

**Universidad de Matanzas
Facultad de Ciencias Técnicas**



**RECUPERACIÓN DE LA ESCORIA DE LA SOLDADURA DE LOS
CILINDRO DE GAS LICUADO DE 10 KG.**

Trabajo de Diploma del Departamento de Ingeniería Mecánica.

Autor: Ariel González González

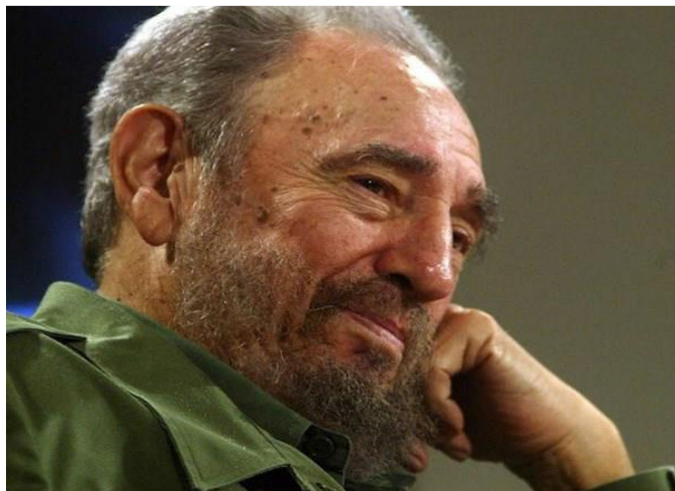
Tutor: Dr.C. Ing. Marcelino Rivas Santana

Ing. Mariano García Ripoll.

Matanzas, 2020

“No basta con tener una idea justa, noble, buena, la suerte es que esas ideas... coincidan con el instante en que la humanidad no se salva si tales ideas no se aplican”.

Fidel Castro Ruz.



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que Ariel González González el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos» a darle el uso que estime más conveniente.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

Dedicatoria

A mis padres, quienes han sido mi guía, los mejores educadores que he tenido, a quienes agradezco el hombre que soy hoy.

A mi hermano mi más fiel amigo, quien me ha dado la fuerza que necesitaba para seguir.

A mi incansable abuela Raisa, con quien he podido contar toda mi vida.

A mis amigos y compañeros que han influido en la culminación de mis estudios.

Agradecimientos

A través de estas palabras quisiera dejar constancia de mi agradecimiento a todas aquellas personas que han prestado su apoyo y colaboración para la realización de este trabajo de investigación:

A mis padres, mi hermano, y a mi abuela por brindarme amor y apoyo durante toda mi carrera.

A mi tutor que durante diferentes etapas de la investigación han compartido sabiduría y tiempo para que yo pudiera realizar este trabajo, el Dr. C. Ing. Marcelino Rivas Santana de manera muy sincera a todos los profesores que han sido parte de mi formación universitaria.

A Leonel Rufín que me ayudó mucho buscando la información y los materiales que necesitaba para realizar la tesis.

A mi país en el cual he tenido la oportunidad de crecer y formarme como estudiante con los valores éticos y morales que me servirán en mi vida futura como profesional y como hombre de estos tiempos.

Resumen

En la Empresa Noel Fernández de Matanzas se generan una gran cantidad de escoria, sin una utilización actual definida. Los procesos de soldadura automática son ampliamente usados en la industria de manufactura, especialmente en la obtención de recipientes a presión, donde toma un gran interés el control de los parámetros del cordón para garantizar la calidad del proceso. El objetivo de este trabajo fue recuperar la escoria de la soldadura de los cilindros de gas de 10kg de dicha empresa. La selección de los parámetros de la soldadura más apropiados es un aspecto importante en los procesos de soldadura por arco sumergido. Se determinó la granulométrica del fundente para poder mezclarlo con la escoria reciclada. La escoria contiene materiales crudos no renovables y minerales por eso el empleo de este residuo sólido constituye un significativo aporte a la disminución de la contaminación ambiental y al ahorro de divisa al país. Los resultados fueron satisfactorios. El ancho del cordón de soldadura obtenido fue de 10 mm, cumpliendo con las normas de la fábrica al igual que las pruebas de tracción y doblado. El estudio desarrollado puede arrojar una reducción en los costos de producción de los cilindros de gas y mejoras a la contaminación ambiental en el municipio de Matanzas.

Palabras claves: Soldadura bajo arco sumergido, fundente de soldadura, escoria, reciclaje.

Abstract

In Noel Fernández Company of Matanzas a great group of scum are produced without used. The automatic weld processes are wide used in the manufacture industry, specifically to getting gas cylinder, in this production is the special interest the control of parameters cordon to secure the quality of the process. The objective of this work was to recover the scum of the weld of the 10kg gas cylinders in this Company. The choice of parameters of the most appreciated weld is an important aspect in the process of weld the submerge welding arc. The granulometry of the melting flux was determinated to blend with the rycicled scum. The scum has crude materials no renewables and minerals that is the reason to use this solid residue, to work with the scum is a significant contribution to decrease the ambient contamination in Matanzas and saving amount of money to our country. The results were satisfactory as the blend of melting flux. The measure of the welding cordon was 10 mm of wide and it was according to the norms of the factory as the test of traction and bent. This study gives us an important decrease in the cost of production of the gas cylinders.

Keywords: submerged arc welding, welding flux, slag, recycling.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo I. Estado del arte.....	4
1.1 Antecedentes históricos de la soldadura.	4
1.2 Métodos de soldadura	7
1.2.1 Soldadura por arco sumergido	9
1.3 Desecho obtenido durante la soldadura SAW.	13
1.3.1 Antecedentes del reciclaje de la escoria.....	15
Capítulo II. Materiales y métodos.....	20
2.1 Proceso de soldadura de los cilindros de gas de 10 Kg	20
2.2. Máquina utilizada.....	21
2.2.1. Metal base (chapa).....	21
2.2.2. Metal de aporte (electrodo).....	22
2.2.3. Fundente.....	22
2.3. Características técnicas del proceso.....	23
2.3.1. Características técnicas de la máquina de soldadura por arco sumergido... ..	23
2.3.2. Extensión del electrodo (Stickout).....	23
2.3.3. Posición del electrodo.....	24
2.3.4. Parámetros a inspeccionar.....	25
2.4. Recomendaciones utilizadas de la geometría del cordón.....	25
2.5. Parámetros del régimen utilizado.....	26
2.6. Método de trituración de la escoria.....	28
2.7. Método para determinar la granulometría.....	28
2.8. Selección del diseño experimental.....	28
2.9. Ensayos mecánicos a realizar. Normas.....	29
2.9.1. Aplicabilidad de las inspecciones y ensayos.....	29
2.9.2. Tipos de ensayos y detalles.....	30
2.9.3. Ensayo de tracción.....	31
2.9.4. Ensayo de doblado.....	31

Capítulo III Proceso de recuperación de la escoria de los cilindros de gas de la Empresa Noel Fernández.....	34
3.1 Especificación de las variables del proceso de SAW.....	34
3.2 Procedimiento y resultados.....	35
Conclusiones.....	41
Recomendaciones.....	42
Bibliográficas.....	43
Anexos.....	48

Introducción

El deseo de la humanidad de mejorar la calidad de vida, ha sido la principal fuerza impulsora de las innovaciones en el campo de los materiales y su aplicación. En su devenir histórico ha alcanzado grandes niveles de desarrollo tecnológico y productivo, pero lo ha hecho de forma irracional y derrochadora lo que ha acarreado grandes afectaciones al medio ambiente. Es por eso, que en estos momentos la lucha por la preservación del medio ambiente se ha tornado impostergable, convirtiéndose en un problema de vida o muerte para la humanidad. La industria metalúrgica es una de las ramas más antiguas de la producción de bienes materiales y fundamentales para la economía mundial, pero al mismo tiempo es una de las más agresivas al entorno por la cantidad y tipos de residuos contaminantes que genera.(Zaragoza Valdés, 2001).

La soldadura por arco sumergido es una técnica ampliamente utilizada en la industria, debido a su confiabilidad y capacidad de producir una soldadura de buena calidad. Muchas industrias utilizan este método de soldadura para la fabricación de recipientes a presión, placas gruesas, tuberías, tanques de ferrocarril, barcos, intercambiadores de calor, etc. La soldadura se produce al calentar el metal con un arco mantenido entre un electrodo de metal sin revestimiento. El arco está protegido por una capa de material fusible granular conocido como fundente colocado sobre el área de soldadura y este se convierte en escoria durante la soldadura se trata como desecho y es eliminada. (Chandgude, 2014)

Uno de los principales residuales o subproductos, que se obtiene en esta industria son las escorias de los distintos procesos tecnológicos, por lo que su procesamiento y uso posterior sería de gran utilidad desde el punto de vista ecológico. El objetivo principal de la reducción de residuos es minimizar los mismos y maximizar su utilización.(Zaragoza Valdés, 2001)

Durante el proceso de soldadura por arco sumergido se genera una gran cantidad de escoria. Esta escoria, generalmente, se trata como desecho y se elimina. Al no ser biodegradable, la escoria no se descompone con el tiempo y, si no se elimina adecuadamente, puede crear muchos problemas ambientales. La eliminación segura y adecuada de la escoria requiere su recolección, manipulación, transporte y espacio en los vertederos adecuados para su vertido. Todo esto implica una cantidad considerable de

gasto. Incluso si se elimina de esta manera, la escoria aún puede convertirse en una fuente de contaminación del suelo y del agua subterránea y, por lo tanto, puede causar estragos. Sin embargo, en lugar de tirarlo como basura en los vertederos, se pueden idear métodos para reciclado para algún otro propósito, o incluso para ser utilizado como fundente en el mismo proceso y así sus efectos ambientales adversos se puedan eliminar. Además, dado que el fundente utilizado en la soldadura SAW es costoso y constituye una parte importante del costo total de soldadura, será altamente beneficioso si se pueden desarrollar algunos métodos a través de los cuales la escoria se pueda reutilizar como fundente después de un acondicionamiento y procesamiento adecuado. Pero tal reutilización es posible solo si esta escoria reciclada es capaz de producir las soldaduras SAW de la calidad aceptable. La reutilización de la escoria no solo ayudará a minimizar el desperdicio de recursos naturales y a mitigar los problemas ambientales, sino que también resultará en una reducción significativa del costo total de soldadura. (Garg, 2012)

Las empresas son reacias a proporcionar información sobre la cantidad y la composición de los desechos por temor a la causa de las autoridades reguladoras. La cantidad de residuos generados refleja la ineficiencia de la organización. El Gobierno de la India a través del comité nacional de ciencia y tecnología trabaja en los proyectos de reciclaje y brinda soluciones. De manera similar, Metal Scrap Trade Corporation y Minerals and Metal Trading Corporation han sugerido algunos procedimientos para la forma de eliminación y análisis de mercado.

