

Cáceres Linares, Luis Cesar
Aroquipa Velásquez, Héctor
Soto Vásquez, Duber
Uza Teruya, Julio

Gestión Sostenible de Residuos en la Industria de Electroodos:
Impacto de la Cascarilla de Acero en el
Medio Ambiente y la Productividad

Gestión Sostenible de Residuos en la Industria de Electrodo: Impacto de la Cascarilla de Acero en el Medio Ambiente y la Productividad



Cáceres Linares, Luis Cesar

La investigación, innovación y arte.

Aroquipa Velásquez, Héctor

Soto Vásquez, Duber

Uza Teruya, Julio

Pampas –Tayacaja

2025

Gestión Sostenible de Residuos en la Industria de Electrodo: Impacto de la Cascarrilla de Acero en el Medio Ambiente y la Productividad

© **Luis Cesar Cáceres Linares**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8610-6600>

Héctor Aroquipa Velásquez

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6502-5618>

Duber Soto Vásquez

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5855-7045>

Julio Uza Teruya

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0751-1570>

© **Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo (UNAT) - Fondo Editorial.**

Dirección: Bolognesi N° 416, Tayacaja, Huancavelica -Perú

tayacaja@unat.edu.pe

Telf: (+51) 67 -990847026

Web: <https://unat.edu.pe>

La investigación, su esencia y arte.

Primera edición digital: Mayo 2025

Libro digital disponible en <https://fondoeditorial.unat.edu.pe>

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú

N° 202504232

ISBN: 978-612-5123-34-3

Pampas –Tayacaja

2025

PREFACIO

La industria moderna enfrenta el reto ineludible de implementar prácticas sostenibles que no solo reduzcan el impacto ambiental, sino que también optimicen el uso de los recursos en sus procesos. En este contexto, la investigación y el desarrollo de métodos innovadores para la reutilización de subproductos industriales se presentan como pilares fundamentales en la transición hacia una economía circular. Este libro nace de una investigación exhaustiva sobre la cascarilla de acero, un subproducto comúnmente descartado en la producción metalúrgica, y su potencial como componente en la fabricación de electrodos de soldadura. La elección de la cascarilla de acero como objeto de estudio no fue casual: este material, que en gran medida representa un reto para la gestión de residuos, es también una fuente valiosa de elementos metálicos. Su reutilización en la producción de electrodos es un ejemplo de cómo la economía circular puede aplicarse en sectores tradicionalmente intensivos en el uso de recursos. Esta obra busca servir tanto como una contribución académica para investigadores y estudiantes interesados en la sostenibilidad industrial, como una guía práctica para profesionales del sector que deseen implementar soluciones ecológicas en sus procesos productivos. Al presentar esta investigación en forma de libro, aspiro a que los hallazgos expuestos aquí inspiren una mayor concientización y adopción de prácticas de economía circular en diversas industrias. La sostenibilidad no es solo una opción, sino una responsabilidad que todos debemos asumir. Confío en que este libro será un aporte valioso en ese camino.

Luis Cáceres Linares

PRESENTACIÓN

La producción industrial enfrenta la creciente necesidad de integrar prácticas sostenibles que permitan una gestión más eficaz de los residuos, generando a la vez valor añadido en sus procesos. Este libro examina una problemática específica y relevante en la industria de fabricación de electrodos de soldadura: el aprovechamiento de la cascarilla de acero, un residuo que tradicionalmente ha sido descartado, en la creación de electrodos de calidad comparable a los convencionales. A lo largo de los capítulos, se presentan detalladamente los procesos de investigación y experimentación en los cuales se evalúa la viabilidad de la cascarilla de acero como componente principal en la fabricación de electrodos. Los resultados de esta investigación son alentadores: no solo permiten una significativa reducción en la generación de residuos sólidos, sino que también contribuyen a la disminución de costos operativos y del impacto ambiental asociado al proceso productivo. Este libro está destinado tanto a académicos e investigadores como a profesionales de la industria metalúrgica y ambiental, y a todas las personas interesadas en la sostenibilidad y la innovación industrial. Las páginas siguientes ofrecen una exploración completa de los beneficios, desafíos y metodologías implementadas para hacer de la cascarilla de acero un componente útil y eficiente en la fabricación de electrodos. Es nuestra esperanza que esta obra inspire a más industrias a adoptar enfoques sostenibles y a contribuir al desarrollo de un futuro más limpio y responsable.

ÍNDICE

PREFACIO.....	II
PRESENTACIÓN.....	V
ÍNDICE	VI
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	8
1.3.1. Problema General.	8
1.3.2. Problemas Específicos	8
1.4. ANTECEDENTES	8
1.4.1. Internacionales.....	8
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.5.1. Justificación de la Investigación	10
1.5.1.1. Justificación Teórica.	10
1.5.1.2. Justificación Práctica.....	11
1.5.1.3. Justificación Social.....	13
1.5.2. Importancia de la Investigación.....	14
1.5.3. Fundamento	14
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.6.1. Espacial.....	17
1.6.2. Temporal.....	18
1.6.3. Conflicto de intereses	18
1.7. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.7.1. Objetivo General.....	19
1.7.2. Objetivos Específicos	19
1.8. HIPÓTESIS	20
1.8.1. Hipótesis Principal.....	20
1.8.2. Hipótesis Secundarias	20

II. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. BASE TEÓRICA.....	21
2.1.1. Aspectos Metalúrgicos.....	21
2.1.2. Cascarillas de laminación	22
2.1.3. El Hierro (el Acero) y su aplicación	22
2.1.4. Residuo sólido	23
2.1.5. Aspectos termodinámicos a altas temperaturas	24
2.1.5.1. Mecanismo de formación según la ley de Fick's	24
2.1.5.2. Mecanismos de oxidación	26
2.1.5.3. Identificación de los óxidos.....	28
2.1.5.4. Termodinámica en la formación de la fase óxido de composición variable.....	31
2.1.6. Marco conceptual de la Calidad	35
2.1.6.1. Percepción de La calidad.....	35
2.1.6.2. Dimensiones de la calidad de Garvin.....	37
2.1.6.3. Sistema ISO 9000 / ISO 140000	39
2.1.6.4. Método Cascada para el manejo de Residuos solidos.....	41
2.1.7. Marco conceptual de la soldadura	46
2.1.7.1. Electrodo arco eléctrico.....	46
2.1.7.2. Electrodo de soldadura revestidas	49
2.1.7.3. Arco eléctrico para soldar	50
2.1.7.4. Mecánicas del comportamiento del Revestimiento durante soldeo	51
2.1.7.5. Proceso de Soldadura SMAW: (Soldadura de Arco para electrodo revestido).....	53
2.1.7.6. Marco legal.....	56
III. MÉTODO	62
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	62
3.1.1. Tipo.....	62
3.1.2. Nivel	62
3.1.3. Códigos y Nomenclaturas UNESCO.....	63
3.1.4. Diseño de la investigación	64

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	66
3.2.1. Población	66
3.2.2. Tamaño de la Muestra	67
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	68
3.3.1. Estrategia de Prueba de Hipótesis.....	68
3.3.2. Variables e Indicadores.....	70
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	72
3.4.1. Técnicas de Procesamiento de Datos.....	72
3.4.2. Técnicas de Análisis e Interpretación de la Información.....	74
3.4.3. Instrumentos de Recolección de Datos según la Metodología.....	76
3.5. ANÁLISIS DE DATOS.....	77
3.6. CONSIDERACIONES ÉTICAS	78
IV. RESULTADOS	80
4.1. INTRODUCCIÓN.....	80
4.1.1. Proceso de Fabricación del alambro de acero.....	84
4.1.2. Composición química de la Cascarilla	85
4.1.3. Propiedades Físicas de los óxidos de cascarilla.....	87
4.1.4. Acciones en la Planta Siderúrgica de Aceros Arequipa	90
4.1.5. Proceso de Fabricación de Electrodo Revestido.....	93
4.1.5.1. Preparación del núcleo- trefilado	93
4.1.5.2. Decapado químico.....	94
4.1.5.3. Decapado Mecánico	95
4.1.5.4. Distribución Granulométrico.....	97
4.1.5.5. Índice de Finura de la masa seca (IF).....	102
4.1.5.6. Preparación de la mezcla seca	106
4.1.5.7. Preparación de la mezcla húmeda	106
4.1.6. Resultados finales	110
4.1.6.1. Resultados de ensayo químico	110
4.1.6.2. Resultados de ensayo de Tracción	111

4.1.6.3. Resultado final de ensayo Impacto.....	112
4.1.6.4. Resultados de ensayo dureza rockwell A, metalografía y dobléz	114
4.1.6.5. Dureza Rockwell	114
4.1.6.6. Metalografía	115
4.1.6.7. Prueba de dobléz	116
4.1.7. Prueba de campo con los soldadores y usuarios finales	117
4.1.8. Encuesta de Calidad de la soldadura	117
4.1.9. Tamaño de Muestra y la validación de la Hipótesis nula H_0	122
4.1.9.1. Tamaño de Muestra.....	122
4.1.10. Validación de la Hipótesis nula H_0	126
4.1.11. Utilidad Económica	127
4.1.12. Análisis económico en la Planta de ElectrodoS	131
4.1.13. Costo del uso del decapado químico	132
V. CONCLUSIONES.....	134
VI. RECOMENDACIONES	137
ÍNDICE DE FIGURAS.....	138
ÍNDICE DE TABLAS.....	142
REFERENCIAS.....	144
ANEXOS.....	150

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

En el continente sudamericano, existen aproximadamente 12 plantas que fabrican electrodos con revestimiento que utilizan minerales aglomerados alrededor de un núcleo de acero. Las operaciones de fabricación de electrodos son muy similares, lo único que varía es su capacidad de producción y la logística en el manejo de los insumos y materias primas; estas plantas pueden ser muy pequeñas con una capacidad es de 0.3 a 1 ton/día hasta otras plantas de gran envergadura cuya capacidad de producción puede llegar de 55 a 70 ton/día de soldadura como producto terminado. El grupo Air Liquid perteneciente a la marca Oerlikon Welding Ltd. ubicado en Alemania tiene una planta de producción licenciada en el Perú, esta empresa Oerlikon cuenta con varias operaciones en este rubro esparcidas alrededor del mundo siendo algunas unidades de producción propias y otras que operan bajo la licencia de la marca Oerlikon, esta marca tiene presencia en Francia, Inglaterra, Italia, Alemania, Rumania, Ucrania, República Popular China, India, Irán, Arabia Saudita, Canadá, México, Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, etc. con una oficina principal en la ciudad de Zúrich-Suiza.

Toda industria fabril de soldadura emplea tres insumos importantes para la fabricación de soldadura que son minerales metálicos y minerales no-metálicos todos ellos en forma de polvos, aglomerantes líquidos a base de silicato de sodio (Na), potasio (K) y alambón de acero o acero inoxidable; cada uno de estos insumos genera contaminación de diverso tipo debido a su manipulación, por descomposición u oxidación de la superficie por efecto del medio ambiente siendo identificados como: de tipo emisiones del proceso, por los afluentes, residuos sólidos y/o residuos sólidos peligrosos, etc.

Para la fabricación de las varillas de soldar es necesario retirar la cascarilla de acero adherida sobre la superficie de los rollos de alambones cuyo diámetro varían de 8.1 a 5.5 mm,

esta cascarilla es uno de los principales residuos contaminantes que se genera dentro de las instalaciones fabriles de trefilado, debido a que este óxido fuertemente adherido daña la calidad superficial del alambre ocasionando problemas de atascamiento durante el proceso de extrusión de electrodos, una manera segura es someter estos rollos a un decapado químico sumergiéndolos sobre grandes tinajas con ácido clorhídrico para disolver el óxido y limpiar las superficies del alambrón para su posterior trefilado, enderezado, corte y extrusión de los electrodos.

La planta piloto y la planta de electrodos se encuentran en el distrito de Lurín al sur de la ciudad de Lima y en la actualidad, procesa alrededor de aproximadamente 1,200 ton/mes y genera aproximadamente entre 0.5% a 1 % en peso de este residuo sólido al cual se denominará “Cascarilla”. Se debe destacar que esta cascarilla que se genera en la planta de electrodos se origina durante el proceso del trefilado del alambrón desde el desbobinado del rollo sino pasó previamente por la limpieza en el decapado químico. La acumulación de esta cascarilla se efectúa en la primera etapa de reducción y limpieza con escobillas rotativas; el objetivo es retirar la totalidad de la cascarilla antes de la primera reducción del diámetro del alambre. El proceso de reducción continuará por varias etapas durante el trefilado hasta alcanzar un diámetro final que varía desde 1.6 mm, 2.5 mm o 3.2 mm cortados de forma automática en longitudes de 300 a 350 mm según los requerimientos del cliente final o mercado nacional: Uno de los requisitos de fabricación establecido por Oerlikon Welding Electrode es que la superficie del alambre debe estar exento de óxidos o material orgánico para su uso en la fabricación de electrodos revestidos; una de las dificultades que se observa con frecuencia es que esta capa protectora cuando está expuesta por periodos largos al medio ambiente tiende a oxidarse fácilmente, ello puede deberse a la fragilización de la cascarilla que genera una contaminación en el ambiente de trabajo antes de pasar por el proceso de decapado químico o en la línea trefilado, el alambrón puede estar expuesto a una corrosión en la superficie de acero

inhabilitando el uso del alambro para su trefilado debido a que el núcleo de acero corroído afecta el paso de la corriente eléctrica.

