).

18. Perry, R., (1999). *Chemical Engineers Handbook*. Ed McGraw – Hill Handbooks.

19. RIERA, Y., (2002). *Obtención de FeCrMn para el Desarrollo de Materiales para Soldar.* Tesis de Grado. Cuba, CIS, UCLV.

20. RUIZ, E., (2012). *Obtención y evaluación de fundentes aglomerados aleados para el recargue de rodillos de estera mediante el proceso de soldadura por arco sumergido (SAW).* Tesis de Grado. Cuba, CIS, UCLV.

21. Burgo, J., (1998) *Tecnología de Soldadura*, Cuba, Editorial Pueblo y Educación.

22. Tejeda, G., (2014) *Obtención y evaluación de fundente aglomerado aleado para el recargue de rodillos de buldócers a partir de escoria de soldadura como matriz y carga aleante con FeCrMn.* Tesis de Grado. Cuba, CIS, UCLV.

23. Vasallo, L., (2008). *Yacimientos Minerales Metalicos*. Ed. 4ta, México, Centro de Geociencias.

24. Weld, D., (2016). ``Dr Weld``. [En Linea]. Disponible en: www.drweld.com. [Accesado el día 23 de marzo de 2016].

Anexos

Pirolusita	
Componente	Contenido
SiO_2	5,6
MnO_2	76,14
MnO	0,14
FeO	1,36
Al_2O_3	1,54
CaO	1,35
MgO	0,3
Na_2O	0,47
Ka_2O	0,24
P_2O_5	0,02
S	0,01
otros	12,83
	100

Cromita	
Componente	Contenido
Cr_2O_3	32,87
SiO_2	5,79
Al_2O_3	26,06
FeO	14,54
CaO	0,42
MgO	16
otros	4,32
	100

pirolusita	51
cromita	24
aluminio	25
	100

Viruta de aluminio	
Componente	Contenido
Si	3,75
Fe	0,55
Mn	0,33
Cu	3
Mg	0,33
Zn	0,55
Al	91,49
	100

Componente	Entrada	salida
SiO2	4,2456	2,00892857
MnO2	38,8314	0
MnO	0,0714	0
Al2O3	7,0398	47,1121901
	0	0
MgO	3,993	4,1305
CaO	0,7893	0,7893
Na2O	0,2397	0,2397
K2O	0,1224	0,1224
P2O5	0,0102	0,0102
Cr2O3	7,8888	0
FeO	4,1832	0
S	0,0051	0,0051
Mn	0,0825	24,6863961
Cr	0	5,3976
Fe	0,1375	3,3911
Si	0,9375	1,98128
Cu	0,75	0,75
Mg	0,0825	0
Zn	0,1375	0,1375
Al	22,8725	1,65770522
otros	7,5801	7,5801
total	100	100

Anexo 1: Foto del programa Excel con el balance de masa.