Problema científico:

¿Cómo reciclar la escoria obtenida durante la soldadura de los recipientes a presión en la Empresa Noel Fernández y sus talleres?

Hipótesis:

Realizando un análisis bibliográfico se pueden adecuar las tecnologías existentes y establecer el método de reciclado de la escoria para la Empresa Noel Fernández que garantice los parámetros tecnológicos de la soldadura de recipientes a presión (cilindros de gas)

Objetivos Generales:

Recuperar la escoria de la soldadura de los cilindros de gas de la Empresa Noel Fernández.

Objetivos Específicos:

- Hacer una búsqueda bibliográfica sobre el reciclaje de escorias obtenidas de la soldadura SAW.
- Establecer las normas, materiales y métodos necesarios para la realización del trabajo.
- Establecer una tecnología de recuperación de la escoria.
- Reciclar una parte de la escoria producida en el proceso utilizando la tecnología establecida con el fin de promover un positivo impacto medioambiental, económico y social.
- Realizar ensayos mecánicos de tracción, flexión a la soldadura con la mezcla reciclada y hacer la comparación.

Capítulo I. Análisis bibliográfico del reciclaje de la escoria producida a partir de la soldadura SAW.

El objetivo de este capítulo es presentar una revisión crítica de la bibliografía científica publicada sobre el reciclaje de la escoria producida a partir de la soldadura de arco sumergido (SAW) de forma tal que sirva de marco teórico-referencial al resto de la investigación.

1.1 Antecedentes históricos de la soldadura.

La historia de la unión de metales se remonta a varios milenios, con los primeros ejemplos de soldadura desde la edad de bronce y la de hierro en Europa y el Oriente Medio. La soldadura fue usada en la construcción del Pilar de hierro de Delhi, en la India, erigido cerca del año 310 y pesando 5.4 toneladas métricas. La Edad Media trajo avances en la soldadura de fragua, con la que los herreros repetidamente golpeaban y calentaban el metal hasta que ocurría la unión. En 1540, Vannoccio Biringuccio publicó “De la pirotechnia”, que incluye descripciones de la operación de forjado. Los artesanos del Renacimiento eran habilidosos en el proceso, por lo que la industria continuó creciendo durante los siglos siguientes. Sin embargo, la soldadura fue transformada durante el siglo XIX. En 1800, Sir Humphry Davy descubrió el arco eléctrico, y los avances en la soldadura continuaron con las invenciones de los electrodos de metal por un ruso, Nikolai Slavyanov, y un norteamericano, C. L. Coffin a finales de este año.

La soldadura por resistencia también fue desarrollada durante las décadas finales del siglo XIX, las primeras patentes eran de Elihu Thomson en 1885, quien produjo posteriores avances durante los siguientes 15 años. La soldadura de termita fue inventada en 1893, y alrededor de ese tiempo, se estableció otro proceso, la soldadura a gas. El acetileno fue descubierto en 1836 por Edmund Davy, pero su uso en la soldadura no fue práctico hasta cerca de 1900, cuando fue desarrollado un soplete conveniente.

Alrededor de 1900, A. P. Strohmenger lanzó un electrodo de metal recubierto en Gran Bretaña, que dio un arco más estable, y en 1919, la soldadura de corriente alterna fue inventada por C. J. Holslag, pero no llegó a ser popular hasta una década después.

Al principio, la soldadura de gas fue uno de los métodos más populares debido a su portabilidad y costo relativamente bajo. Sin embargo, a medida que progresaba el siglo XX, disminuyó su preferencia para las aplicaciones industriales. En gran parte fue sustituida por la soldadura de arco, en la medida que continuaron siendo desarrolladas las cubiertas de metal para el electrodo (conocidas como fundente), que estabilizan el arco y blindaban el material base de las impurezas.

La Primera Guerra Mundial causó un repunte importante en el uso de los procesos de soldadura, procurando determinar cuáles serían los nuevos y mejores para sus diferentes usos. Los británicos usaron primeramente la soldadura por arco, incluso construyendo una nave, El Fulagar, con un casco enteramente soldado. Los estadounidenses eran más vacilantes, pero comenzaron a reconocer los beneficios de la soldadura de arco cuando este les permitió reparar rápidamente sus naves después de los ataques alemanes en el puerto de Nueva York al principio de la guerra. La misma fue aplicada a los aviones durante la guerra, pues algunos fuselajes fueron construidos mediante este método.

Importantes avances fueron hechos en la tecnología con la introducción de la soldadura automática en 1920, en la que el alambre del electrodo era alimentado continuamente. El gas de protección se convirtió en un tema de mucha atención, mientras que los científicos procuraban proteger las soldaduras contra los efectos del oxígeno y el nitrógeno en la atmósfera. La porosidad y la fragilidad eran los problemas primarios, y las soluciones que desarrollaron incluyeron el uso del hidrógeno, argón, y helio como atmósferas de soldadura. Posteriores avances permitieron que se utilizaran en la soldadura metales reactivos como el aluminio y el magnesio. Conjuntamente con el desarrollo en la soldadura automática, la corriente alterna, y los fundentes alimentaron una importante extensión de la soldadura de arco durante los años 1930 y fue desarrollado por el Instituto de Soldadura Eléctrica de Rusia, durante la Segunda Guerra Mundial, utilizándose para muchas aplicaciones durante ese tiempo, más notable por su uso en el tanque T34.

Fueron inventados muchos métodos nuevos de soldadura en el siglo XX, como la de perno en 1930, pronto llegó a ser popular en la fabricación de naves y en la construcción.

La soldadura de arco sumergido fue inventada el mismo año, y continúa siendo popular hoy en día. En 1941, después de décadas de desarrollo, la soldadura de arco de gas tungsteno fue finalmente perfeccionada, seguida en 1948 por la de arco metálico con gas, permitiendo la soldadura rápida de materiales no ferrosos pero requiriendo costosos gases de blindaje. La de arco metálico blindado fue desarrollada durante los años 1950, usando un fundente de electrodo consumible cubierto, y se convirtió rápidamente en el más popular de los procesos. En 1957, surge la soldadura por arco con núcleo fundente, en el que el electrodo de alambre auto blindado podía ser usado con un equipo automático, resultando altamente incrementadas las velocidades; ése mismo año fue inventada la de arco de plasma. Otros desarrollos recientes incluyen en 1958 el importante logro de la soldadura con rayo de electrones, haciendo posible que la misma sea más profunda y estrecha por medio de la fuente de calor concentrada, este mismo año fue introducida la soldadura por electroescoria y seguida en 1961, por la de electrogas. (Bolívar Aldana, 2016; Porta Mas, 2014)

Con la invención del láser en 1960, la soldadura por rayo láser debutó varias décadas más tarde, y ha demostrado ser especialmente útil en la soldadura automatizada de alta velocidad, sin embargo, ambos procesos son altamente costosos debido al alto precio del equipo necesario, limitado sus aplicaciones.(Porta Mas, 2014)

El proceso de soldar se realiza habitualmente en un ambiente industrial, sin embargo puede realizarse en diversos lugares, incluyendo al aire libre, bajo del agua y en el espacio. Independientemente de la localización, la soldadura sigue siendo peligrosa, y se deben tomar precauciones para evitar quemaduras, descarga eléctrica, humos venenosos, y la sobreexposición a la luz ultravioleta.(Cedeño Caballero, 2018)

La soldadura es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos materiales, (generalmente metales o termoplásticos), usualmente logrado a través de la fusión, en la cual las piezas son soldadas fundiendo ambas y pudiendo agregar un material de relleno fundido (metal o plástico), para conseguir un baño de material fundido (el baño de soldadura) que, al enfriarse, se convierte en una unión fija. A veces la presión es usada conjuntamente con el calor, o por sí misma, para producir la soldadura. Esto está en

contraste con la soldadura blanda y la soldadura fuerte, que implican el derretimiento de un material de bajo punto de fusión entre piezas de trabajo para formar un enlace entre ellos, sin fundir las piezas de trabajo. La soldadura proporciona varias ventajas en comparación con otros procesos de unión de piezas, entre las que se encuentran:(Hernández Figueredo, 2011; Pérez Macías, 2019; Porta Mas, 2014)

1. Economía del metal.
2. Corte de metales.
3. Reparación de piezas.
4. Uniones herméticas.
5. Eliminación de ruidos.

1.2 Métodos de soldadura

Existen diferentes métodos de soldadura, entre los que se encuentran:

Soldadura autógena: en este tipo de soldadura el calor proporciona una llama producida por la combustión de una mezcla de acetileno y oxígeno que se hace arder a la salida de una boquilla. La temperatura que se alcanza en la llama es de unos 1300°C, el calor producido funde los extremos a unir con lo que se obtiene después de la solidificación un enlace homogéneo.

Soldadura por arco eléctrico (SMAW): Mediante una corriente eléctrica (alterna o continua) se forma un arco eléctrico entre un metal a soldar y un electrodo utilizado, produciendo la fusión de este y su depósito sobre la unión soldada, la corriente varía dependiendo de la tensión y la resistencia del circuito. La temperatura que alcanza es de 3500 a 4000°C aproximadamente.

Soldadura MIGig: Utiliza un gas inerte (Argón, Helio o una mezcla de ambos). Este se emplea generalmente para soldar aceros inoxidable, cobres, aluminios, chapas galvánicas y aleaciones ligeras. Es mejor utilizar el helio ya que este posee mayor ionización y por lo tanto mayor generación de calor.

Soldadura MAGag: Básicamente se utiliza en aceros no aleados o de baja aleación. No se debe usar para soldar aceros inoxidable, aluminios o aleaciones de aluminio. Es similar a la soldadura MIG se distingue en el gas protector que se emplea y es más

económico. El gas que se pueden utilizar son el dióxido de carbono, argón más dióxido de carbono y argón más oxígeno.

Soldadura TIG (GTAW): Es un proceso de arco que utiliza un electrodo de tungsteno prácticamente inconsumible y una atmosfera protectora de gas inerte suministrada en forma externa generalmente de Helio y Argón o una mezcla de ambos.

Soldadura por rayos laser: Es un proceso de soldadura por fusión que utiliza la energía portada por un haz de láser para fundir y recristalizar los materiales que se van a unir. En esta no se necesita de ningún gas de aportación.