De lo indicado anteriormente, la limpieza de la superficie del alambro es de vital importancia, por ello se prioriza el uso de medios mecánicos y químicos que permitan retirar la totalidad de esta cascarilla residual u otro contaminante orgánico e inorgánico adheridos, si este proceso no se retira la totalidad de la cascarilla adherida en la superficie, imposibilitaría realizar el proceso adecuado de trefilado, enderezado y/o corte de los alambres insumo principal para la fabricación de electrodos. Todo este proceso genera residuos adicionales y afluentes contaminantes que se hacen difícil su manipulación y con ello el programa de producción de la planta se ve afectado para atender la demanda nacional de electrodos, este problema es similar en todas las unidades de producción de electrodos en el resto del mundo.

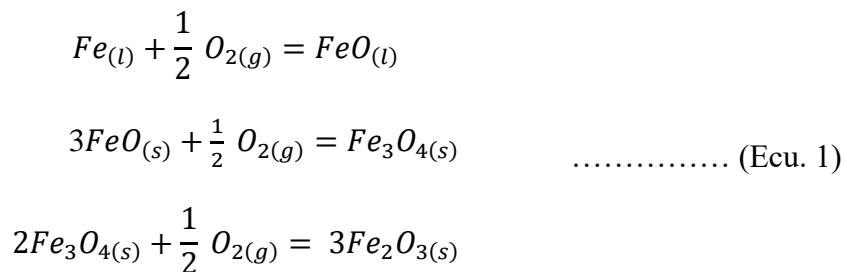
Esta dificultad en el manejo de la cascarilla de acero se presenta en empresas Siderúrgicas durante la fabricación del alambro de superficies lisas o varillas corrugadas para la construcción. En la actualidad en el Perú, la producción de acero se estima en aproximadamente de 1'150,000TM/año (Alacero, 2022), esta producción comprende entre las plantas de Aceros Arequipa en la ciudad de Pisco y la planta de SiderPeru en la ciudad de Chimbote. En ambas empresas siderúrgicas, los procesos productivos generan óxidos de hierro o cascarilla de acero y presentan el mismo problema en el manejo del residuo llamado cascarilla de acero, en otras partes del mundo lo llaman "laminillas de acero".

Otras empresas que fabrican soldadura en la región sudamericana como ocurre con otras plantas ubicadas como en Ecuador, Uruguay, Paraguay y Chile, son cubierta sus demandas con el suministro localmente en cada país, este problema trasciende cuando la producción local no logra cubrir las necesidades de la empresas fabricantes de electrodos debiendo ser cubierto vía importación suministrada por empresas siderúrgicas ubicadas en otros continentes; debo destacar, que si el producto su origen se ubica en los países del bloque

oriental, China y Rusia la calidad del alambrión se ubica del valor mínimo o menos frente los productos precedencia occidental, USA y Japón, en este caso el factor puede se centrar por el precio internacional, la problemática de la contaminación por la cascarilla en este caso trasciende las fronteras debido que a calidad no es una prioridad. Este problema también lo tiene la casa matriz de Oerlikon Welding con las unidades fabriles ubicadas alrededor de Europa.

Según el Cuellar (Cuellar, 2005), el proceso de oxidación corresponde a un cambio químico muy frecuente entre las moléculas de hierro al reaccionar con las moléculas de oxígeno transformándose en otra sustancia llamada óxido de hierro, pero se debe destacar que las características analíticas de los iones metálicos de $Fe(+2)$ y $Fe(+3)$ permitirá que ocurra reacciones diferentes y obtener oxido con diferente mineralogía.

Reacciones químicas (Cuellar, 2005):



Esta capa que se forma en la superficie actúa como una capa protectora contra el medio ambiente y garantiza que la superficie de acero no esté corroída para algunas actividades industriales; es de vital importancia la presencia de este óxido y para el caso de este estudio es parcialmente importante siendo vital durante el transporte y estacionamiento largos de los rollos a la intemperie. La obtención de estos rollos de alambrión inicia mediante la función de la chatarra con los minerales sinterizados o paletizados en los hornos de arco eléctrico cuya capacidad puede variar de 40 a 80 ton/carga, vaciado en cámaras de colada continua que son descargada se forma de barras cuadrada cuyas dimensiones son aprox. 10 x 10 pulgadas

llamadas palanquilla de acero pre-cortadas en longitudes de aprox. 6 m a 12 m, esas palanquillas previamente cortadas son apiladas para su posterior tratamiento para su trefilado en caliente para los diversos diámetros y características físicas diversas entre ellas la fabricación de alambros de acero, cuyo diámetros puede variar desde 12mm a 5.5mm o en varillas corrugadas cuyo diámetro varía desde ¼ hasta 1 ½ pulgadas, la cascarilla formada va a proteger el alambre del medio ambiente (esta capa protectora se forma por efecto del enfriamiento del alambre de acero) cuyo espesor puede ser variable desde 40 a 100 micrones que luego son empaquetados para su venta.

La generación de los residuos sólidos es producto de las actividades humanas y económicas que se realizan en distintos espacios de las operaciones industriales. A nivel nacional, la legislación vigente los define como los residuos sólidos como aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólidos donde el generador deberá de disponer adecuadamente con la finalidad de permitir minimizar los residuos sólidos, controlar la segregación en la fuente, mejorar su transporte , transferencia y disposición final adecuado, para lo cual la investigación tomará el siguiente marco legal nacional como se establece en el Decreto Legislativo N° 1278 publicado el 23 de diciembre de 2016 y modificada por la Ley 31986, donde se modifican los artículos: 6 -literal e, 15 -literal b y 21 - literal a — del Decreto con fecha 11 de octubre 2023.

La empresa EXSA llamada como empresa Explosivos Sociedad Anónima fue creada en 1954 como empresa “Explosivos S.A.”, cuenta con dos unidades de producción una división para la fabricación de explosivos bajo licencia de Explosive Biazzi de Suiza y la segunda división la fabricación de electrodos revestidos licenciataria de la marca Oerlikon-Alemania. La unidad que fabrica soldaduras cuenta con varias sub-unidades de producción como planta de decapado, planta de trefilado, planta de prensado, secado y embalaje de electrodos.

Esta investigación fue propuesta por la empresa NEXSOL SRL a través del programa INOVATE PERU, la planta piloto de NEXSOL se ubica en la Antigua Panamericana Sur altura del km. 38.5 de la Urbanización Pampas Galeras del Distrito de Lurín (llamado Km 40) limitando por el Norte con los distritos de Pachacamac y Villa el Salvador, al Sur con el distrito de Punta Hermosa. El estudio tiene como objetivo formular una propuesta que permita minimizar la contaminación de residuos sólidos generados por la empresa EXSA S.A. en la división de fabricación de electrodos de la marca Oerlikon y la empresa de Aceros Arequipa.

1.2. Descripción del problema

La cascarilla de acero, un residuo sólido generado durante el proceso de trefilado de alambón en plantas de fabricación de electrodos presenta serios desafíos ambientales y económicos en la industria fabril de Perú. A nivel mundial, existen más de 100 empresas especializadas en la producción de electrodos, con capacidades de producción superiores a 1,500 toneladas mensuales y programas de gestión ambiental robustos. Sin embargo, en Sudamérica, muchas plantas de menor capacidad (< 1,000 toneladas mensuales) enfrentan dificultades para implementar una gestión ambiental eficaz debido a regulaciones menos estrictas y ambiguas en comparación con Europa.

La planta de trefilado ubicada en el distrito de Lurín, con una producción anual de aproximadamente 10,000 toneladas métricas, genera entre 50 y 70 kg de cascarilla de acero por tonelada de alambre trefilado. Esta cascarilla contiene óxido de hierro (50-60% hierro) que podría ser reutilizado en la fabricación de electrodos. No obstante, la falta de mecanismos eficientes para su reutilización y la insuficiencia de políticas ambientales estrictas incrementan el riesgo de contaminación del suelo y el aire, afectando tanto al medio ambiente como a la salud pública. Además, la dependencia de minerales importados para la masa de revestimiento de electrodos complica aún más la situación. Asimismo, La producción de hierro y acero en la

planta de Lurín utiliza procedimientos pirometalúrgicos que generan emisiones gaseosas y de polvo, incluyendo metales pesados peligrosos como cromo, níquel, manganeso, silicio, titanio y tungsteno. Estos contaminantes pueden provocar contaminación del suelo y del aire, y la presencia de partículas de óxidos de hierro menores a 10 micrones agrava el problema ambiental y de salud en los alrededores de la planta. Por lo descrito, la presente investigación tiene como propósito determinar, como la cascarilla del alambrón de acero puede generar un problema en la contaminación al medio ambiente y disminuir el desarrollo industrial de la empresa fabril, y se espera identificar la gestión inadecuada de residuos sólidos y su influencia en la salud, así como, que tecnologías pueden implementarse para reutilizar la cascarilla de acero en la producción de electrodos y otros.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema General.

- ✓ ¿En qué medida la cascarilla del alambón de acero genera contaminación al medio ambiente y disminuye el desarrollo industrial de la empresa fabril?

1.3.2. Problemas Específicos

- ✓ ¿Cuáles son las principales fuentes de contaminación ambiental generadas por la cascarilla de acero y otros residuos sólidos en la planta de fabricación de electrodos en Lurín?
- ✓ ¿Cómo afecta la gestión inadecuada de residuos sólidos a la salud pública y al medio ambiente en las inmediaciones de la planta de fabricación de electrodos en Lurín?
- ✓ ¿Qué tecnologías y prácticas de gestión ambiental pueden implementarse para reutilizar la cascarilla de acero en la producción de electrodos y reducir su impacto ambiental?

1.4. Antecedentes

Los antecedentes de la investigación proporcionan una guía objetiva basada en las recomendaciones de estudios previos, lo cual es valioso para el análisis y la discusión de los resultados. Se presentan de manera resumida los enfoques, análisis y hallazgos de investigaciones anteriores con el propósito de enriquecer la discusión.

1.4.1. Internacionales

En la presente investigación, participo como investigador principal, dirigiendo un equipo a través de la empresa NEXSOL. Como responsable técnico de investigación que es propuesto para su desarrollo mediante el programa FINCYT (INNOVATE PERU) identificado como FINCYT 081-PITEI 2010, antes de esta investigación no se ha podido encontrar alguna

trabajo de investigación desarrollada sobre el tema de la cascarilla, ni artículo relacionado con el tema, pero internacionalmente se ha ubicado algunos artículos técnicos donde se evalúa los efectos del carbonato (calcita) en el cordón de soldadura y los efectos en la estructura del acero en función del espesor de la cascarilla como referencia.

Verthoeven, (1998), uso tres tipos de rutilo's, en su investigación Rissone “tres tipos de rutilos cubrieron electrodos de la clasificación ANSI/AWS A5.1-91 del tipo E6013 fue preparado aumentando la calcita (carbonato de calcio natural CaCO_3), esta modificación produjo un aumento de la basicidad de la escoria que causo un marcado incremento en la dureza.

Ello genero una disminución en la penetración del arco de soldadura y aumento del ancho del cordón” (j.d verthoeven, 1998) y (BY N.M.R. DE RISSONE, 2002). Acero – reducción, “El acero se vende en una gran variedad de formas y tamaños, como varillas, tubos, rieles de ferrocarril, rollos de alambres o perfile de tipo H o en T, estas formas se obtienen en las instalaciones siderúrgicas siendo laminando en lingotes calientes o moldeándolo de algún otro modo. El acabado del acero mejora también su calidad al refinar su estructura cristalina y aumentar la resistencia protegido por una capa de oxido” (V, 2022)

Sundman, (1999), menciona que “Los óxidos que se incorporan en el Revestimiento de soldadura actuando como reguladores de la escoria y estabilizadores del arco ionizante de soldadura 1,2” (Sundman b., 1999)

Wang, Baicun, (2020), menciona que es tratar de emplear “Los sistemas de soldadura que se están transformando con la llegada de tecnologías de la información modernas, como Internet de las cosas, big-data, inteligencia artificial, computación en la nube y fabricación inteligente. Expresa que:

Los sistemas de soldadura inteligentes (IWS), que utilizan estas tecnologías, están atrayendo la atención de las comunidades académicas e industriales. La soldadura inteligente es el uso de computadoras para imitar, fortalecer y/o reemplazar a los operadores humanos en la detección, el aprendizaje, la toma de decisiones, el monitoreo y el control, etc. Esto se logra integrando las ventajas de los humanos y los sistemas físicos en sistemas cibernéticos inteligentes”. (Wang, 2020).