Soldadura ultrasónica: Este proceso suelda el metal mediante la aplicación local de energía vibratoria de alta frecuencia (entre 10000 y 175000Hz) mientras se mantiene las partes juntas mediante presión. La presión varia con el tamaño de la máquina de soldar que se utilice y el prensado depende de la potencia requerida.

Soldadura por fricción: la soldadura se realiza por la penetración granular al ser unidas las piezas cuando la fricción haya producido el calor suficiente para producir la unión entre los materiales que pueden ser aceros duros y suaves, aluminios y aleaciones de acero y cobre.

Soldadura por plasma: este es más desarrollado y proporciona un aumento de la productividad que el método TIG. En este proceso hay dos flujos de gas independientes, el gas plasmágeno que fluye alrededor del electrodo de tungsteno que forma el núcleo del arco plasma y el gas de protección de es el que protege el baño de fusión.

Soldadura por puntos: Esta es la soldadura más utilizada en la industria automotriz porque se utiliza en el ensamblado de las piezas de chapas de la carrocería y en la reparación, debido que es una soldadura limpia que no requiere una mecanización posteriormente y se puede retirar con facilidad usando una despuntadora.

Soldadura con rayos de electrones: Se caracteriza por la pistola soldadora de haz de electrones emplea un haz de alta intensidad que bombardea continuamente la unión por soldar.

Soldadura por arco sumergido (SAW): Es un método de soldadura de alta productividad en el cual el arco se pulsa bajo una capa de cubierta de flujo. Esto aumenta la calidad del arco, puesto que los contaminantes en la atmósfera son bloqueados por el

flujo. La escoria que forma la soldadura generalmente sale por sí misma, y combinada con el uso de una alimentación de alambre continua, la velocidad de deposición de la soldadura es alta. Las condiciones de trabajo están muy mejoradas sobre otros procesos de soldadura de arco, puesto que el fundente oculta el arco y casi no se produce ningún humo. El proceso es usado comúnmente en la industria química, en áreas navales, en estructuras pesadas y en la fabricación de los recipientes de presión soldados.(Dávila Mireles, 2017; Montalvo Eguez, 2011)

1.2.1. Soldadura por arco sumergido.

Las principales variables que determinan las características de la soldadura en el proceso de arco sumergido son: (1) corriente, (2) voltaje, (3) velocidad de soldadura, (4) diámetro del electrodo, (5) distancia del electrodo a la pieza (stick-out), (6) ángulo de arrastre, (7) composición química del electrodo y (8) tipo de fundente.

Fundente:

Es un material no metálico que se usa para proteger el charco de soldadura y el metal sólido de la contaminación atmosférica. Entre las principales funciones del fundente para la soldadura de arco sumergido se enumera las siguientes:

- Proteger la soldadura fundida de la interacción con la atmosfera.
- Limpia y desoxida la soldadura fundida.
- Ayuda a controlar las propiedades químicas y mecánicas del metal de aporte en la soldadura.

A los fundentes para el proceso de soldadura por arco sumergido se los puede clasificar de dos formas; donde la primera viene dada por el método de elaboración (se encuentran los fusionados, granulados aglomerados y mezclados mecánicamente) y la segunda por el efecto en los resultados finales de la operación de soldadura (son los fuentes activos y los fundentes neutros).(Criollo Chamorro, 2011)

La composición del fundente utilizado como protección en el proceso de arco sumergido juega un papel vital en la soldadura y en las propiedades mecánicas obtenidas. El fundente influye en la estabilidad del arco y las propiedades de la unión se deciden por la composición de este. Una función principal del fundente es añadir elementos de aleación al metal fundido y controlar su composición. Además, la combinación del sistema fundente-electrodo es de fundamental importancia en la soldadura debido a que si se varía esta combinación resultará en diferentes propiedades del metal de soldadura obtenido.(Acuña Rivera, 2019)

Fundente activos:

Contienen una cantidad controlada de Mn y Si, que se añaden para proporcionar mayor resistencia a la porosidad o a la fisuración, así como mayores niveles de resistencia mecánica. Su uso está limitado a soldadura por un solo lado, por ambos lados, soldadura en rincón, pero no se recomienda usarlos en multipasada para uniones de aceros de espesores mayores a 25 mm, ya que la composición química y por tanto las propiedades mecánicas que se obtienen son no homogéneas en cada una de las pasadas.

Fundentes neutros:

No producen cambios significativos en la composición química del metal depositado incluso aunque se produzcan variaciones importantes del voltaje del arco (longitud de arco que, al variar, produce la fusión de mayor o menor cantidad de fundente) durante la soldadura. Se utilizan ampliamente ya que pueden usarse tanto en una sola pasada como en multipasada, sobre todo en los casos en que se desea un solo fundente para una amplia gama de aplicaciones.

Fundente fusionado:

La materia prima se mezcla en seco y se funde posteriormente en un horno eléctrico a una temperatura entre 1500°C y 1700°C. Después de la fusión y de cualquier adición final, la carga del horno es colada y enfriada. El enfriamiento se produce por el paso de la mezcla fundida a través de una corriente de agua. El resultado es un producto con apariencia cristalina que es triturado, cribado para clasificación según tamaño y envasado.

Los fundentes fusionados tienen las siguientes ventajas:

- Buena homogeneidad química.
- Fácil eliminación de los finos, sin que afecte la composición del fundente.
- Normalmente no higroscópicos, lo que simplifica su manejo y almacenamiento, al mismo tiempo que elimina problemas de soldadura.
- Permiten el reciclado, sin cambios significativos en la composición de las partículas.
- Adecuados para las más altas velocidades de trabajo en la operación de soldeo.

La mayor limitación consiste en la dificultad de añadir desoxidantes y ferroaleaciones durante su fabricación, sin segregaciones o pérdidas elevadas. La causa es la alta temperatura asociada a la fusión de las materias primas. Esto supone que no puedan usarse en algunas aplicaciones, como en juntas estrechas o cuando los requerimientos de propiedades mecánicas son elevados. Además no se pueden obtener en grados básicos o neutros.

Fundente mezclados mecánicamente:

Para producir este tipo, el fabricante o el usuario pueden mezclar dos o más fundentes fundidos, cohesionados o aglomerados entre los comercialmente disponibles en la proporción necesaria para conseguir los resultados deseados.

Los inconvenientes son:

- Segregaciones durante su envasado, almacenamiento o manipulación.
- Segregaciones en el sistema de alimentación y recuperación durante la operación de soldeo.
- Posible inconsistencia de flux resultante de la mezcla.

Estos fundentes están en desuso, siendo los más utilizados los aglomerados.

Fundente aglomerado:

Son el tipo de fundente más utilizado actualmente en la industria. Las materias primas son óxidos de hierro, productos químicos tales como silicatos, fluoruros, carbonatos, etc. Estas sustancias cumplen con objetivos diversos como escoriación viscosidad, desoxidación, ionización, etc.

El proceso de fabricación es similar al de los cohesionados, excepto que se utiliza un aglomerante cerámico en lugar de un silicato. El aglomerante cerámico requiere un secado a temperaturas relativamente elevadas.

Después de secos, se tamizan para conseguir la granulometría deseada. Los fundentes aglomerados se consideran cerámicos porque no han sido fundidos. Presentan una superficie muy porosa y suelen ser higroscópicos, por lo que se recomienda que su embalaje sea estanco, además de que puede requerirse su resecado antes de usarlos o el mantenimiento en ambientes secos, tal como el ejemplo de recomendaciones de almacenamiento que se da más adelante.

Se distinguen de los fundidos porque:

- Aportan mayor cantidad de elementos al metal depositado.
- Se pueden utilizar con hilos no aleados.
- Su actividad química es muy variada. Se distinguen entre los activos, neutros o aleados según si aportan algunos elementos de aleación al metal depositado adicional al aporte del hilo consumible, o bien entre básicos, ácidos, rutilos o mezcla de ellos, según el tipo de escoria que forman y las propiedades mecánicas que favorecen en el metal depositado.
- El consumo de fundente es menor.

La transferencia de Mn procedente del flux al metal depositado es cinco veces mayor en los aglomerados que los fundidos. Por esta razón pueden utilizarse hilos con 0,5% de Mn en el primer caso, precisándose hilos con el 2% de Mn en el caso de fundentes fundidos.

Una ventaja esencial es su baja densidad aparente. La consecuencia es que en el arco se funde poca escoria. Como resultado, el consumo es de 0,9 kg de aglomerado frente a 1,3 kg al fundido/kg de hilo (en condiciones óptimas de recuperación y reciclado del fundente durante la soldadura).

En este tipo de fundente, la intensidad máxima de utilización suele ser mayor que en los fundidos y oscila entre 800 y 1200 A, en función de la naturaleza de los componentes. La temperatura para eliminar la posible humedad también es superior y se sitúa en torno a los 300°C.(Lázaro Martín, 2008)

1.3. Desecho obtenido durante la soldadura SAW.

Durante el proceso de soldadura se obtiene un residuo que se denomina escoria. La escoria se puede definir como el subproducto formado por óxidos y silicatos metálicos, entre otros; contiene elementos que no se reducen durante el proceso de reducción o que se oxidan durante el proceso de refinación.(Mendoza Navarro, 2013)

Las escorias siempre han sido consideradas material de desecho, sin embargo, se considera que son fuente de elementos de valor económico. Las escorias poseen un contenido en elementos valiosos que es al menos ocho a diez veces más alto que el que tiene el mineral a concentrar. El desarrollo que se ha hecho en los últimos años permite definir un proceso para recuperar estos elementos contenidos en escorias u otros subproductos metalúrgicos, así como posiblemente elementos de interés comercial.(Reghezza, 2010)

Uno de los problemas actuales en la minería es la pérdida de metales nobles (Au y Ag) atrapados en las escorias. En los procesos de fundición existe una pérdida de metales preciosos en las escorias, este atrapamiento dependen de las condiciones de operación y del diseño de los hornos, por consiguiente, varía mucho de una planta a otra. Se pueden distinguir varias causas principales que originan estas pérdidas. La eficiencia de la separación depende de la calidad de la escoria formada, medidos en términos de grados de oro y plata en la escoria, y la recuperación de metales base (y otras impurezas).

Sí la escoria no se recicla se convierte en un desecho que va a parar a un depósito, por lo que pueden ser recicladas como un producto valioso, principalmente para la industria de materiales de la construcción.

¿Cómo el uso de las escorias minimiza las pérdidas?

La recuperación y utilización de las escorias las cuales, de otra forma, pueden ser desperdicios, reduce en cantidades significativas del uso de fundentes. Otros beneficios medioambientales posibles incluyen una menor explotación de los recursos naturales para la producción de cemento, materiales refractarios, áridos, etc. En vista a la funcionalidad de los procesos metalúrgicos y a la definición de la escoria, podemos ver la importancia de ésta como un líquido fundido a altas temperaturas, y también después de usado como

desecho sólido. Por tanto, el estudio de las escorias puede ser dividido en tres campos fundamentales:

- I. Como un líquido rico en silicatos fundido a altas temperaturas, utilizado en los procesos metalúrgicos.
- II. Como un material vidrioso reciclado que puede ser utilizado principalmente para la elaboración cemento, materiales refractarios y áridos.
- III. Mezclado con fundente en una proporción adecuada, puede ser reciclado como fundente para la soldadura.

Desde el punto de vista medioambiental es más que justificado el reciclaje de las escorias. Con el fin de reducir la carga contaminante al medio o detener la explotación de recursos naturales destinados a la producción de áridos y materiales para la construcción, evitando la eliminación de la capa vegetal y afectación del ecosistema correspondiente a los lugares donde se explotan estos recursos.

Desde el punto de vista económico es también conveniente su reciclaje y utilización, debido a que con los materiales que se pierden con la escoria se invirtió cierta cantidad de dinero, espacio y recursos al transportarlos.(Barroso Rodríguez, 2007)

Actualmente son utilizadas principalmente en la industria de los materiales de la construcción donde han alcanzado determinadas aplicaciones; particularmente en Europa, donde se comercializan cementos compuestos de Cemento Portland y escorias. En Argentina se les utiliza como material de relleno en caminos y como capa base en carreteras, debido a su buena resistencia mecánica a la abrasión y al choque, como consecuencia de su gran dureza.

En España se le usa como corrector de suelos agrícolas (pH) mejorando las condiciones de cultivo en áreas con cierta acidez

En Rusia se le usa como árido grueso para la confección de hormigones debido a que las escorias fueron enfriadas lentamente, careciendo estas de propiedades hidráulicas, no siendo apropiadas para la elaboración de cementos, siendo su principal campo de aplicación, el de árido para hormigón, donde la cualidad, que en primer lugar se le pide, es la de poseer resistencias mecánicas superiores al mortero en el cual están embebidas y

que no se disgreguen cuando el medio ambiente influya sobre ellas.(Zaragoza Valdés, 2001)

1.3.1 Antecedentes del reciclaje de la escoria.

En la literatura disponible es evidente que el primer intento de reciclaje de la escoria fue informado en 1963. Sin embargo, la respuesta de la industria fue muy pobre, debido a los estrictos requisitos de las normas AWS (regulan el diseño, fabricación, inspección, calificación de procedimientos y personal para la construcción de estructuras soldadas de acero) y la norma ASME (objetivo es suministrar una real protección a la vida, la propiedad y al deterioro de los equipos en servicio), combinados con la renuencia de los fabricantes a usar un producto reciclado. Para 1996, las normas AWS y ASME se modificaron para permitir el uso de escoria reciclada.(Beck, 1996)

Si se procesa adecuadamente y de acuerdo con los requisitos de las normas, la escoria reciclada podría usarse de manera confiable como un sustituto del fundente fresco. Además enfatizaron un ahorro de hasta el 50% del costo total del fundente comprado al reciclar la escoria. Algunos investigadores también han explorado la posibilidad de usar una mezcla de fundente fresco y escoria. La investigación ha demostrado las posibilidades de utilizar la escoria pulverizada mezclada con limaduras de hierro para aplicaciones de revestimiento duro. Se confirmó que este proceso es eficiente y rentable y quedo propuesto las ecuaciones empíricas para calcular el contenido de aleación del metal de soldadura. Los autores plantearon que algunas empresas están reciclando la escoria, pero son recicladores profesionales y no han revelado la metodología esto puede deberse a razones comerciales. Se descubrió que se puede lograr una geometría del cordón aceptable usando escoria reciclada y se han ahorrado el 68.6% usando escoria reciclada.(Beck, 1996; Livshits, 1960; Sing, 2005; Their)

Kanjilal y Lau, han informado previamente sobre el efecto significativo de las interacciones de los ingredientes del fundente y enfatizan que esta evaluación de la interacción de los ingredientes del fundente se ha reconocido como cada vez más importante en el diseño del fundente de soldadura, donde puede ser necesario para

determinar los efectos combinados sinérgicos y antagonistas de muchos ingredientes.(Kanjilal, 2004; Lau, 1986)

La necesidad de reducir el número de experimentos ha sido la preocupación de los investigadores y fabricantes del fundente. Se observó que una reducción en el número de soldaduras experimentales de 30 a 5 en GMAW conduce a un ahorro de energía de alrededor del 80%. Obviamente, los beneficios de la reducción en el número de soldaduras experimentales serían mayores para cuando se consideren los ahorros en materiales, mano de obra y tiempo.(Quintana, 2006)

Más recientemente se han desarrollado una metodología de reciclaje de escoria obtenida de la aplicación de polvo en soldadura por arco sumergido utilizada en acero de bajo grado de carbono. Su investigación destaca la búsqueda de un método para reciclar tales desechos mediante el uso de fases sistemas de evaluación (difractometría de rayos X), sistemas de evaluación de la composición química (fluorescencia de rayos X), sistema de evaluación de tipo y forma de fases (microscopio electrónico de barrido) y sistema de evaluación del valor de carbono y azufre (sistema Strolein) y mediante el uso de la separación, formulación y sinterización cerámica.(Kaveh, 2008)

Algunos investigadores han investigado la posibilidad de utilizar una mezcla de fundente fresco y escoria triturada como sustituto del fundente. Los autores introdujeron el concepto de utilizar el 10% de mezcla de escoria (cantidad óptima) para lograr una soldadura de calidad favorable en términos de geometría del cordón y el uso de una mezcla de escoria de hasta el 20% no impone ningún efecto adverso sobre las características de calidad de soldadura asociadas con la geometría cordón, zona afectada por el calor (HAZ) y química del metal de soldadura.(Moi, 2001; Pal, 2001)

Otros trabajos han intentado desarrollar tecnología para lograr el 100% de reciclaje de la escoria SAW. Se llevó a cabo el primer intento de este tipo en 1959. Utilizaron un proceso de reciclaje de circuito cerrado y comenzaron a ponerlo en práctica en 1963. Se investigó el reprocesamiento y la reutilización de la escoria fundida como medio para reducir los costos de la soldadura por arco sumergido de titanio. Se descubrió que si se procesa adecuadamente y de acuerdo con los requisitos del código, la escoria reciclada se puede usar de manera confiable como una alternativa al fundente fresco. Se obtuvo un

ahorro de hasta el 50% del costo total del fundente comprado al reciclar la escoria.(Beck, 1996)

Los autores Pandey, Sing, J. Singh, Singh, K, Garg J., K. Singh, Pandey, S., investigaron para ver el efecto de la escoria reciclada en la geometría del cordón en la soldadura por arco sumergido y se llevó a cabo el proceso mediante la reposición de elementos de aleación y luego se convirtió en un nuevo fundente llamado fundente reciclado. El fundente reciclado se usó para estudiar el efecto de los parámetros de soldadura en la geometría del cordón y las relaciones de forma y observó además que la química del metal de soldadura y sus propiedades mecánicas también estaban dentro del rango aceptable del requisito del código AWS. Aunque estos investigadores tuvieron éxito en el desarrollo de tecnología mediante la cual la escoria SAW puede reciclarse al 100% para su reutilización como fundente nuevamente, este proceso de reciclaje está asociado con una cantidad considerable de costo de mano de obra y costo de material. Sin embargo, si la escoria se puede reutilizar como fundente simplemente después de molerla al tamaño sin nuevas adiciones de material, el costo de reciclado de la escoria será bastante bajo. Pero la calidad del metal revestido obtenido con esta escoria reutilizada debe analizarse antes de emprender su reutilización. Motivados por esto, algunos investigadores exploraron la posibilidad de reutilizar la escoria triturada como fundente en la soldadura por arco sumergido. Sin embargo, se observó un cambio significativo en la química del metal de soldadura obtenida usando escoria triturada. También se descubrió que había una cierta variación en la microdureza de las muestras obtenidas con escoria triturada de aquellas obtenidas con fundente fresco. Se concluyó que la escoria triturada no puede usarse para aplicaciones críticas de soldadura donde el requisito del código AWS es estricto; sin embargo, puede usarse para aplicaciones generales no críticas donde el cumplimiento estricto del código de AWS no es un problema crítico.(Pandey, 2006; Sing, 2005; J. Singh, Singh, K, Garg J., 2011; K. Singh, Pandey, S., 2009)

El proceso de soldadura por arco sumergido, en el que la zona de soldadura y arco está sumergida por una capa de fundente, es el proceso de soldadura por fusión más eficiente en trabajos de placas y estructuras, como la construcción naval, la construcción de puentes y la fabricación de recipientes a presión, suponiendo que las piezas de trabajo

puedan posicionarse correctamente y el equipo guiado con precisión. La soldadura por arco sumergido (SAW) se prefiere sobre otros métodos debido a sus cualidades inherentes, como la facilidad de control de las variables del proceso, alta calidad, penetración profunda, acabado liso, capacidad para soldar secciones más gruesas y prevención de la contaminación atmosférica del baño de soldadura.