1.5. justificación de la investigación

1.5.1. *Justificación de la Investigación*

1.5.1.1. **Justificación Teórica.**

La justificación teórica de esta investigación se fundamenta en la necesidad de comprender y abordar los desafíos ambientales y económicos asociados con la gestión de residuos sólidos en la industria de fabricación de electrodos en Perú. A nivel mundial, las empresas de fabricación de electrodos enfrentan la presión de cumplir con normativas ambientales estrictas, lo que las lleva a buscar ubicaciones con regulaciones menos rigurosas cuando las exigencias aumentan. Sin embargo, en Sudamérica, la implementación de una gestión ambiental eficiente es limitada debido a regulaciones menos claras y estrictas. La cascarilla de acero, un residuo sólido generado durante el proceso de trefilado de alambón representa un problema significativo tanto por su potencial contaminante como por su subutilización en procesos productivos. Este residuo contiene óxido de hierro, el cual podría ser reutilizado en la producción de electrodos, reduciendo así la dependencia de materiales importados y mejorando la eficiencia económica de las plantas. La falta de mecanismos para la reutilización adecuada de la cascarilla de acero y la insuficiencia de políticas ambientales robustas contribuyen a la contaminación del suelo y el aire, afectando la salud pública y el medio ambiente.

La teoría de la gestión de residuos y la economía circular subraya la importancia de convertir los residuos en recursos útiles a través de prácticas de reciclaje y reutilización, lo cual no solo mitiga los impactos ambientales negativos, sino que también optimiza el uso de materiales y reduce costos. Además, la teoría de la sostenibilidad ambiental sostiene que el desarrollo industrial debe integrarse con la preservación del medio ambiente mediante la adopción de tecnologías limpias y prácticas de gestión ambiental efectivas.

1.5.1.2. Justificación Práctica.

La presente investigación tiene una justificación práctica sólida basada en la necesidad urgente de abordar los problemas ambientales y operativos asociados con la gestión de residuos sólidos en la industria de fabricación de electrodos en Perú, específicamente en la planta de trefilado ubicada en el distrito de Lurín. La gestión inadecuada de la cascarilla de acero, un residuo sólido compuesto principalmente de óxido de hierro ha llevado a preocupaciones significativas sobre la contaminación del suelo y del aire, lo cual tiene repercusiones directas en la salud pública y el entorno natural de las áreas circundantes.

A. Problemáticas Actuales

- **Contaminación Ambiental:** La acumulación y manejo inapropiado de la cascarilla de acero generan contaminación del suelo y del aire, afectando negativamente el ecosistema local y la calidad de vida de las comunidades cercanas. La presencia de partículas de óxidos de hierro menores a 10 micrones en el aire puede causar problemas respiratorios y otras afecciones de salud en los habitantes locales.
- **Impacto Económico:** La subutilización de la cascarilla de acero como recurso valioso representa una pérdida económica significativa para las plantas de fabricación de electrodos. La falta de reutilización efectiva de este residuo aumenta

los costos operativos y reduce la competitividad de las empresas en el mercado global.

B. Beneficios Prácticos de la Investigación

- **Reutilización de Residuos:** La investigación buscará desarrollar y aplicar métodos eficientes para reutilizar la cascarilla de acero en la fabricación de electrodos, lo cual puede transformar un residuo problemático en un recurso valioso. Al reutilizar la cascarilla de acero, se reducirá la necesidad de importar minerales, disminuyendo así los costos de producción y mejorando la sostenibilidad económica de la planta.
- **Reducción de la Contaminación:** La implementación de prácticas de gestión ambiental adecuadas reducirá la contaminación del suelo y del aire, mejorando la calidad ambiental y la salud pública en las áreas circundantes. Las tecnologías y métodos desarrollados pueden ser adaptados y aplicados en otras plantas de fabricación de electrodos en la región, promoviendo una industria más limpia y responsable.
- **Cumplimiento Normativo:** La investigación proporcionará directrices para que las plantas de fabricación de electrodos cumplan con las normativas ambientales vigentes y mejoren sus prácticas de gestión de residuos. Al alinearse con los estándares internacionales, las empresas podrán evitar sanciones y mejorar su imagen corporativa y su aceptación social.
- **Capacitación y Sensibilización:** La investigación contribuirá a la capacitación del personal en prácticas de gestión de residuos y sostenibilidad ambiental, fomentando una cultura de responsabilidad y mejora continua. Las comunidades locales serán sensibilizadas sobre la importancia de la gestión adecuada de residuos y su papel en la protección del medio ambiente.

C. Implementación y Escalabilidad

- **Plan Piloto:** La investigación se enfocará inicialmente en la planta de trefilado en Lurín, con la posibilidad de replicar y escalar los métodos y prácticas desarrolladas a otras plantas en Perú y Sudamérica.
- **Colaboración:** Se promoverá la colaboración entre la academia, la industria y el gobierno para asegurar la implementación efectiva de las soluciones propuestas y el monitoreo continuo de los resultados.

La justificación práctica de esta investigación radica en su potencial para ofrecer soluciones tangibles y aplicables que mejoren la gestión de residuos sólidos, reduzcan la contaminación ambiental y aumenten la eficiencia económica en la industria de fabricación de electrodos en Perú. Al abordar estos desafíos, la investigación no solo beneficiará a la planta de trefilado en Lurín, sino que también establecerá un modelo de prácticas sostenibles que pueden ser adoptadas por otras industrias en la región.

1.5.1.3. Justificación Social.

La investigación sobre la gestión de residuos sólidos, específicamente la cascarilla de acero en la planta de fabricación de electrodos en Lurín, tiene una profunda justificación social debido a su potencial para mejorar la calidad de vida de la comunidad local y proteger el medio ambiente. La inadecuada gestión de residuos industriales puede tener consecuencias negativas directas sobre la salud pública, al exponer a la población a contaminantes peligrosos que pueden causar enfermedades respiratorias y otras afecciones graves. Al abordar este problema, la investigación busca desarrollar soluciones prácticas que reduzcan la contaminación del aire, suelo y agua, contribuyendo así a un entorno más saludable para los residentes de las áreas circundantes.

Además, la investigación tiene el potencial de empoderar a la comunidad local al sensibilizarla sobre los riesgos asociados con la gestión inadecuada de residuos y las mejores prácticas para mitigarlos. Al involucrar a los residentes en el proceso y considerar sus percepciones y necesidades, la investigación no solo promueve la justicia ambiental, sino que también fortalece la cohesión social y la colaboración entre la industria y la comunidad. En última instancia, los resultados de este estudio pueden servir como modelo para otras industrias en Perú, promoviendo una mayor responsabilidad social y contribuyendo al desarrollo sostenible del país.

1.5.2. Importancia de la Investigación

La investigación sobre la gestión y reutilización de la cascarilla de acero en la industria de fabricación de electrodos en Perú es de gran importancia ambiental, económica, social y técnica. Reducir la contaminación del suelo y del aire mejorará la calidad ambiental y la salud pública, al mismo tiempo que la reutilización de residuos disminuirá los costos operativos y aumentará la competitividad de las empresas. Además, la valorización de los residuos sólidos como recursos útiles fomentará la innovación y la sostenibilidad en la industria. La sensibilización y educación sobre prácticas sostenibles fortalecerán la conciencia ambiental en la comunidad. Al alinear las prácticas de gestión de residuos con las normativas internacionales, la industria evitará sanciones y mejorará su imagen corporativa. Los hallazgos de esta investigación pueden influir en la formulación de políticas públicas, apoyando la creación de regulaciones más claras y efectivas, y ayudando a Perú a cumplir con sus compromisos internacionales en materia de sostenibilidad y medio ambiente.

1.5.3. Fundamento

La presente investigación se fundamenta en la creciente necesidad de implementar prácticas de gestión ambiental sostenibles en la industria de fabricación de electrodos en Perú,

particularmente en lo que respecta al manejo y reutilización de la cascarilla de acero, un residuo sólido generado durante el proceso de trefilado de alambón. Esta cascarilla, rica en óxidos de hierro, no solo representa un desafío ambiental significativo debido a su potencial contaminante, sino que también constituye una oportunidad económica subutilizada para la industria.

Aspectos Ambientales. El manejo inadecuado de la cascarilla de acero ha llevado a problemas de contaminación del suelo y del aire en las áreas circundantes a las plantas de trefilado. La literatura científica ha documentado extensamente los efectos negativos de los metales pesados y las partículas finas en la salud humana y el medio ambiente. Metales como el cromo, níquel, manganeso, silicio, titanio y tungsteno, presentes en estos residuos, son conocidos por su toxicidad y capacidad de bioacumulación, lo que incrementa los riesgos de enfermedades respiratorias, cáncer y otros problemas de salud pública. Además, la presencia de partículas de óxidos de hierro menores a 10 micrones en el aire exacerba estos riesgos, destacando la necesidad de abordar esta problemática con urgencia.

Aspectos Económicos. Desde una perspectiva económica, la reutilización de la cascarilla de acero en la fabricación de electrodos puede reducir significativamente los costos de producción al disminuir la dependencia de materias primas importadas. La valorización de estos residuos no solo optimiza los recursos disponibles, sino que también mejora la rentabilidad y competitividad de las empresas en el mercado global. La teoría de la economía circular, que promueve la reutilización de recursos dentro del ciclo productivo, sustenta esta investigación al enfatizar la importancia de transformar los residuos en recursos valiosos.

Aspectos Técnicos. Técnicamente, la investigación se apoya en la necesidad de desarrollar e implementar tecnologías innovadoras para la gestión de residuos sólidos. La industria de fabricación de electrodos puede beneficiarse enormemente de la adopción de métodos avanzados de tratamiento y reciclaje de residuos, que no solo mitiguen los impactos

ambientales, sino que también mejoren la eficiencia y sostenibilidad del proceso productivo. La integración de tecnologías limpias y prácticas de gestión ambiental efectivas es crucial para asegurar el cumplimiento de normativas ambientales y la mejora continua de los procesos industriales.

Aspectos Normativos y Políticos. La legislación ambiental en Perú y en gran parte de Sudamérica presenta desafíos debido a su carácter genérico y a menudo ambiguo en la gestión de residuos sólidos. A diferencia de las estrictas normativas de la Comunidad Europea, las regulaciones en esta región permiten un cumplimiento mínimo, lo que limita la efectividad de las medidas de control ambiental. Esta investigación busca proporcionar una base sólida para la formulación de políticas más claras y efectivas que no solo protejan el medio ambiente, sino que también promuevan prácticas industriales sostenibles y responsables.

1.6. Limitaciones de la Investigación

Para el desarrollo de la presente investigación, se ha tomado los conceptos de Price y Murnan, establecido en su artículo “Research Limitations and the Necessity of Reporting Them” (Murnan, 2004).

- a. **Acceso:** El estudio utilizará la información desarrollada y autorizada por Nexsol SRL e Innóvate Perú, solo se encuentra limitada con aquella información que corresponde a formulaciones y detalles estratégicos de la empresa o aquellas que pueden ser sensible a los derechos de propiedad intelectual de esta organización que pudiera estar sujeto a patente en curso.
- b. **Efectos longitudinales:** El tiempo disponible propuesto inicialmente por la organización Nexsol-Innóvate Perú será de aprox. 30 a 36 meses para la culminación del proyecto debiéndose de completar con la etapa de investigación a nivel de laboratorio y piloto, alcanzado los objetivos se evaluará los resultados para su

segunda etapa de validación por un ente internacional de acuerdo a las bases del concurso de Innóvate Perú, Ministerio de la Producción y el PCM. Es recomendable que estas limitaciones queden expresadas en el informe de investigación o en un artículo científico que pudiera publicarse.

- c. **Tamaño de la muestra:** Sobre este punto encontramos diversas limitaciones debido a que la evaluación final del prototipo se requiere contar con soldadores debidamente registrados y clasificados de acuerdo a las reglas de American Welding Society (AWS) establecido en el norma cuyo código es AWS:D1.1, ciertamente en el Perú no se dispone de un banco de registro, ni escuela especializada en soldadura de acuerdo con la exigencias internacionales, lo que se ha podido tener es el acceso a la información proporcionado por la Municipalidad de Villa el Salvador donde existe un plano de ubicación perimétrico del distrito de los talleres donde se realiza este tipo de trabajos y se tomará como base una encuesta y visita in-situ a la zona en cuestión, ello será considerado representativos de los grupos de personas, objetos, procesos, etc., estudiados. Aunque, por supuesto, el tamaño de la muestra es relevante en la investigación cualitativa para validar el prototipo. Otros distritos consultados en la ciudad de Lima no cuentan con esta información o simplemente no existe.

1.6.1. Espacial

La investigación se llevará a cabo principalmente en la planta de trefilado de alambón ubicada en el distrito de Lurín, en la provincia de Lima, Perú. Este sitio específico ha sido seleccionado debido a su relevancia como una fuente significativa de generación de cascarilla de acero en la industria de fabricación de electrodos. La elección de esta planta se fundamenta en la necesidad de estudiar un entorno industrial real y representativo que enfrenta desafíos ambientales y económicos en la gestión de sus residuos sólidos. El enfoque espacial también

incluye las áreas circundantes a la planta, donde se analizarán los impactos ambientales y de salud pública derivados de la gestión inadecuada de la cascarilla de acero. Esto abarcará tanto los suelos y cuerpos de agua locales como la calidad del aire en la vecindad inmediata. Además, aunque la investigación se centrará en esta planta específica, se espera que los hallazgos y las recomendaciones sean aplicables a otras plantas de fabricación de electrodos en Perú y en la región sudamericana, ampliando así el alcance espacial de los resultados.

1.6.2. Temporal

La investigación está diseñada para desarrollarse en un periodo de 18 meses, a partir de enero de 2024 y hasta junio de 2025. Este marco temporal incluye varias fases clave: Fase de Recolección de Datos (6 meses): Enero a junio de 2018: Durante este período se recopilarán datos históricos y actuales sobre la producción de cascarilla de acero, los métodos de gestión de residuos existentes y los niveles de contaminación en la planta de Lurín y sus alrededores. Fase de Análisis y Desarrollo de Métodos (6 meses): Julio a diciembre de 2020: En esta etapa, se realizarán análisis detallados de los datos recolectados, así como el desarrollo y prueba de métodos para la reutilización de la cascarilla de acero en la fabricación de electrodos. Esto incluirá la implementación de tecnologías y prácticas innovadoras para el tratamiento de residuos. Fase de Implementación y Evaluación (6 meses): Enero a junio de 2023: Durante esta última fase, se implementarán las soluciones desarrolladas en la planta de Lurín y se evaluará su efectividad en la reducción de la contaminación y en la optimización económica. También se llevarán a cabo estudios de impacto ambiental y de salud pública para medir los beneficios de las nuevas prácticas.

1.6.3. Conflicto de intereses

El autor participa en esta presente investigación y su desarrollo de esta tesis de grado para optar el título de Maestro declaro no tener conflicto de interés con la empresa Nexsol e Innovate Peru.

1.7. Objetivos de la Investigación

1.7.1. Objetivo General

- Evaluar el impacto ambiental de la cascarilla del alambión de acero y su efecto en el desarrollo industrial de la planta de fabricación de electrodos en Lurín.

1.7.2. Objetivos Específicos

- Identificar y analizar las principales fuentes de contaminación ambiental generadas por la cascarilla de acero y otros residuos sólidos en la planta de fabricación de electrodos en Lurín.
- Evaluar cómo la gestión inadecuada de residuos sólidos afecta la salud pública y el medio ambiente en las inmediaciones de la planta de fabricación de electrodos en Lurín.
- Desarrollar y proponer tecnologías y prácticas de gestión ambiental para la reutilización de la cascarilla de acero en la producción de electrodos, reduciendo así su impacto ambiental.
- Determinar el impacto de la implementación de tecnologías y prácticas de gestión ambiental en la reducción de la contaminación y en el desarrollo industrial sostenible de la planta de fabricación de electrodos en Lurín.

Estos objetivos orientarán la investigación hacia una comprensión profunda del impacto ambiental y las oportunidades de mejora en la gestión de residuos sólidos en la planta de fabricación de electrodos en Lurín, promoviendo prácticas más sostenibles y eficientes.

1.8. Hipótesis

1.8.1. *Hipótesis Principal*

- La gestión adecuada y la reutilización de la cascarilla del alambón de acero mediante tecnologías y prácticas ambientales efectivas reducirá la contaminación al medio ambiente y mejorará el desarrollo industrial de la planta de fabricación de electrodos en Lurín.

1.8.2. *Hipótesis Secundarias*

- Las principales fuentes de contaminación ambiental en la planta de fabricación de electrodos en Lurín son la cascarilla de acero y otros residuos sólidos generados durante el proceso productivo.
- La gestión inadecuada de residuos sólidos en la planta de fabricación de electrodos en Lurín tiene un impacto negativo significativo en la salud pública y el medio ambiente de las áreas circundantes.
- La implementación de tecnologías y prácticas de gestión ambiental para la reutilización de la cascarilla de acero en la producción de electrodos reducirá significativamente la contaminación ambiental en la planta de Lurín.
- La adopción de tecnologías y prácticas de gestión ambiental mejorará el desarrollo industrial sostenible de la planta de fabricación de electrodos en Lurín, optimizando la eficiencia productiva y reduciendo los costos operativos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Base teórica

2.1.1. Aspectos Metalúrgicos

Como es sabido para el proceso de fabricación y transformación del acero, se requiere alcanzar temperaturas de fusión muy altas de aprox. 1560 °C, a esta temperatura el acero pasa a estado líquido que es afinado con ferroaleaciones que pueden contener elementos tales como Mn, Si, C, Ni, Cr, Mo, V, Cu, etc. que son ajustadas hasta obtener la composición química de acuerdo a la exigencia establecidas en la norma tales como: ASTM, AWS, DIN-EN, ASME, etc, donde la mayoría de las siderurgias o fundiciones han adoptado este tipo de proceso. Asimismo, de acuerdo a su uso, la norma establecerá los requisitos mínimos o máximos en las propiedades mecánicas requeridas y los aspectos físicos del producto final que deberán cumplir ya sea en forma de planchas, tubos, barras, alambres, barrilla de construcción, etc., durante el proceso de enfriamiento se forma las cascarillas de acero.

El óxido de hierro se produce durante el calentamiento previo de la palanquilla de acero hasta alcanzar aprox. 1,110°C, luego pasa por un tren de laminación de transformación hasta el enfriamiento de la superficie de acero a alcanzar una temperatura de aprox. 500°C formándose una capa protectora o una lámina muy delgada que lo protegerá de la oxidación del medio ambiente. Otros también lo definen como una capa muy fina y continua que formará una película protectora contra la corrosión por efecto del medio ambiente; si esta cascarilla fuera muy frágil la superficie de acero puede generar problemas al material de acero exponiéndolo a una corrosión catódica que lo descalificará para su comercialización los que luego deberá ser reprocesado. Para muchas siderúrgicas es prioritario que la superficie de acero este protegido con esta laminilla, por ejemplo: las varillas corrugadas de acero de construcción.

2.1.2. Cascarillas de laminación

La cascarilla de laminación ocurre con la presencia del oxígeno del medio ambiente que oxida el hierro que se produce en el calentamiento previo de la palanquilla o durante el enfriamiento de la superficie de acero formándose una capa protectora o una lámina muy delgada que lo protege de la oxidación del medio ambiente. Otros también lo definen como una capa muy fina y continua que formará una película protectora contra la corrosión; pero si se agrieta localmente, uno de los problemas que el material de acero puede estar expuesto a una corrosión catódica, todo ello tiene por objetivo proteger el producto final como, por ejemplo: las varillas corrugadas de acero.

2.1.3. El Hierro (el Acero) y su aplicación

Cuando se piensa desde cuando la humanidad tiene conocimiento del hierro, se remonta a la antigua ciudad de Ática en Grecia correspondiente al Neolítico, perteneciente al III milenio. A.C. El uso de este metal aparece en la edad del hierro en Ática, uno de los primeros hallazgos arqueológicos de interés en una sepultura descubierta en 1949 sobre el territorio de Atenas, que al parecer es de un artesano; donde fueron descubiertos cerca de diez objetos de hierro y una piedra de afilar. Ya en la época VII y VI A.C., de acuerdo a lo registros arqueológicos se pudo identificar varias minas de hierro que aparecieron en muchos lugares de Grecia. El cobre se extraía principalmente de Chipre, Eubea y la Argólida. Comenzó también una intensa extracción en otros yacimientos de estaño, Oro, plata y cobre, ello posibilitó la fabricación de herramientas duraderas y la fabricación de armamentos más resistentes (Struve, 1985).

El Perú del siglo XX no fue ajeno al uso del hierro, en 1940 el gobierno del presidente peruano Manuel Prado contrató a la firma H.A Brassert para que haga los estudios técnicos que determinarían la viabilidad de implementar una empresa siderúrgica en la costa peruana. Cita el autor Sintia Rojas en su investigación “Posteriormente, hubo otros estudios de validación

que revisaban la viabilidad de abastecimiento energético y de materias primas. Con ello, en los primeros años de la década de 1950 se adquirieron de Noruega los primeros hornos eléctricos de nuestro país (aunque tenían una capacidad pequeña). Pero no fue hasta el año 1958 que se inauguró la primera planta siderúrgica del país con las operaciones de planta de hierro, aceración y laminación” (V, 2022). En los años siguientes, se crea la empresa siderúrgica de capitales peruanos llamado Aceros Arequipa. En 1960, se funda con capitales privados extranjeros creando la compañía peruana de electrodos Oerlikon SA para la producción de electrodos y otros consumibles de soldadura en general. En el año 1964, se importa la primera línea de producción de electrodos revestidos mediante la importación de la primera prensa extrusora de electrodos modelo EP-10 fabricado por Oerlikon Welding de Alemania, la misma que permitió obtener electrodos que cumplen con la normativa de la American Welding Society (AWS) y Deutsches Institut für Normung (DIN).

2.1.4. Residuo sólido

Para entender la problemática, se puede citar en “La jornada, que se celebró por primera vez, busca crear conciencia sobre la contaminación desmedida que la actividad humana provoca en detrimento de la salud y el medio ambiente. “Estamos destrozando nuestro único hogar”, afirmando que la mejor gestión y el reciclaje de basura es responsabilidad de la industria, los gobiernos y la sociedad civil y advierte que “la humanidad está tratando a nuestro planeta como un basurero, estamos destrozando nuestro único hogar”, Secretario General de las Naciones Unidas en un evento de la Asamblea General ONU en el día internacional cero desechos la ONU aboga por el hacia una economía circular (Unidas, 2023).

Esta afirmación se corrobora con las cifras publicadas por el Banco Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) que revelan que el mundo genera 2,000 millones de toneladas de desechos sólidos urbanos cada año, el 45% de los cuales no se gestiona adecuadamente”. Cita el autor Ant3nio Guti3rrez publicado por la

ONU el 30 marzo 2023 (Unidas, 2023). Por otro lado, la propuesta del estudio es que se adopte el concepto de una economía circular en el manejo de los residuos sólidos en la industria Siderúrgica y en la Planta de electrodos.

Cita el autor Andersen, directora ejecutiva del PNUMA, “destacó también con el estado de desarrollo de la ciencia y la tecnología e instó a las demás naciones del mundo a aplicarlo con una gestión adecuada de la basura. Tenemos el conocimiento tanto científico como para encontrar soluciones, contamos con los conocimientos técnicos. Debemos actuar ahora”. (Antonio Gutierrez, 2023).

2.1.5. Aspectos termodinámicos a altas temperaturas

2.1.5.1. Mecanismo de formación según la ley de Fick's

El metal acero líquido es vaciado y colado en un proceso continuo en barras forma de barras cuadradas y pasa por varios procesos de enfriamiento rápido durante el proceso de enfriamiento y a la presencia del oxígeno empieza la formación de la cascarilla, este fenómeno es llamado ley de Fick's. En 1855, A. Fick formuló sus dos leyes de difusión para el tipo más simple de sistema de difusión: un sistema binario a temperatura y presión constantes, con movimiento neto de átomos en una sola dirección. Esta es la situación habitual para la difusión a través de un óxido que crece sobre un metal puro, esta ley establece que la velocidad de transferencia de masa es proporcional al gradiente de concentración:

$$J = -D \left(\frac{\partial C_i}{\partial x} \right) \dots\dots\dots (\text{Ecu. 1})$$

Donde J: Flujo en $\text{mol} / (\text{m}^2 \text{ s})$, D: Coeficiente de difusión en m^2 / s , $\frac{\partial C}{\partial x}$: gradiente de concentración

El autor cita, “Para la difusión del oxígeno dentro del metal, la concentración de oxígeno cambia con el tiempo”; la segunda ley de Fick describe este funcionamiento como:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad \dots\dots\dots \text{(Ecu. 2)}$$

De la ecuación anterior, se debe resolverse considerando la geometría particular y las condiciones de contorno involucradas (para nuestro caso las muestras son planas y redondas, etc.). se debe considerar que los átomos de oxígeno que se difunden hacia adentro partiendo de una superficie plana, con una difusividad y una concentración interfacial constante, la solución a la ecuación anterior para la concentración de oxígeno a cualquier distancia x de la superficie del metal es la siguiente:

$$\left(\frac{C_M - C_x}{C_M - C_o} \right) = \text{Err} \left(\frac{x}{\sqrt{D t}} \right) \quad \dots\dots\dots \text{(Ecu. 3)}$$

donde: C_M : Concentración de oxígeno en la interfase metal/óxido. C_x : Concentración a un tiempo, t : tiempo, D : Coeficiente de difusión independiente de la composición química, x : espesor a una distancia "x". C_o : Concentración inicial a cualquier distancia "x" para $t = 0$

El coeficiente de difusión es afectado considerablemente por la temperatura T , ya que D se incrementa exponencialmente de acuerdo con la Ecuación de Arrhenius:

$$D = D_o \exp \frac{-Q}{RT} \quad \dots\dots\dots \text{(Ecu. 4)}$$

donde: D_o : Factor de frecuencia, Q : Energía de activación para la difusión, R : Constante de los gases, T : Temperatura absoluta.

Donde Altos valores de "Q" significan que el proceso de difusión ocurrirá más rápido, en la Tabla 1 se muestran los principales factores de frecuencia "Do" así como las energías de activación para la difusión del oxígeno y del hierro. (ASME Metal, 1987).