El arco se mantiene en una cavidad de fundente fundido que refina el metal de soldadura y lo protege de la contaminación atmosférica. Varios parámetros de soldadura por arco sumergido afectan la calidad de la soldadura, como la corriente de soldadura, el voltaje y la velocidad.(Hould Croft, 1989; Kah P and Martikainen J, 2012)

El enfoque convencional para el desarrollo del fundente de la soldadura es mediante optimización experimental. La experimentación extensa y costosa de prueba y error era necesaria porque a menudo es difícil saber a priori cómo interactúan los ingredientes del fundente para determinar las características operativas del fundente y el rendimiento final de la estructura soldada. Para el desarrollo muchos investigadores trataron de comprender el papel de cada ingrediente de fundente en las propiedades del metal de soldadura y las características operativas del proceso al variar solo el ingrediente de fundente individual en un sistema dado (observaron que este enfoque por su propia naturaleza no tuvo en cuenta la variación simultánea de los ingredientes y ni como sus efectos de interacción). La evaluación de la interacción de los ingredientes del fundente ha sido reconocida como cada vez más importante en el diseño del fundente de soldadura donde puede ser necesario determinar los efectos combinados sinérgicos y antagonistas de muchos ingredientes del fundente. Utilizaron un diseño de método experimental (DoE) para desarrollar un nuevo fundente aglomerado. En DoE, lo único a considerar es la dispersión uniforme de los puntos experimentales. Aunque el método ha avanzado en la optimización experimental tradicional, el resultado puede ser subóptimo o, en el mejor de los casos, casi óptimo por eso se utilizaron otra técnica conocida como diseño de vértices extremos propuesta por McLean y Anderson. Los modelos no deben limitarse a factores de proceso porque los estudios han demostrado que la formulación de fundente desempeña un papel destacado en la productividad del proceso de soldadura y la calidad

de la estructura soldada.(J. Du Plessis, Du Toit, M., 2007; J. Du Plessis, Du Toit, M., Pistorious, P.C., 2006; Mclean, 1966)

En trabajos realizados en la Universidad de Atacama se trituro la escoria por diferentes métodos (con molinos de mandíbula y de rodillo), hasta alcanzar un tamaño medio de 35 μm . La molienda fina se realizó en un molino de bolas Nannetti modelo Speedy 1 y se depositó dentro de un recipiente de porcelana de un litro y con un tiempo de molienda 35-55 min. Cada 5 min se extrajo una pequeña muestra del material molido verificándose su granulometría por el ensayo de análisis por difracción laser. (Amin Nazera, 2016)

En nuestro país existe un proyecto para darle valor de uso a parte de los desechos que se generan de los procesos industriales, con el fin de promover un positivo impacto medioambiental y económico en la Empresa Aceros Inoxidables (Acinox) el cual permitirá utilizar la escoria negra, para una necesidad sumamente necesaria la recuperación de los viales. (María Labrador, 2020)

Capítulo II. Materiales y métodos.

En este Capítulo se hace una descripción de las propiedades químicas y mecánicas de los materiales, las características técnicas de las máquinas de soldadura utilizadas en el proceso y las normas de fabricación del cilindro para gas.

2.1. Proceso de soldadura de los cilindros de gas de 10 Kg.

En la soldadura por arco sumergido el electrodo se alimenta hacia la pieza de forma continua y con velocidad controlada, en función del tipo de material a soldar, espesor de la pieza e intensidad de corriente, para mantener constante la longitud del arco. En todo momento se está aportando fundente en la cantidad y a la velocidad necesarias para la soldadura, de forma que el calor producido por el arco funde progresivamente parte de este fundente. Como resultado, se forma un manto de fundente que flota sobre el baño de soldadura, proporcionando así mayor protección al cordón (Datta, 2008; Gunaraj, 1999). El esquema de la soldadura por arco sumergido se muestra en la (Figura 1).

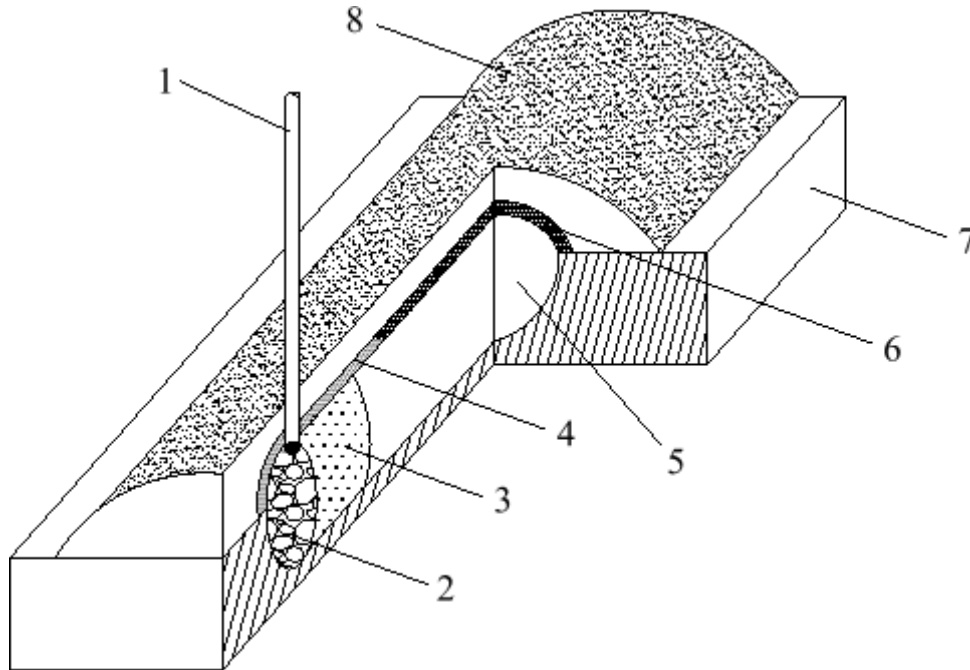


Figura 1: Esquema de la soldadura por arco sumergido.

1 - Alambre, 2 - Pozo de fusión, 3 - Soldadura líquida, 4 - Escoria líquida, 5 - Depósito líquido, 6 - Escoria sólida, 7 - Material base, 8 - Fundente.

Ventajas de este proceso:

- Gran carga de corriente con la cual se puede cargar el alambre.

- Grandes avances entre 10 y 300 metros por horas.
- Versatilidad en los diámetros del alambre, de 2 a 13 mm.
- Se puede soldar con varios alambres a la vez.
- Gran carga de fusión de 3 a 80 Kg. por hora.
- No hay deslumbramiento.
- El proceso no provoca gases ni vapores que contaminen el ambiente.
- Bajas tensiones en la soldadura.
- Bajo costo de mano de obra por Kg. de soldadura depositado.

Desventajas de este proceso:

- El cordón de soldadura no es visible durante el proceso.
- Cristalización gruesa en forma de tallos.
- Problemas de grietas en caliente.
- Posición de soldadura únicamente horizontal.

2.2. Máquina utilizada.

2.2.1. Metal base (chapa)

Se utilizan discos de chapa de Acero para embutido, laminadas en caliente, con propiedades no apreciable de envejecimiento, deben estar decapadas y ligeramente engrasadas, con un diámetro de 534 mm y un espesor de $2,20 \pm 0.03$ mm. La composición química y propiedades mecánicas se rigen por la norma EN 10120 P 245 NB (Tabla 1 y 2).

Deben venir acompañadas de un Certificado de Calidad, de forma tal que permita conocer por paquete la composición química y propiedades mecánicas.

Tabla 1: Propiedades mecánicas del metal base.

Limite elástico superior	245 N/mm ² (Mín.)
Resistencia a la Tracción	360 a 450 N/mm ²
Límite de Fluencia	24 kg/mm ² (Mín.)
Elongación	26%

Tabla 2: propiedades químicas del metal base.

C Máx.	Si Máx.	Mn Mín.	P Máx.	S Máx.	Al Mín.	N Máx.	Nb Máx.	Ti Máx.
0.16	0.25	0.30	0.025	0.30	0.020	0.009	0.050	0.03

2.2.2. Metal de aporte (electrodo).

El electrodo utilizado viene clasificado por la norma EM 12 de la AWS tiene un diámetro de 2 mm, se fabrican en rollos, están recubiertos por cobre y tienen una composición química y mecánica que se muestra en la (Tabla 3 y 4):

Tabla 3: Propiedades químicas del metal de aporte.

C	Si	Mn	P	S
0.12	0.06	1.10-1.4	≤0.03	≤.0.025

Tabla 4: Propiedades mecánicas del metal de aporte.

Resistencia a la Tracción	80-120 Kg/mm ²
---------------------------	---------------------------

Cada rollo debe venir acompañado de un Certificado de Calidad.

2.2.3. Fundente.

Fundente para soldadura por arco sumergido, denominado como Flux PV60-3, de tipo fundido tiene una granulometría de 0.25 – 1.60 mm. Normas que se utilizan AWS A 5.17 F 6A0- EM 12 K (USA) y EN 760 (EUROPA).

Este tipo de fundente es el utilizado con el electrodo EM 12 bajo la norma AWS.

Tabla de composición química.

SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃ Máx.	CaO Máx.	CaF ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	S	P
41-44	34-38	6.0	10.0	3.5- 5.0	7	2.0	0.14	0.12

Cada saco de fundente debe venir acompañado de un Certificado de Calidad.

2.3. Características técnicas del proceso.

2.3.1. Características técnicas de la máquina de soldadura por arco sumergido.

Las figuras 2 y 3 [Anexo 1 y 2] muestran la máquina donde se realiza la soldadura. La misma tiene el siguiente régimen de soldadura:

- Amperaje 345-360 A
- Voltaje 27.5 – 28.5 V
- Corriente directa
- Polaridad invertida
- Velocidad 40 seg/vuelta.
- Parámetros transformador

2.3.2. Extensión del electrodo (Stickout).

La extensión del electrodo es la distancia que existe entre la boquilla y la superficie a soldar (Figura 4).

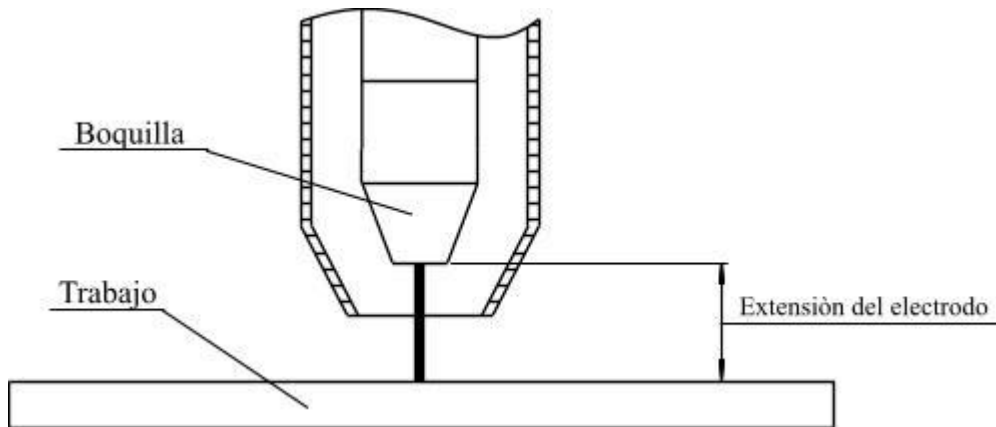
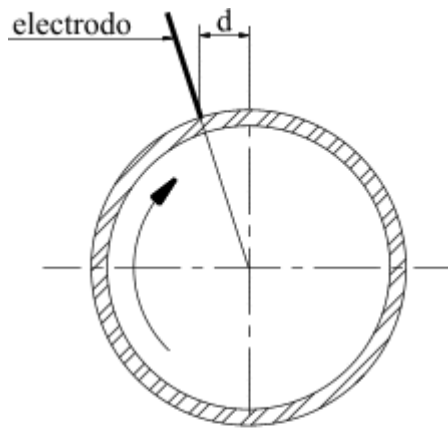


Figura 4: Esquema de la extensión del electrodo (Stickout).

Un aumento o disminución de esta distancia, influye directamente en la penetración de la soldadura.

2.3.3. Posición del electrodo.

Para obtener una mejor forma de la geometría del cordón, el electrodo se desplaza a una distancia de 25 mm del centro y se inclina hacia el mismo como muestra la figura 5.



Diametro	Desplazamiento (d)
25-76	9,5-19
76-457	19-25
457-914	32-38

Figura 5: Posición del electrodo.

2.3.4. Parámetros a inspeccionar:

- Centrado del cordón correcto.
- Dimensiones del cordón.
- Parámetros de soldadura.
- Largo de la monta.
- Examen visual (No presencia de poros, salpicaduras socavaduras ,perforaciones, uniformidad del cordón)
- Tipo alambre.
- Tipo fundente.
- Velocidad

2.4. Recomendaciones utilizadas de la geometría del cordón.

La tabla 5 muestra los valores recomendados para la geometría del cordón de soldadura. Estos valores se tomaron de las normas vigentes en la fábrica para la construcción del cilindro de 10 Kg., el espesor de chapa (e) en el lugar de la soldadura es de 2,44 mm. En la figura 6 se muestra un croquis de un ejemplo tipo de una soldadura circunferencial a tope acodada.

Tabla 5: Valores recomendados por las normas para la geometría del cordón.

Normas	Ancho Ac (mm)	Penetración P (mm)	Refuerzo Ar (mm)
NC EN 1442:2012.	$8 \geq Ac \geq 3e$	Completa	$Ar \leq Ac/4$
CGA C-3 : 2005	8 - 9	Completa	0,5 – 0,7

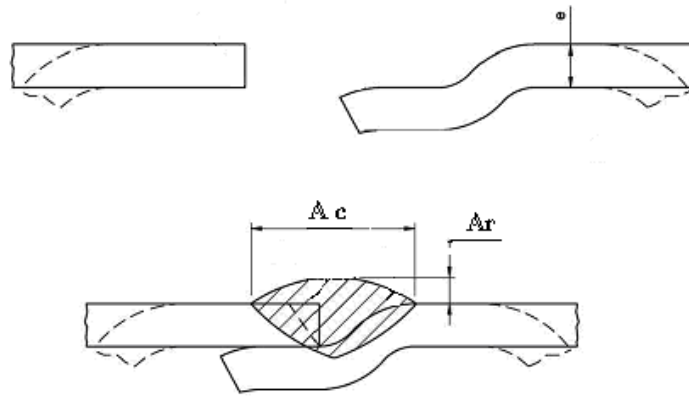


Figura 6: Ejemplo tipo de una soldadura circunferencial a tope acodada.

2.5. Parámetros del régimen utilizado.

Para obtener buenas uniones soldadas es fundamental una correcta regulación de los parámetros de soldadura. (Ghosh, 2007)

Intensidad de corriente de soldadura; es el parámetro de mayor influencia ya que determina la tasa de deposición e influye en la forma y penetración del cordón. Una intensidad excesiva de la corriente produce un cordón estrecho con sobre espesor o exceso de penetración. Por el contrario, una intensidad demasiado baja produce arcos inestables y falta de penetración (Figura 7).

Un aumento de la intensidad, sin variar otros parámetros, da lugar a:

- Aumento de la penetración.
- Aumento de la densidad de corriente.
- Aumento de la velocidad de alimentación del hilo.
- Aumento de la tasa de deposición.

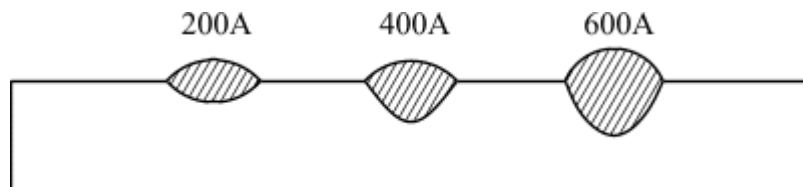


Figura 7: Influencia de la intensidad de corriente en la geometría del cordón.

Tensión de soldadura, los valores de tensión más habituales suelen oscilar entre 25 y 35 voltios. Un aumento de la tensión, sin modificar otros parámetros (Figura 8), da lugar a:

- Aumento de la longitud del arco.
- Aumento de la anchura del cordón.
- Disminución de la penetración.
- Aumenta la cantidad de escoria fundida.

Si la tensión es demasiado alta, produce:

- Cordones demasiado anchos, favoreciendo la formación de grietas.
- Soldaduras cóncavas con tendencia a agrietarse.
- Un aumento en el consumo de fundente.
- Aumento del número de elementos de aleación procedentes del fundente que pasan a formar parte del baño de fusión.
- Aumenta las mordeduras.

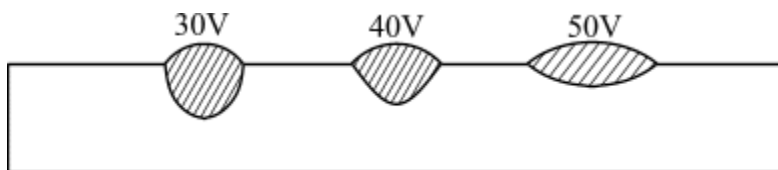


Figura 8: Influencia de la tensión de soldadura en la geometría del cordón.

Velocidad de soldadura, después de la intensidad es la variable que más afecta al proceso (Figura 9). Si es demasiado alta, produce:

- Una disminución del calor aportado por unidad de longitud del cordón de soldadura.
- Una disminución en la cantidad de metal de aportación depositado.

Por el contrario, si es demasiado baja:

- El cordón de soldadura tendrá un espesor excesivo, lo que favorece la formación de grietas.
- Se forman baños de fusión demasiado grandes y es más fácil la inclusión de escoria en el material depositado.

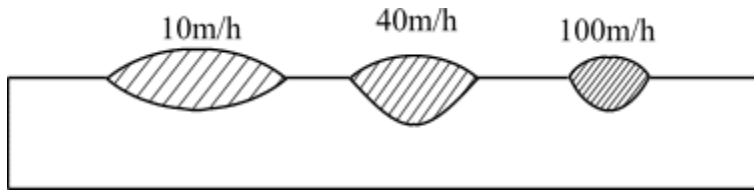


Figura 9: Influencia de la velocidad de soldadura en la geometría del cordón.

2.6. Método de trituración de la escoria.

La escoria es recogida con cuidado y clasificada para luego ser triturada, en el caso de este trabajo se realizará la trituración manual por tratarse de una primera aproximación experimental con un número de experimentos pequeños y no contar con el molino necesario.

2.7. Método para determinar la granulometría.

La norma utilizada para determinar la granulometría es la NMX-F-303-1985 la cual consiste en:

- Pesar 100 g de la muestra preparada.
- Poner la muestra en la primera de la serie de mallas, colocadas en el vibrador, y agitar durante 10 minutos.
- Vaciar las fracciones de cada malla, sobre hojas de papel, utilizando una brocha para limpiar la malla.
- Transferir el fundente de cada tamiz a un recipiente y pesar cada fracción con exactitud de 0.1 g.
- Redondear los pesos para que la suma sea 100.00 g. Reportar los resultados como porcentajes

De esta forma se puede conocer cuál es el tamaño de la escoria que se va a utilizar en el experimento que se va a llevar a cabo.

2.8. Selección del diseño experimental.

En este caso solo se realizó un experimento, para lo que se preparó un 20% de escoria y un 80% de fundente nuevo. En futuros trabajos se recomienda realizar un diseño de

mezcla con el análisis de diferentes proporciones entre fundente y escoria, con el fin de determinar el % óptimo de escoria.

2.9. Ensayos mecánicos a realizar. Normas.

Los ensayos mecánicos y los exámenes macroscópicos, que permiten verificar la calidad del metal de base y de las soldaduras de las partes a presión, deben realizarse en probetas procedentes de balitas acabadas. Las dimensiones y la posición de las probetas deben elegirse de acuerdo con la inspección y ensayo realizado en cada probeta.

2.9.1. Aplicabilidad de las inspecciones y ensayos

Inspección / Ensayo		Ensayo de tipo	Ensayo de producción
Mecánico	Tracción	x	x
	Doblado	x	x
Rotura		x	x
Presión		-	x
Visual		x	x
Fatiga		x	-
<p>O Permite optar por un examen radiográfico o un examen macroscópico. X No se admite ninguna opción – ensayo a realizar.</p>			

2.9.2. Tipos de ensayos y detalles

Tipo	De acuerdo con	Leyenda (véase la figura 5)	Detalles
1 ensayo de tracción	EN 10002-1	1	Metal base en la dirección longitudinal geométrica de la balita o, si esto no es posible, en la dirección circunferencial, o en el centro del extremo abombado.
1 ensayo de doblado	EN 910	2	En la cara exterior de la soldadura circunferencial
1 ensayo de tracción.	EN 895	3	Perpendicular a la soldadura circunferencial.
1 ensayo de doblado.	EN 910	4	En la cara interior de la soldadura circunferencial

Para todas las probetas de doblado, la soldadura debe estar mecanizada al nivel de la superficie del material de base incluido cualquier material soldado (véase la figura 12 b).

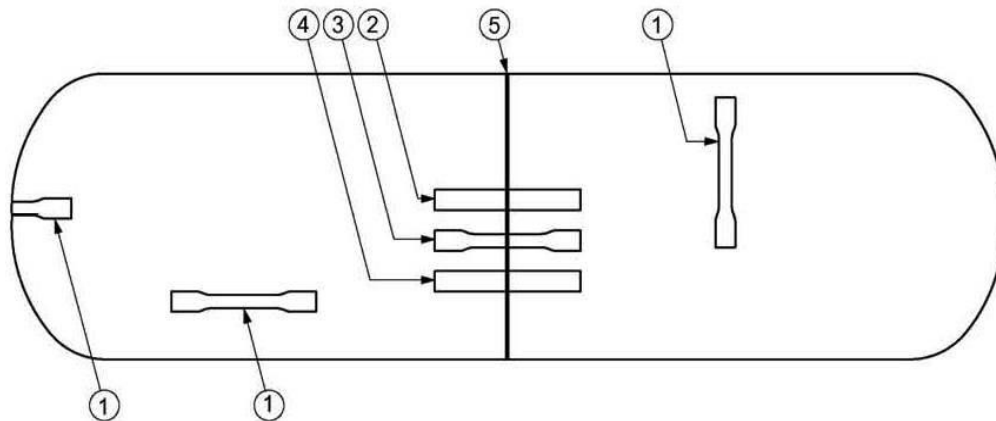


Figura 10 – Posición de las probetas tomadas de dos piezas

Leyenda

- 1 alternativas para la elección de las probetas para el ensayo de tracción
- 2 probetas para el ensayo de doblado (cara exterior de la soldadura)
- 3 probetas para el ensayo de tracción perpendiculares a la soldadura
- 4 probetas para el ensayo de doblado
- 5 soldadura circumferencial

2.9.3. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción perpendicular a la soldadura debe realizarse de acuerdo con la Norma EN 895, en una probeta que tenga una sección transversal reducida de 25 mm de anchura en una longitud de 15 mm a cada lado de los bordes de la soldadura (véase la figura 11). Más allá de esta parte central, la anchura de la probeta se debe incrementar progresivamente.