Tabla 1.
Temperatura de difusión del óxido de hierro

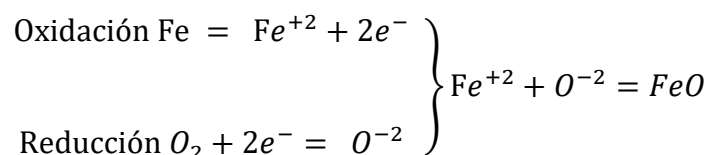
Óxido Metálicos	Temperatura (°C)	Do (cm ² s ⁻¹)	Activation energy for diffusion	
			Q (KJ mol ⁻¹)	BTU/mol
O2 en Fe2O3	1150 - 1250	10 ¹¹	611	577
Fe en Fe3O4	750 - 1000	5.2	230	218
Fe en FeO	690 - 1010	0.014	126.4	120

Fuente: Lo valores Do y Q son datos de difusión seleccionados en óxidos metálicos (ASME Metal, 1987)

2.1.5.2. Mecanismos de oxidación

La formación de la cascarilla de óxido de hierro está compuesta por una película fina de óxido, esta película es del tipo Fe_2O_3 sobre la superficie del alambre como una capa protectora al medio ambiente, sabemos que esa capa llamada cascarilla está conformada por otros óxidos presentes en diferentes grados como: $FeO_{(S)} + Fe^0_{(M)} + Fe_2O_3_{(S)}$.

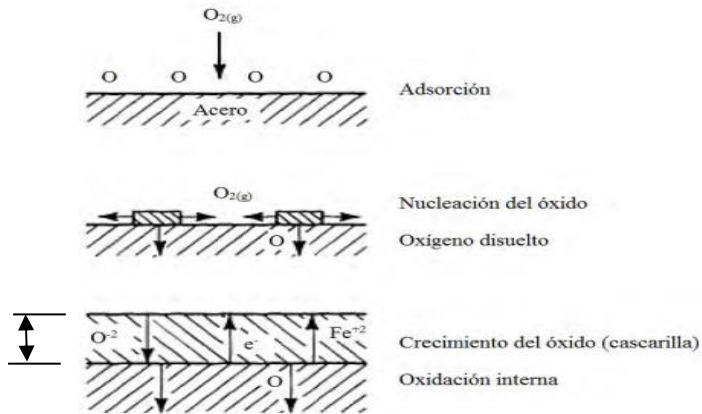
Las reacciones de oxidación siguen produciéndose en la superficie de acero como sigue:



Los iones metálicos de hierro se forman por la interfase metal/óxido y el oxígeno reduce en la interfase óxido/gas, generando óxido de hierro o wustita (FeO), ciertamente este proceso no es estático y el proceso de oxidación continua hasta llegar a la etapa de la formación de los óxidos de hematita (Fe_2O_3) y el proceso de oxidación continuara hasta la formación de óxidos del tipo magnetita (Fe_3O_4). (Cuellar, 2005). La hematita con el factor tiempo y medio ambiente sufren reacciones del tipo redox, lo que significa que puede dar y aceptar electrones. Se puede reducir a la forma magnetita (Fe_3O_4) o hierro metálico en presencia de agentes reductores característico del color amarillo.

Figura 1.

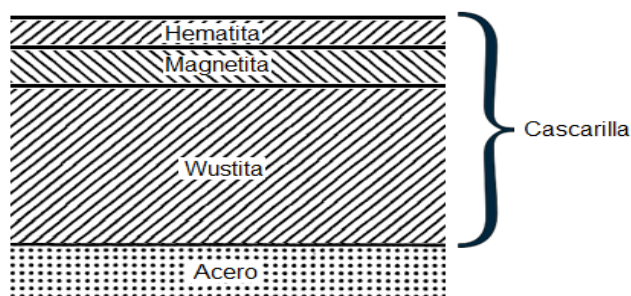
Proceso de formación de la capa oxido durante la solidificación en la fase acero/oxígeno



Fuente: (Schwerdtfeger,1998)

Figura 2.

Esquema final de Cascarilla sobre la superficie de acero



Fuente: (Schwerdtfeger,1998)

Figura 3.

(a) Mineral hematita Fe_2O_3 , (b) Cascarilla de oxido hierro, aumento 50 X



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.

Aumentó 10X, superficie oxidada con presencia de óxidos de magnetita de color amarillo y color azulado cascarilla de acero



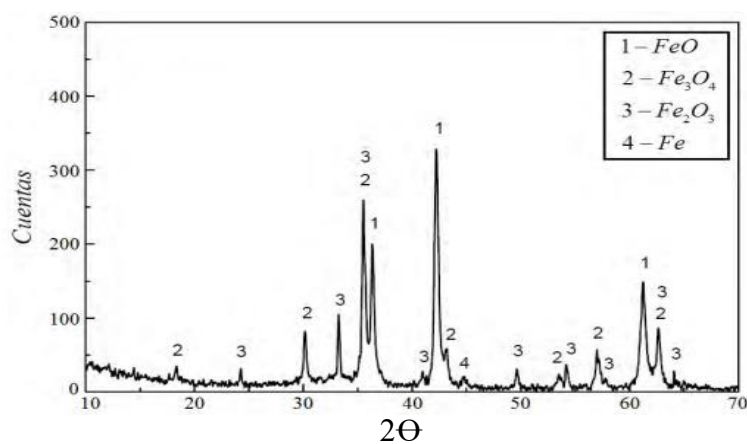
Fuente: Elaboración propia

2.1.5.3. Identificación de los óxidos

Dependiendo del tipo de aleación de acero que se fabrique y proceso para su transformación que se utilice en las acerías o fundiciones durante el proceso de solidificación del material, siempre se observa la formación de la capa de óxido, esta capa se forma debajo de la zona de la fase líquida del material.

Figura 5.

Análisis del espectro por difracción en la cascarilla de acero



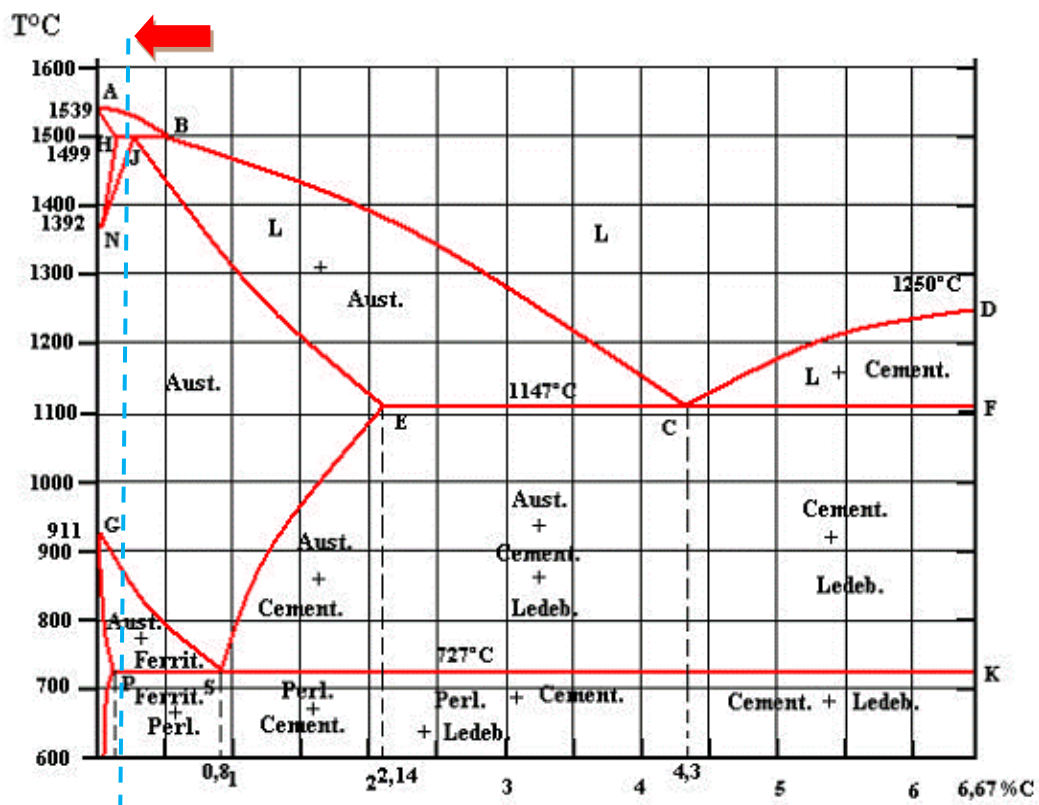
Fuente: Tomado de Schwerdtfeger (1998)

En el estudio para la fabricación de alambrones de acero, la composición química está agrupada por dos tipos de materiales clasificados como alambrones de aceros del tipo ASTM del tipo SAE 1006 y SAE 1008 de bajo carbono indicado, esto observa en el diagrama de Fe-C y se representa en una línea Azul en la Figura 6.

Para un mejor entendimiento, se efectuó un análisis cualitativo de la superficie del alambre de acero, en la Figura 5 y se observa un análisis del espectro por difracción con un ángulo de 2θ identificando 3 tipos de óxidos de hierro.

Figura 6.

Diagrama Fe- C, para aceros de bajo y alto carbono, para los alambres usados en la fabricación de electrodos clasificado como SAE1006/SAE1008 línea celeste



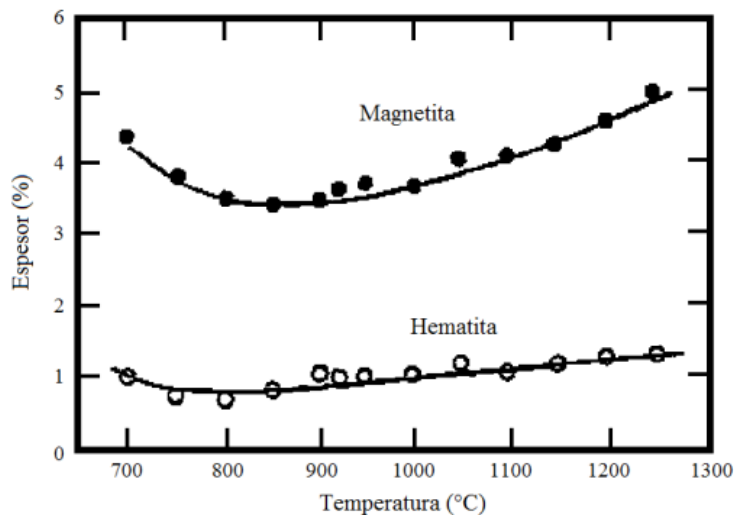
Fuente: Tomado de Davis (1997)

El acero se fabrica empleando un horno de arco eléctrico, el acero en su estado líquido se ubica a una temperaturas de aproximadamente 1560°C de acuerdo con el diagrama Fe-C, a

partir de una temperatura de 1400 °C se inicia la formación de esta capa de óxido hasta su solidificación completa que deberá completar hasta alcanzar la temperatura de aprox. entre 700 a 800 °C, el óxido predominante será el llamado hematita (Fe_2O_3) con alrededor del 95% en peso, seguido por la magnetita con un 4% y el resto de elementos alcanzaran un valor aprox. de 1% de wustita. En la Figura 7, se observan los valores experimentales propuesto por Paidassi.

Figura 7.

Porcentaje de espesores de óxido en forma de hematita y magnetita a diferentes temperaturas



Fuente: Tomado de Paidassi (1957)

De acuerdo con la información bibliográfica, la clasificación de las hematita o hematites es un compuesto mineral de óxido férrico, cuya fórmula es Fe_2O_3 y se constituye como una importante mena de hierro ya que en estado puro el contenido de hierro un aprox. de 65 % de este metal. A veces, posee trazas de otros elementos que lo acompañan como titanio (Ti), aluminio (Al), manganeso (Mn), cromo (Cr), cobre (Cu), silicio (Si), boro (B) y agua (H_2O).

También, se puede obtener la hematita durante la etapa de enfriamiento del acero, esta capa en contacto con el oxígeno se forma como costra en la capa más externa de las superficies

del metal en forma de óxido y es la fase menos rica en hierro (65%), este óxido siendo estable a temperatura ambiente, pero requiere mayor concentración de oxígeno que la magnetita. El mecanismo de difusión de la hematita se realiza por la migración de los iones O^{2-} en contacto con los iones Fe^{+2} reacciona y forman un óxido en la cara interna y permanecen inmóviles.

La magnetita también llamada óxido ferroso-diférrico (Fe_3O_4) es una fase intermedia del óxido, conteniendo teóricamente un aproximado de 72% de hierro. Este óxido es estable aproximadamente a una temperatura ambiente y es el principal constituyente de la cascarilla a $500^\circ C$. Durante su crecimiento, tanto los iones Fe^{+2} como los iones O^{2-} se difunden a través de la capa de óxido, (Cabrera, 1949) y (NHM, 1993.).

Tabla 2.

Propiedades termo-físicas de los óxido hierro

Propiedad	Magnetita	Hematita
Densidad (g/cm)	5.18	5.25
Esfuerzo de tensión (Mpa)	4.00	1.00
Dureza (HV)	420 - 500	1000 – 1100
Conductividad térmica (W / m.K)	0.5 – 3.5	0.5 - 3.5
Densidad térmica (m^2/s)	$0.2 - 3.0 \times 10^6$	$0.2 - 3.0 \times 10^6$
Calor específico (J / mol K)	200	150

Fuente: Tomado por Cabrera (1949) y NHM (1993)

2.1.5.4. Termodinámica en la formación de la fase óxido de composición variable.

Sabiendo la composición de los elementos a una temperatura T se puede establecer la energía libre de Gibbs molar de la mezcla para el sistema metal-oxígeno donde se produce una solubilidad mensurable del oxígeno en el M(metálico) y los óxidos MO y M_3O_4 se obtienen composiciones variables. Los compuestos con composiciones no estequiométricas a veces se denominan Berthollides, según Claude Louis Berthollet (1748–1822). Comenzando con M

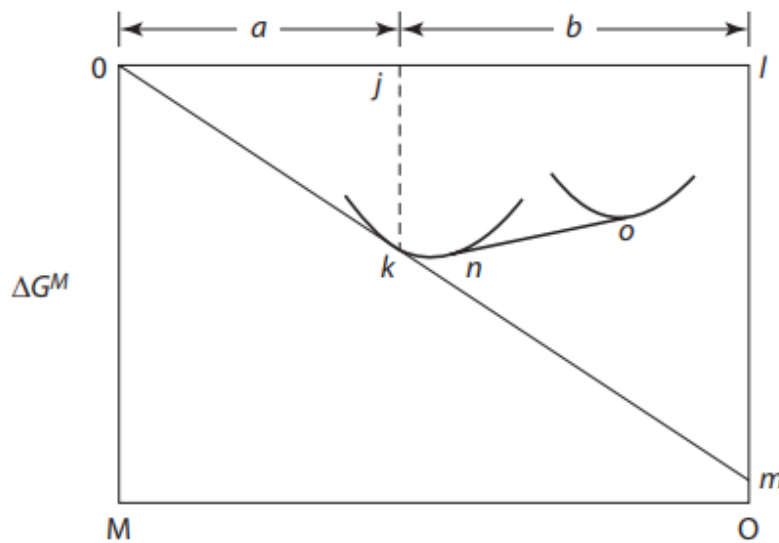
puro, los aumentos en la presión de oxígeno hacen que la energía libre de mezcla de Gibbs molar se mueva desde f_0 a lo largo de la línea f_1 hasta que, en $p_{O_2} = p_{O_2(M/MO)}$, el metal se satura con oxígeno. Apareciendo la fase MO de la composición M_bM_a . Si se eligen como estados estándar el metal puro M y el oxígeno gaseoso a 1 atm de presión y temperatura T, entonces, si se elige como estado estándar el óxido saturado de metal, es idéntico a la expresión siguiente:

$$\Delta G^\circ \left(\frac{\text{metal}}{\text{saturado}} MO \right) = jk = RT(b \ln a_M + a \ln \rho_{O_2}^{\frac{1}{2}}) \dots\dots (Ecu. 5)$$

$$= RT \ln a_M^b \rho_{O_2}^{\frac{1}{2a}} \dots\dots\dots (Ecu. 6)$$

Figura 8.

Gráfico que explica las energías libres de Gibbs de mezcla en el sistema M–O

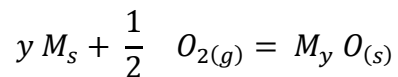


Fuente: Tomado de Gleick (1993)

El proceso que forma fases de óxido con una composición variable y que muestra una solubilidad significativa del oxígeno en M metálico. (Gleick, 1993). De la Figura 8, se concluye la siguiente fórmula:

$$lm = RT \ln \rho_{O_2(M/MO)}$$

Se define la reacción de la siguiente manera:



Si “M” es puro con un oxígeno gaseoso a 1 atm de presión y temperatura T, el óxido de composición MyO como lo dan los estados estándar, para la oxidación.

$$\Delta G^\circ = RT \ln \rho_{O_2}^{\frac{1}{2a}} \left(\frac{M}{MO} \right) \quad \dots\dots\dots \text{(Ecu. 7)}$$

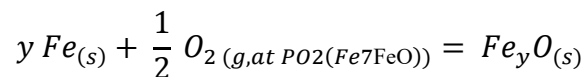
Donde $\rho_{O_2}(M/MO)$, es la presión de oxígeno necesaria para el equilibrio entre los metales M y el óxido saturado de metal MO, dado por $lm = RT \ln \rho_{O_2} \left(\frac{M}{MO} \right)$, Si la presión de oxígeno aumenta a un valor mayor que $\rho_{O_2}(M/MO)$, la fase metálica desaparece, el contenido de oxígeno de la fase MO aumenta, la energía libre de Gibbs molar de mezcla del sistema se mueve a lo largo de la línea kn y las actividades de M y MO varían en consecuencia. En una investigación clásica citado por el autor Darken y Gurry determinaron que “las relaciones de fase que ocurren en el sistema Fe-O variando la presión y temperatura del oxígeno se observan los cambios en la fase y la composición que puede estar presente en dicha fase. Su diagrama, dibujado para los componentes FeO y Fe₂O₃, se muestra en la Figura 8. Considérese que el campo de la fase de wustita FeO a una temperatura a 1100° C, se extiende desde la composición ubicado en el punto m hasta la composición n”. La variación de a_{Fe} en la fase de Wustita se puede calcular a partir de la variación determinada experimentalmente de la composición de wustita con la presión de oxígeno usando la ecuación de Gibbs-Duhem (Gurry D. L., 1945-1946) y (Gaskell, 2003).

$$X_{Fe} d \ln a_{Fe} + X_0 d \ln a_0 = 0 \quad \dots\dots\dots \text{(Ecu. 8)}$$

Entonces integrando

$$\log a_{Fe} = - \int \frac{X_o}{X_{Fe}} d \log a_0 = - \int \frac{X_o}{X_{Fe}} d \log P O_2^{1/2} \dots\dots\dots (\text{Ecu. 9})$$

Se sabe por teoría que, la fusión de los aceros se encuentra a una temperatura aproximada de 1560°C y que un aumento de temperatura por encima de 1635°C provoca la desaparición de la fase de óxido y una disminución del contenido de oxígeno disuelto del hierro líquido, así mismo los autores L. S. Darken and R. W. Gurry citan, “ que el límite superior de la integración es la presión de oxígeno en equilibrio con la composición de Wustita de interés, y el límite inferior es $PO_{2(Fe/FeO)}$ (la presión de oxígeno a la que la Wustita de composición m se encuentra en equilibrio con la Wustita saturada de oxígeno y hierro metálico), cuya composición de $a_{Fe} = 1$. Una vez determinadas así las variaciones de a_{Fe} con la composición, las variaciones correspondientes de un a_{FeO} se determinan de la siguiente manera. Si se selecciona el estado estándar para el gas oxígeno como $PO_{2(Fe/FeO)}$ a la temperatura de interés, entonces las reacciones resultantes serán dadas por la siguiente reacción. (Gurry L. D., 1946)”. Tomando como referencia:



Se puede establecer las siguientes reacciones químicas que puede ocurrir durante el enfriamiento de la capa de oxido estableciendo los siguientes cambios de estados mineralógicos que se formarán:

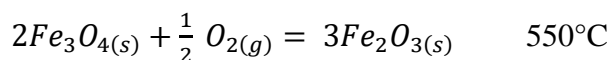
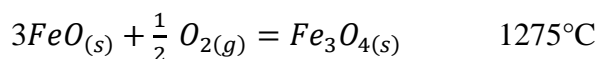
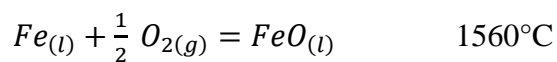
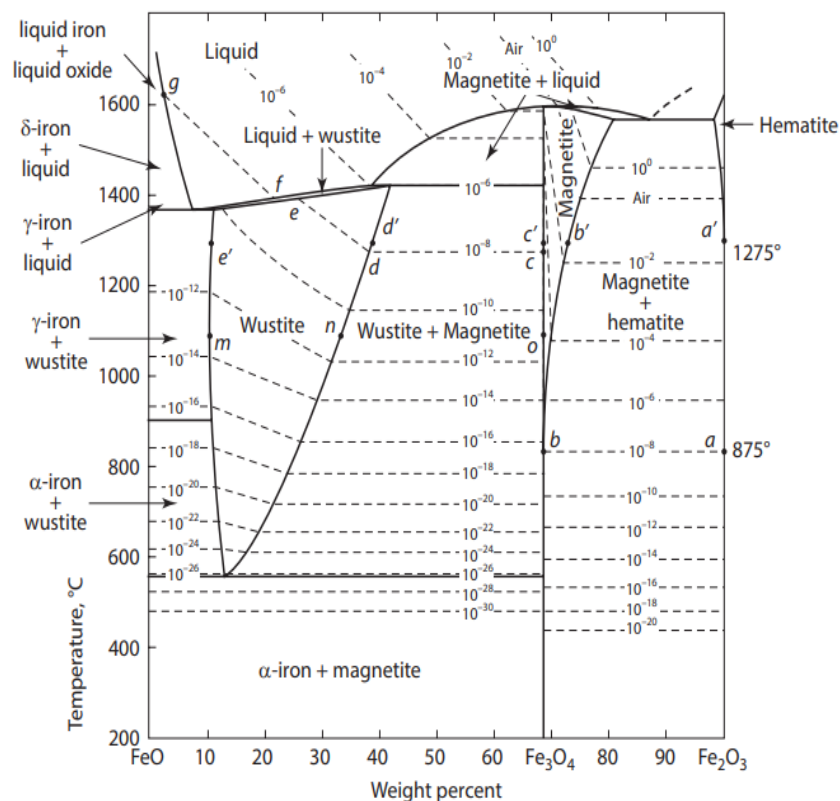


Figura 9.

Diagrama de fases del sistema FeO-Fe₂O₃ que muestra las posiciones de las isóbaras de oxígeno (Patm), wustita (FeO), hematita (Fe₂O₃) y magnetita (Fe₃O₄)



Fuente: Tomado de Gurry D. L. (1945)

2.1.6. Marco conceptual de la Calidad

2.1.6.1. Percepción de La calidad

Uno de los retos que se había establecido como principal objetivo durante el desarrollo del proyecto era reciclar la cascarilla de acero en la planta de electrodos e incorporarlo en el revestimiento del electrodo, pero además debería cumplir con las exigencias de soldeo y de la norma AWS; y así como también, que el cliente o usuario finales identificado como “soldador” no debiera percibir ningún cambio o perciba alguna mejora significativa frente al producto que habitualmente usa.

Durante la entrevista con el fabricante de electrodos, se le preguntó que nos establezca los criterios de la calidad que él tiene, y definió la calidad con la palabra “percepción” de su

cliente final; para poder comprender el término de percepción, se realizó una entrevista a los soldadores en la zona de Yerbateros en el distritos de la Victoria y Villa el Salvador; en todos los casos, los entrevistados, los soldadores respondieron mayoritariamente que “la percepción la definían en base a su relación con su experiencia y que ellos podían diferenciar entre un producto bueno o malo”. En las respuestas no se pudo cuantificar este resultado y ello creó una gran interrogante, ¿cómo estos soladores podían tener la capacidad de definir entre un producto bueno y un producto malo? cuando la mayoría de estas personas tenían instrucción primaria o secundaria, no asistieron a ninguna escuela especializada en soldadura como lo establece la norma Americana o DIN u otra escuela especializadas en soldadura salvo que esta experiencia fue adquirida o transmitida por un familiar cercano a ellos, ¿cómo una empresa Licenciada por la marca Oerlikon de origen alemán que cumplía con los estándares internacionales y cumplía con todas las certificaciones ASTM, ASME, ABS, DIN, AWS, BS, y GL los representantes locales no tenían definido la calidad? y ¿cómo estos soldadores podían definir la calidad o diferenciar entre uno producto bueno y otro malo, ya que para el desarrollo de esta investigación se estaba contratando un soldador certificado por AWS?

Para poder comprender claramente el concepto de calidad, se revisó la bibliografía para tener claro cómo abordar este término de “percepción”. Durante el desarrollo de la investigación y en un nivel algo pragmático, se encontró que David Garvin de Harvard Business School (Garvin D. , 1984), sugiere que “la calidad es un concepto complejo y de facetas múltiples” que puede describirse desde varios puntos de vista. Desde un punto de vista trascendental cita el autor Persig (DeMarco, 1988) “que la calidad es algo que se reconoce de inmediato, pero que no es posible definir explícitamente. El punto de vista del usuario concibe la calidad en términos de las metas específicas del usuario final. Si un producto las satisface, tiene calidad. El punto de vista del fabricante la define en términos de las especificaciones originales del producto. Si éste las cumple, tiene calidad”. Se consideró desde el punto de vista

del producto que sugiere que la calidad tiene que relación con las características inherentes (funciones y características) de un producto. Entonces, se consideró desde el punto de vista basado en el valor que el fabricante de soldaduras que lo mide de acuerdo con lo que un cliente necesita y está dispuesto a pagar por un producto. Aunque muchas de las terminología y metodologías toman como base el diseño de software, para este proyecto se acopla en el modelo de requerimientos. Por ende, la calidad de la conformidad se centra en el grado en el uso del producto reciclado e implementado se apega al diseño y en el que el sistema resultante cumple sus metas de requerimientos y desempeño esperado por el cliente final.