Requisitos

El valor de resistencia a la tracción obtenida, R_m , debe ser superior o igual a la garantizada por el fabricante, R_g , cualquiera que sea el punto en el que se produce la rotura en la sección transversal de la parte central de la probeta.

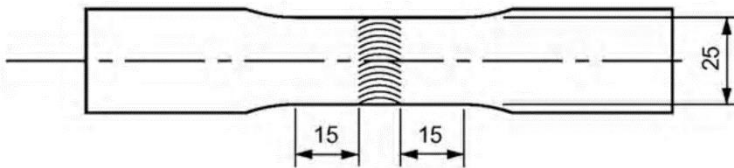


Figura 11–Probeta para el ensayo de tracción perpendicular a la soldadura

2.9.4. Ensayo de doblado

No debe aparecer ninguna fisura visible en la probeta después del doblado.

Tabla 5 – Relación entre el diámetro del mandril y el espesor de la probeta

Resistencia a la tracción real medida R_m N/mm^2	Valor de n
Inferior o igual a 440	2
Superior a 440 e inferior o igual a 520	3
Superior a 520 e inferior o igual a 600	4
Superior a 600 e inferior o igual a 700	5
Superior a 700 e inferior o igual a 800	6
Superior a 800 e inferior o igual a 900	7
Superior A 900	8

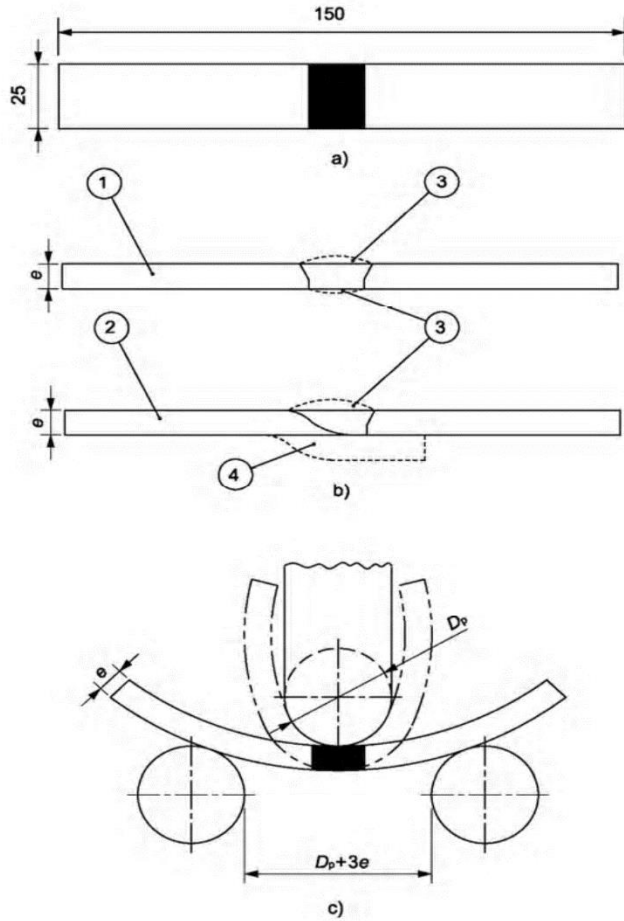


Figura 12 – Ensayos de doblado

a) dimensiones de la probeta

b) preparación de la probeta para el ensayo transversal de doblado.

c) esquema del ensayo de doblado

1 probeta soldada a tope

2 probeta soldada a tope acodada

3 soldadura amolada a nivel

4 parte sobre el borde acodado a retirar

Capítulo III. Proceso de recuperación de la escoria de los cilindros de gas de la Empresa Noel Fernández.

El objetivo de este capítulo es presentar la metodología del proceso de recuperación de la escoria utilizada en la optimización de los parámetros de soldadura.

En el Taller EXCILGAS “Faustino Pérez” de Matanzas la escoria es desechada al medio ambiente y con ella una gran cantidad de metales que pueden traer consigo la contaminación del mismo. Es por eso que nos dimos a la tarea de utilizar los residuos en este trabajo para obtener fundente Kiswel y analizar si este se puede utilizar nuevamente en la soldadura.

En este estudio se preseleccionó y se mantuvieron invariantes: el tipo de alambre electrodo y su diámetro, la extensión del electrodo, el ángulo de arrastre, la velocidad de desplazamiento del cabezal de soldadura, el número de pases, el tipo de corriente y polaridad; la intensidad de corriente y el voltaje se ajustaron en la misma posición en la fuente de poder y en el sistema de alimentación. Se utilizó un único tipo de fundente el granular.(Acuña Rivera, 2019)

Diseño utilizado: Experimental.

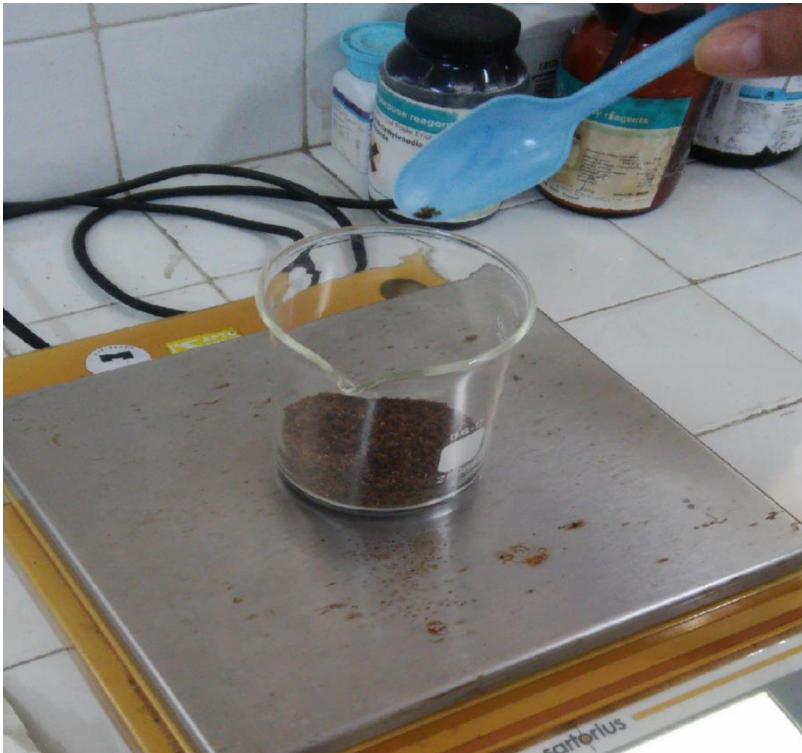
Especificación de las variables del proceso de SAW:

- Velocidad de alimentación (principal factor en el control de corriente de soldadura).
- Arco de tensión.
- Velocidad de desplazamiento.
- Distancia del electrodo o contacto con la punta de trabajo.
- Polaridad y el tipo de corriente (CA o CC) y balance variable de la corriente CA.

Procedimiento y resultados:

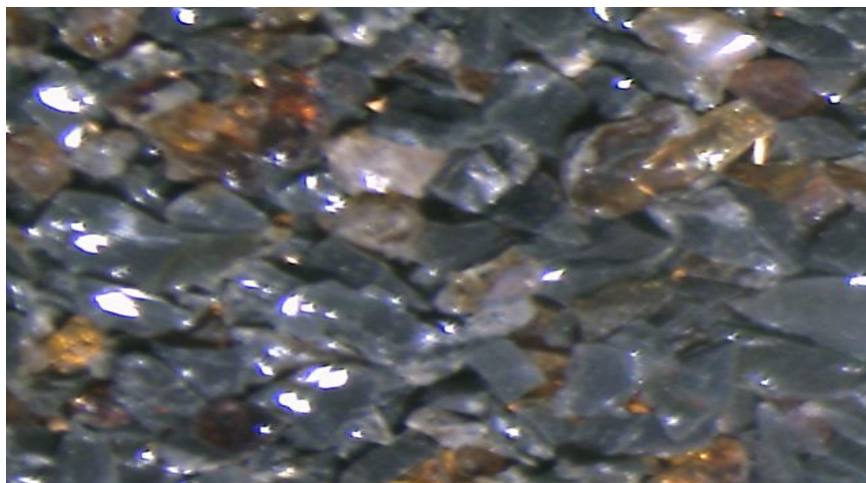
1- Análisis de la granulometría del fundente original:

En esta prueba se tomaron tres muestras para analizar su granulometría en las cuales se pesan las mismas hasta que llegan al peso de 100g, después se vierte en los tamices y se deja por 10 min y se realiza el pesaje de las muestras que se quedó en cada tamiz y se anotan cada valor para después sumar y comprobar si el peso de cada muestra en total es de 100g en este caso fue de 99.7g. En la tabla de a continuación se da a conocer los resultados.



Muestra	A (g)	B (g)	C (g)	Media
-4	-	-	-	-
-4 + 2	0.3	0.9	0.7	0.6
-2 + 1	65.1	77.2	68.3	70.2
-1 + 0,5	25	17.7	23.9	22.2
-0,5 + 0,25	9.1	3.9	6.7	6.6
-0,25 + 0,125	0.2	-	0.1	0.1
Total	99.7	99.7	99.7	99.7

- 2- Se recolecto 3 kg de escoria de la fábrica para llevar a cabo la investigación.
- 3- Se esparció la escoria sobre una bandeja para quitarle todas las partículas que no hacían falta como pedazos de alambre, plomo y hojas los cuales estaban contaminando la muestra.
- 4- Posteriormente se llevó a cabo el triturado manual de la escoria que se desarrolló con una gaveta y un martillo en el laboratorio de mecánica.
- 5- Fue pasado por varios tamices desde 1mm - hasta 0.25mm para que no se mezclaran y se le realizaron fotos para ver la morfología de la escoria.