Se intuye que las afirmaciones de Robert Glass y esta relación se podría medir como:

$$\textit{Satisfacion del Usuario} = \textit{Producto que funciona} + \textit{Buena calidad}$$

En última instancia, cita Glass al sostener “que la calidad es importante, pero si el usuario no está satisfecho, nada de lo demás importa”. Así mismo este concepto DeMarco (DeMarco, 1988) refuerza esta opinión al decir que “la calidad de un producto está en función de cuánto cambia al mundo para bien”. Este punto de vista de la calidad nos afirma que, si un producto puede beneficiar a muchos usuarios finales, éstos se mostrarán dispuestos a tolerar los problemas ocasionales de confiabilidad o desempeño del producto final que podamos proponer, (Glass, mayo 1998).

2.1.6.2. Dimensiones de la calidad de Garvin

Con las premisas antes mencionadas por David Garvin 198, que sugiere que la calidad debe tomarse en cuenta adoptando un punto de vista multidisciplinario que comience con la evaluación de la conformidad y termine con una visión trascendental (estética) el cual permitió definirlo de la siguiente manera o los 8 pasos de Gavin (Garvin D. , Competing on the Eight Dimensions of Quality: Harvard Business Review, 1987):

- a) **Actuación:** lo definiremos con el siguiente ejemplo: Algunos usuarios de cosméticos juzgan la calidad según la resistencia del producto a las manchas; otros, con una piel más sensible, la evalúan por lo bien que deja la piel libre de irritaciones.
- b) **Características:** características implican los atributos objetivos y mensurables que no se conviertan en diferencias de calidad.
- c) **Fiabilidad:** los consumidores de otros mercados (soldaduras) también están más atentos que nunca a la fiabilidad de los productos no los afecte.
- d) **Conformidad:** el fabricante que requiere que todos los productos y servicios incluyan algún tipo de especificaciones. Cuando se desarrollan los nuevos diseños o modelos, este deberá de cumplir con los estándares medio ambientales y norma americana de soldadura AWS.
- e) **Durabilidad:** Técnicamente, la durabilidad lo definimos como la cantidad de uso que involucre al sector industrial donde se aplique sin afectar a otros sectores industriales que deteriore su capacidad de venta o presencia en el mercado.
- f) **Capacidad de servicio:** En los casos en que los problemas no se resuelvan de inmediato y se presenten quejas, era probable que los procedimientos de gestión de quejas hacia la empresa también afecten la evaluación final de los clientes sobre la calidad de los productos y servicios.
- g) **Estética:** preferencias individuales establecido por los soldadores.
- h) **Calidad percibida:** Los consumidores no siempre tienen información completa sobre los atributos de un producto, y en nuestro caso era percepción de soldador

Ciertamente para la empresa Nexsol, responsable del proyecto de la investigación, la incorporación del uso de la cascarilla de acero en los revestimientos de electrodos representa todo un reto, se estableció como requisito que los soldadores o usuarios finales del sector cerrajero acepte el producto considerado como un tema crítico acostumbrados con su producto

(electrodos celulósicos estándar) por más de 50 años donde se acuño el término, siendo como prioridad básica que el desarrollo deberá cumplir con los requerimientos estándares de ISO 9001/ISO 14001 y la norma América de Soldadura (AWS) ASME-SFA5.1.

2.1.6.3.Sistema ISO 9000 / ISO 140000

La Organización Internacional de Normalización (ISO) define: "La Norma Internacional propone un sistema de gestión de la calidad (SGC) bien definido, basado en un marco de referencia que integra conceptos, principios, procesos y recursos fundamentales establecidos relativos a la calidad para ayudar a las organizaciones a hacer realidad sus objetivos. Es aplicable a todas las organizaciones, independientemente de su tamaño, complejidad o modelo de negocio. Su objetivo es incrementar la consciencia de la organización sobre sus tareas y su compromiso para satisfacer las necesidades y las expectativas de sus clientes y sus partes interesadas y lograr la satisfacción con sus productos y servicios" (ISO, 2015).

Tabla 3. Sistema de Gestión ISO 9001-ISO 14000

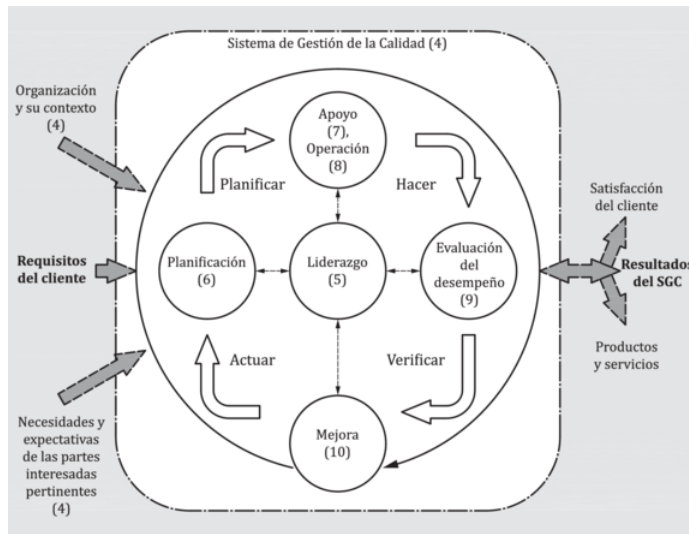
ISO 9001	ISO 14001
<ul style="list-style-type: none"> • Planificación estratégica. Es el punto de partida para implementar la ISO 9001 • Empoderamiento de los dueños del proceso. • Liderazgo y compromiso para adoptar la ISO 9001:2015. • La determinación de riesgos como ruta crítica. • Incorporar buenas prácticas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Compromiso de todos los niveles de gestión y funciones de la organización. • La implicación de la alta dirección. • Las oportunidades para prevenir o mitigar los impactos adversos.

Fuente: Obtenido de ISO (International Organization for Standardization)

A continuación, se presentan los diagramas ISO 9001/ ISO14001 pertenecientes a la Organización Internacional de Normalización (ISO) para su mejor comprensión.

Figura 10.

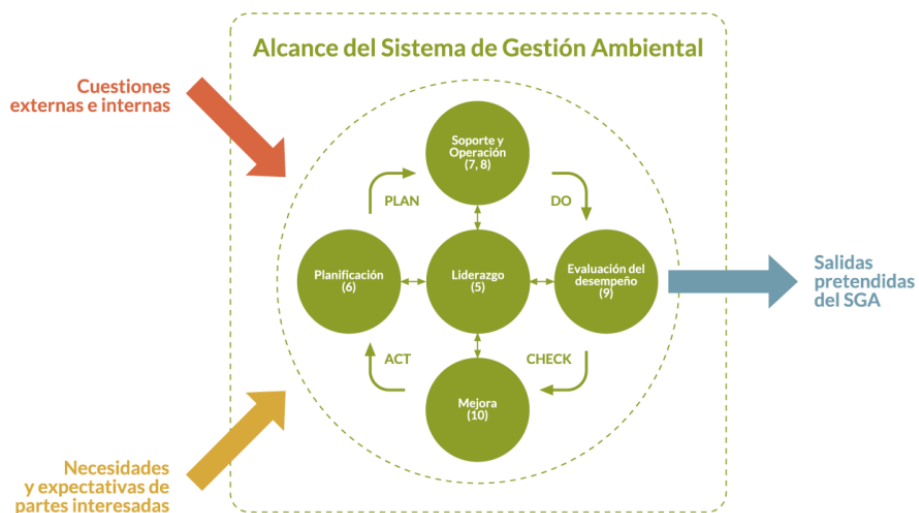
Diagrama del sistema de gestión ISO 9001



Fuente: Obtenido de Heinke (1996) e ISO (2015)

Figura 11.

Diagrama del Sistema de Gestión ISO 14001



Fuente: Obtenido de ISO (2015) y Heinke (1996)

El **ciclo PHVA** (planificas, **h**acer, **v**erificar, **a**ctuar) se describe brevemente como sigue: ISO9001 (negro) y ISO14001 (verde):

- a) **Planificar:** Establecer los objetivos del sistema y sus procesos, y los recursos necesarios para generar y proporcionar resultados de acuerdo con los requisitos del cliente y las políticas de la organización. (Establecer todos los objetivos ambientales y los procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con la política ambiental de la empresa)
- b) **Hacer:** Implementar lo planificado. (Implementar en los procesos como se encontraba prevista.).
- c) **Verificar:** Realizar el seguimiento y (cuando sea aplicable) la medición de los procesos y los productos y servicios resultantes respecto a las políticas, los objetivos, los requisitos y las actividades planificadas, e informar sobre los resultados. (Establece procesos de seguimiento y medir la política ambiental, incluyendo los compromisos, los objetivos ambientales y los criterios de operación);
- d) **Actuar:** Tomar acciones para mejorar el desempeño, cuando sea necesario. (establecer decisiones para mejorar de forma continua.)

2.1.6.4. Método Cascada para el manejo de Residuos solidos

En el año de 1970, el ingeniero Winston W. Royce propone una metodología la cual pretendía dar seguimiento al desarrollo de un software; sin embargo, la idea era detectar los posibles errores que se presentaban en el diseño, dicho de una manera más científica es citado por Pickin y García (2015) “La disciplina tecnológica y de gestión que concierne a la producción y el mantenimiento sistemático de productos software desarrollados y modificados dentro de unos plazos estipulados y costes estimados” (Bucanac, 1999; Roos, 1996).

El modelo de la cascada, a veces llamado ciclo de vida clásico, sugiere un enfoque sistemático y secuencial para el propósito de la presente investigación se adecúa para el manejo de la cascarilla de acero, tomando el concepto W. Royce se comienza con la especificación de

los requerimientos por parte del cliente y avanza a través de planeación, modelado, construcción y despliegue para concluir con el apoyo del producto terminado (Pressman, 1995).

El término “uso en cascada (de biomasa)” se utiliza en diversas publicaciones, pero también ha generado un debates públicos y documentos de estrategia. En la actualidad, el concepto cascado se utiliza de diferentes maneras. De acuerdo a la literatura existente, lo identifican de diferente, pero tienen el mismo concepto o principio de recircular un residuo como:

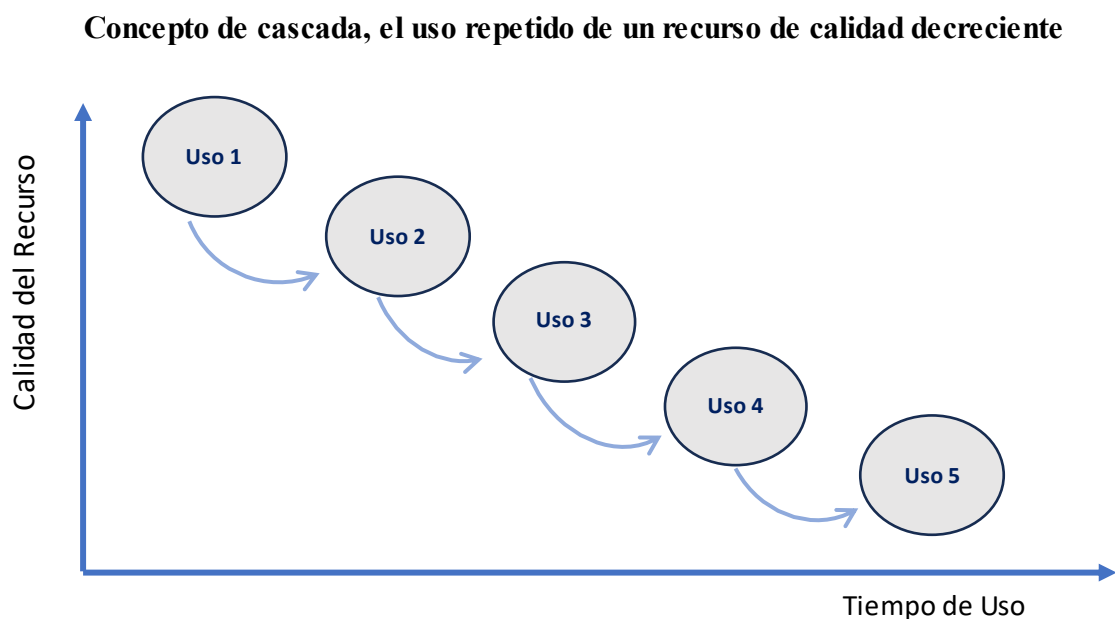
- “sistemas de biomasa multifuncionales”.
- “cascada nawaro”
- “uso múltiple”
- “economía circular”
- “uso de múltiples productos”
- “ciclo de vida clásico”, etc. (Sirkin, 1994)

El reciclaje de materiales puede decirse como el reciclaje de productos y materiales posteriores, es muy utilizado por la agencia Econcept desde el 2007 en Alemania lo describe bajo la palabra clave "uso en cascada" con el siguiente ejemplo dado (Arnold, 2009) que cita la autora Katrin Bienge: “Al principio, el fabricante puede recuperar una estantería de alta calidad si el propietario original ya no la quiere. Se puede reformular y revender como nuevo. Luego, el segundo usuario puede venderlo en el mercado de bienes usados después de su uso. El tercer usuario podrá utilizarlo en su salón durante un tiempo y luego cederlo a sus hijos, quienes lo utilizarán en su piso de estudiantes. De ahí pasa al siguiente inquilino, que todavía lo utiliza como estantería del sótano. Luego termina en los residuos voluminosos y la empresa lo reprocesa y lo descompone en partes individuales y lo recicla o lo quema parcialmente” (p. 15-17)

Como se puede observar con el ejemplo descrito, las palabras subrayadas emplean términos como: reformar, revender, otro lo puede utilizar, lo descompone en piezas y lo recicla que al final lo utiliza en forma de una cascada. El concepto de cascada de recursos puede compararse con un río que fluye sobre una secuencia de caídas, como se muestra en la Figura 12. El agua cae de un nivel a otro hasta que alcanza el nivel más bajo de la cascada, pero debo destacar que otros autores lo definen “Su nombre mantiene una doble analogía, ya que al igual que cae el agua en una cascada, avanzar en un desarrollo a través de los escalones que representan las etapas del modelo es fácil y muy rápido, por el contrario, cuando hay que corregir algo, es muy costoso ascender contra de la corriente” (D’Onofrio, 2010).