- 6- Se le paso un imán para quitarle todo el hierro que tenía.
- 7- Se pesó para hallarle el 20% del fundente original y al recuperado por este método y después de pesado se mezcló una cantidad de 2kg del fundente original y el recuperado para realizar una prueba de soldadura.

Tamices(mm)	Cantidad(kg)	Porciento (%)
	0.4	100
-2+1	0.28	70
-1+0.5	0.096	24
-0.5+0.25	0.024	6

- 8- Se realizó la soldadura del cilindro de 10kg del taller EXCILGAS con el siguiente régimen de soldadura: un voltaje (v) de 30 y un amperaje de 374.



- 9- Se realizó la medición del ancho del cordón de la soldadura para ver si cumplía con los parámetros de la fábrica.



- 10- Se le sacaron una muestra para los ensayos mecánicos y cuatro para pruebas de tracción antes del recocido y después del recocido.





11- Se llevaron a cabo las pruebas de tracción y doblado que se le realizan a estos cilindros de 10 kg.

Parámetros	Probeta A	Probeta A
Longitud inicial (mm)	79	76.10
Longitud final (mm)	83	78.70
Ancho inicial (mm)	25	25
Espesor inicial (mm)	2.40	2.20
Área inicial (mm ²)	60	55
Fuerza a la tracción (kgf)	2750	2630
Resistencia a la tracción (kgf/mm ²)	45.83	47.81

Elongación (%)	5	3
----------------	---	---

# lote	Identificación de la probeta	Espesor	Resultados que se observan después del doblado	Satisfactorios	No satisfactorios
A	Doblado de la raíz	2.20	No presenta grietas	x	
A	Doblado de la raíz	2.20	No presenta grietas	x	

Resultado de los ensayos de doblado.



Conclusiones

Como resultado de lo expuesto en el presente trabajo, se enuncian las siguientes conclusiones:

1. Se realizó un análisis bibliográfico teniendo en cuenta los aspectos relacionados con el proceso de soldadura automática bajo fundente (SAW).
2. Según las normas utilizadas por la empresa se determinó los materiales, métodos y una correcta regulación de los parámetros de soldadura necesarios para obtener buenas uniones soldadas.
3. La tecnología para la recuperación de la escoria consiste en : recolección de la escoria, análisis de granulometría del fundente, triturado de la escoria, separación por tamaño y eliminación del hierro de la muestra.
4. Mediante los ensayos mecánicos de tracción, flexión a que fue sometida la muestra dio como resultado que con el 20% de la escoria recuperada se podía soldar los cilindros y obtener buenos parámetros.
5. En el ámbito medio ambiental se reduciría la contaminación al utilizar los altos volúmenes de desechos sólidos y tendría un impacto económico y social en una actividad tan importante como la fabricación de cilindros de 10kg para el gas.

RECOMENDACIONES

Como resultado del trabajo se recomienda lo siguiente:

- Presentar un proyecto al CITMA de encadenamiento productivo entre UM-CONFORMAT-CNA.
- Ampliar la gama de posibles usos, como por ejemplo materiales de construcción.
- Realizar un diseño de experimento de mezcla tanto para fundente como para materiales de construcción.

Bibliografía

- Acuña Rivera, M. E. (2019). *“Estudio de la influencia de la incorporación de arenas ferrosas como parte del fundente utilizado en el proceso de soldadura por arco sumergido sobre las propiedades mecánicas y microestructura de juntas soldadas de acero ASTM A572”*. Escuela Politécnica Nacional.
- Amin Nazera, B., Paya, J, Borrachero, M V, Monzo, J. (2016). Caracterización de escorias de cobre de fundiciones chilenas del Siglo XIX. *Revista de Metalurgia*, 52.
- Barroso Rodríguez, D. (2007). *Estudio preliminar para el mercado de las escorias de ferroníquel*. Instituto Superior Minero-metalúrgico“.Dr. Antonio Núñez Jiménez”.
- Beck, H. P., Jackson, A. R. . (1996). Recycling saw slag proves reliable and repeatable. *Welding J.*, 75, 51-54.
- Bolívar Aldana, J. M., Díaz Florez, L A. (2016). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para evaluación de juntas soldadas por medio del ensayo de doblado guiado según aws d1.1 2015*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Proyecto curricular de ingeniería mecánica Bogotá D.C.
- Cedeño Caballero, V., Patiño, L. (2018). *Propuesta para la implementación de innovaciones metodológicas en el taller de soldadura del instituto politécnico bilingüe gosen*. Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología
- Criollo Chamorro, S. J. (2011). *“Determinación de los costos de soldadura por arco sumergido, en la producción de elementos estructurales”*. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. .

- Chandgude, S. B., Asabe, S. S. (2014, December 12th–14th). Investigation of recycled slag in submerged arc welding for pressure vessels, *IIT*.
- Datta, A., Bandyopadhyay, P. K., Pal, Int J Adv. (2008). Manuf Technol. 1136–1143.
- Dávila Mireles, P. (2017). *Factibilidad del Uso del Proceso de Soldadura Brazing en una Aleación Base Al-Li 8090 Aplicada al Sector Aeroespacial*. Corporación Mexicana de Investigación en Materiales.
- Du Plessis, J., Du Toit, M. (2007). “Reducing diffusible Hydrogen Contents of Shielded Metal Arc Welds Through Addition of Flux-Oxidizing Ingredients”. *Journal of Materials Engineering and Performance*.
- Du Plessis, J., Du Toit, M., Pistorious, P.C. (2006). “Reducing the Diffusible Hydrogen Content of Shielded Metal Arc Welds by Means of Fluoride and Calcite Flux Additions”. *IIW*.
- Garg, J., Singh K. (2012). Reuse of slag in stainless steel cladding and its effect on chemistry of cladding. 6
- Ghosh, A., Chattopadhyaya, S, Sarkar, P.K. (2007). Effect of input parameters on weld bead geometry of SAW process. *Proceeding of International Conference (ICME)*.
- Gunaraj, V., Murugun, N. (1999). Application of response surface methodology for predicting weld bead quality in submerged arc welding of pipes. *Journal of Material Processing Technology*, 88, 266-275.
- Hernández Figueredo, Y. J. (2011). *Recuperación y puesta en funcionamiento del laboratorio de soldadura de la Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”*. Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”.

- Hould Croft, P. T. (1989). "Submerged Arc Welding, 2nd ed". *England: Abington Publishing, Cambridge*.
- Kah P and Martikainen J. (2012). "Current trends in welding processes and materials". *Rev.Adv.Mater. Sci.*, 30, 189-200.
- Kanjilal, P., Majumder, S.K., Pal, T.K. (2004). "Prediction of Submerged Arc Weld-Metal Composition from Flux Ingredients with the Help of Statistical Design of Mixture Experiment". *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 33, 146-159.
- Kaveh, A., Haghigati, A.H, Mirzahosseini, A.R. (2008). " Recycling the slag obtained from the Application of Powder in Submerged Arc Welding". *Journal of Environmental Science and Technology*, 38.
- Lau, T., Weatherly, G.S., McLean, A. (1986). "Gas/Metal/Slag Reactions in Submerged Arc Welding Using CaO-Al₂O₃ based Fluxes". *Welding Journal*, 65, 343-347.
- Lázaro Martín, A. (2008). "Soldeo por arco sumergido". *Soluciones industriales y soldadura*.
- Livshits, L. G. (1960). "A New Ceramic Flux for Hard Facing,". *Welding Production*, 28-29.
- María Labrador, L. (2020). Proyecto para la recuperacion de los viales, a partir de residuos de Acinox. In D. Granma (Ed.).
- McLean, R. A., Anderson, V.L. (1966). "Extreme Vertices Design of Mixture Experiments" *Technometrics*, 8, 447-456.

- Mendoza Navarro, J. J. (2013). Generación de un modelo operativo de los hornos eléctricos de cerro matoso en función de las propiedades químicas de la escoria”. *Universidad Industrial de Santander. Colombia.*
- Moi, S. C., Bandyopadbyay, A, Pal, P.K. . (2001). “Submerged Arc Welding With a Mixture of Fresh Flux and Fused Slag”. *National Seminar on Advances in Materials and Processing,, IIT.*
- Montalvo Eguez, M. X., Palacios Domínguez, J E, Puente Herrera, R A,. (2011). “*Construcción de implementos del laboratorio de soldadura MIG*”. Universidad Internacional del Ecuador.
- Pal, P. K., Bandyopadbyay, A., Bala, A.K. (2001). Some Aspects of Submerged Arc Welding with Mixture of Fresh Flux and Fused Slag,” *International Conference, Dhaka, Bangladesh.*
- Pandey, S., Singh,K., Mani, R. (2006). Recycling submerged arc welding slag, *Australasian Welding Journal, . 51, 34-38.*
- Pérez Macías, J. M. (2019). Metalurgia del escorial número 6 de Riotinto. *O N O B A monografía s, 3.*
- Porta Mas, E. J. (2014). “*Diseño y fabricación de un mecanismo de doblez para calificación de soldadores y operadores de soldadura para estructuras según el código de soldadura estructural AWS d1.1 – 2010*”. Universidad nacional tecnológica de lima sur.
- Quintana, M. A., DebRoy, T., Vitek, J.M, Babu, S.S. (2006). "Novel Optimization Methodology for Welding Process/Consumable Integration". *Technical Report Submitted To The United States Department of Energy.*

- Reghezza, A. (2010). Tratamiento de escorias metalúrgicas. *Revista ÁreaMinera*, 47.
- Sing, K., Pandey, S, Arul Mani, R, . (2005). Effect of Recycled Slag on bead Geometry In Submerged Arc Welding, Pro. of Int. Conf.on Mech. Engg in Kno. Age. *Delhi College of Engineering*,.
- Singh, J., Singh, K, Garg J. (2011). Reuse of Slagas flux in submerged arc welding and Its effect on chemical composition, bead geometry and microstructure of the weld metal. *Int. J. Surf. Eng. Mat. Tech.*, 1, 24-27.
- Singh, K., Pandey, S. (2009). Recycling of slag to act as a flux in submerged arc welding,. *Resou., Conserv. and Recy.*, 53, 552-558.
- Their, H. “1983 IIW Documents XII 802-03”. *The Welding Institute, London*.
- Zaragoza Valdés, R., Nassur Bogachkov, A., Concepción Gómez, A. A., Tápanes Robau, D. (2001). Utilización de las escorias de los horns de arco eléctrico y de cuchara como materiales de construcción. 1, 19 – 26.

Anexos

Anexo 1:

Figura 2. Posicionador de Soldadura.



Anexo 2:

Figura 3. Transformador de potencia.