Figura 12.

Diagrama del Método Cascada



Fuente: Obtenido de Gibernau (2005)

Para el estudio, se consideran dos posibilidades de uso del residuo “Cascarilla”, pero se debe destacar que una variable crítica será el tiempo: Utilización como subproductos y/o en

forma conjunto con otras materias primas. Utilizados en otras actividades industriales separadamente.

Se considero que el concepto de cascada como un río que fluye sobre una secuencia de caídas, como se muestra en la Figura 13. Podemos considerar que el agua cae de un nivel a otro hasta que alcanza el nivel más bajo de la cascada. La transferencia del concepto de cascada de una caída de agua al uso de un recurso. Se produce un uso repetido que va decreciendo en el tiempo el recurso.

Por tanto, el principio de uso en cascada de Nawaro se define como el uso secuencial de materias primas biogénicas para aplicaciones materiales y energéticas, la definición utilizada en el presente estudio se basa en la tesis Doctoral de Dornburg V. (Dornburg, 2004).

Figura 13.

Cascada un camino hacia el equilibrio



Fuente: Tomado de la imagen de Skoeber (1994)

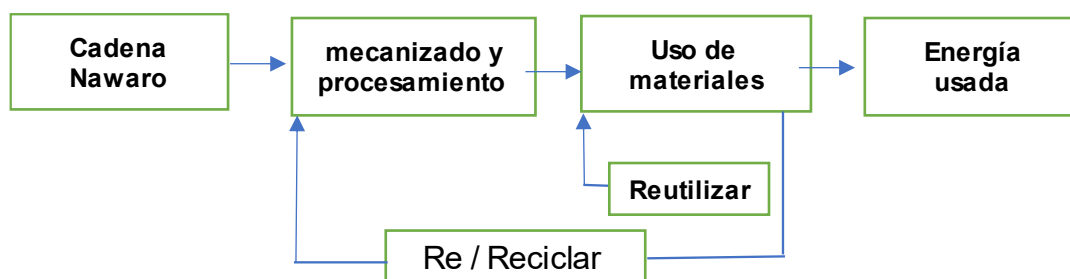
También se presenta diferentes posibilidades para el método cascadas. Un ejemplo propuesto en 1992 por Janicki et al. utilizó el concepto como “Material en Cascada” para reprocesar piezas de plástico rechazadas (poliestireno, policarbonato) durante el moldeo por inyección mediante la definición de un método para utilizar triturados. Tanto los materiales

biogénicos como los plásticos están compuestos básicamente de carbono y, por lo tanto, como último paso” (Hanna, 1995; Janicki, 1992).

La metodología de la cascada de recursos se define como se muestra en la Figura 14, solo conoce una forma de hacer las cosas. El concepto de una economía circular puede mejorarse mediante la utilización gradual de los recursos, comenzando en el nivel más alto posible hasta que el recurso se agote por completo en beneficio de todos. Sin embargo, algunos pueden atribuir con el ejemplo de las cascadas de agua, que los recursos no debe ser necesariamente una caída de un solo sentido.

Figura 14.

Diagrama de la Cadena de Cascada



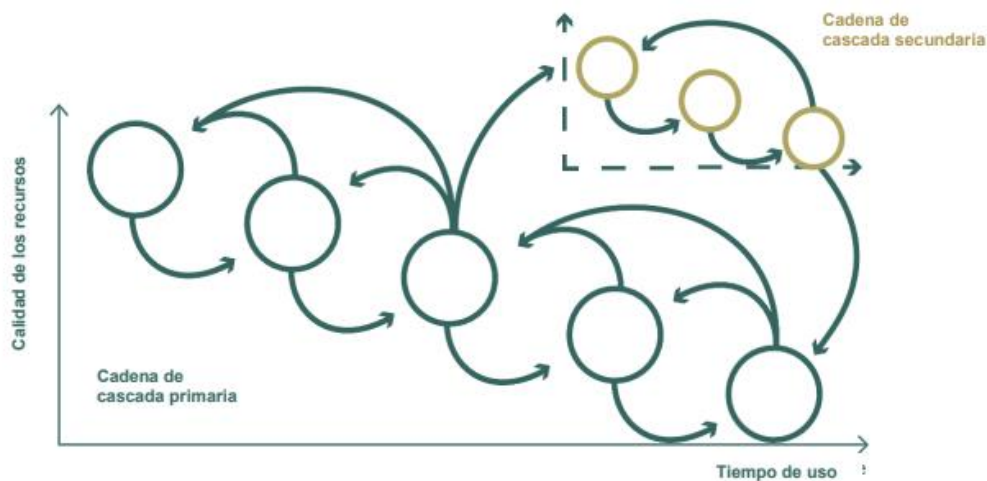
Fuente: Tomado de Hanna (1995)

El diagrama propuesto por (Eigene Darstellung) donde Nawaro establece la utilización inicialmente de los materiales en una o más fases de uso llamada como una cascada secundaria.

Los autores Sirkin y Houten introdujeron el término capacidad de recuperación de recursos, se refiere al grado en que se pueden recircular las cualidades de recurso de una sustancia, material o producto. Una vez más, el concepto de cascada se convierte en un proceso cíclico. El autor sugiere el término de la cadena en cascada para expresar el comportamiento cíclico. Además, los autores señalan que la salvación de la calidad de los recursos no se restringe a los límites de la cadena de cascada primaria, sino que puede conmutarse a cadenas de cascada secundarias (e incluso más) como se ilustra en la Figura 15 (Adams, 1993).

Figura 15.

Diagrama cascado de forma explícita con una cadena secundaria



Fuente: Tomado de Hanna (1993)

2.1.7. Marco conceptual de la soldadura

2.1.7.1. Electrodo arco eléctrico

El concepto de soldadura se descubrió en el año 1802 por sir Humphry Davy cuando un electricista autodidacta Vasily Petrov descubrió el fenómeno de un arco eléctrico. Los avances en la soldadura por arco continuaron con las invenciones de los electrodos de metal por el ruso Nikolai Slavyanov en 1893 en la exposición mundial de Chicago donde demostró a los especialistas con una muestra de soldadura de ocho metales ferrosos y no ferrosos, considerados en ese momento incompatibles: bronce, níquel, acero, cobre, hierro fundido, bronce de campana, tombac y alpaca (aleación). El cilindro fabricado fue hecho por el ingeniero de minas Slavyanov utilizando el método de soldadura por arco eléctrico con un electrodo metálico. Cuando dos años antes recibió patentes para la descripción del método, los avances continuaron en los años 1881-1882, los inventores Nikolai Benardos y Nikolai Slavyanov, sobre el fenómeno del arco eléctrico descubierto ocasionalmente, desarrollaron un método para unir piezas metálicas mediante soldadura. Es cierto que existían serias diferencias tecnológicas

entre sus versiones. Benardos sugirió trabajar con un electrodo de carbono (Patente US363,320), pero este método tenía inconvenientes: consumía mucha energía y la conexión entre dos piezas metálicas resultó ser bastante frágil y desigual, además el metal sometido a esfuerzo se rompía rápidamente. Por otro lado, existía el peligro de deterioro del metal bajo la influencia de la alta temperatura del electrodo de carbón, que propiciaba en los depósitos de soldadura la inclusión de partículas de carbono en los cordones de metal depositado. (Richman, 1956)

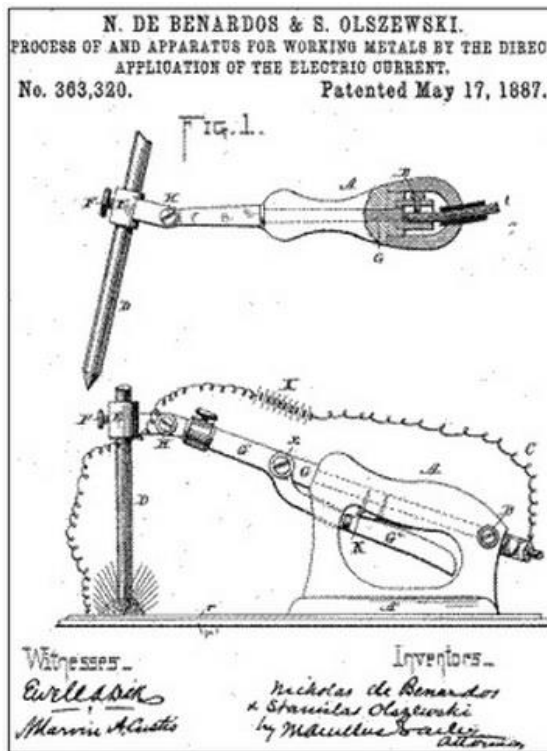
El proceso de soldeo usando gas acetileno se descubrió en 1836 por Edmund Davy, pero su uso en la soldadura no fue relevante hasta cerca del inicio del siglo XX, hasta que se logró un desarrollo de un soplete conveniente apropiado. Al principio, la soldadura de gas fue uno de los más populares métodos debido a su portabilidad y costo relativamente bajo que es usado hasta nuestros días la cual lo llamaos soldadura tipo Brazing. Sin embargo, a medida que progresaba el siglo XX, la industria tenía la necesidad para sus aplicaciones industriales. siendo sustituida, en gran medida, por la soldadura de arco, en la medida que continuaron desarrollando aparece los electrodos con revestimientos que cubrían los alambres de acero llamados cubiertas de metal revestidas, (Edmundo, 30-jul-2021).

- Durante la Primera Guerra Mundial el uso de la soldadura se izó más necesario el uso del proceso de soldadura por arco eléctrico llamado SMAW. Los británicos usaron experimentalmente la soldadura por arco eléctrico, mediante este procedimiento, se construyó una nave, llamada “el Fulagar” con un casco de acero enteramente soldado. La industria naval americana era más productiva, comenzaron a reconocer los beneficios de la soldadura de arco cuando dicho proceso les permitió reparar rápidamente sus naves después de los ataques alemanes en el puerto de New York al principio de la guerra. También la soldadura de arco fue aplicada por primera vez en otros materiales como el aluminio en las partes estructurales de los aviones durante la

guerra, Alemania también observo otras aplicaciones en algunas partes de los fuselajes de sus aeroplanos. (Electric, 1994), (p.8-9).

Figura 16.

Patente US363,320 de Berardos & Olszewski



Fuente: Obtenido de EEUU Patent No. 363,320, May,17 1887

Hasta la actualidad venimos usando el proceso de soldadura utilizando el principio básico descubierto en 1867, otros procesos y maquinas se han desarrollado adecuado al tipo de electrodos con o sin revestimiento, soldadura tipo Brazing, Soldadura MIGMAG, TIG, soldadura laser, por haz de electrones, soldadura submarina, etc. dependiendo de las necesidades puede subdividir por procesos. En el Perú tenemos la norma nacional NTP 341.070 de soldaduras por arco eléctrico, usa como referencia la norma Americana de Soldadura (American Welding Society AWS).

2.1.7.2. Electroodos de soldadura revestidas

Durante la década de los años 1920, se desarrollaron varios tipos de electrodos de soldadura. Hubo una gran controversia durante la década de 1920 sobre la ventaja de las varillas con revestimiento pesado en comparación con las barras con recubrimiento ligero.

El inventor Langstroth y Wunder, de la empresa A. O. Smith Company, desarrollaron en 1927 los electrodos de revestimiento pesado en la que se incluyen elementos metálicos y no metálicos en forma de polvos, que son fabricaron por extrusión. En 1929, Lincoln Electric Company produjo barras de electrodos extruidos que se vendieron al público y se masifico en todo el sector industrial en 1930, los electrodos recubiertos fueron ampliamente utilizados. Aparecieron los primeros códigos de soldadura, haciendo referencia a la calidad que requerían ciertos metales, lo que aumentó el uso de electrodos recubiertos. (Weman, Cambridge, 2003).

Figura 17.

Diagrama de cómo está conformado un electrodo revestido



Fuente: Tomado de Horwitz (1997)

En la Tabla 4, se muestran las patentes de acceso libre y referencias como US2544000A de fecha 05-05-1949 o US4804818 de fecha 14 feb 1985.

Durante las primeras patentes registradas e investigaciones sobre los electrodos revestidos se puede establecer que la mezcla con diversos minerales metálicos y no metálicos los electrodos tienden un comportamiento variado en el cuadro siguiente:

Tabla 4.

Patentes citadas por la patente US US4804818 perteneciente a Leonardo Andersen

Número de publicación	Fecha de prioridad	Fecha de publicación	Cesionario	Título
US2544000A	05/05/1949	06/03/1951	René D Wasserman	Coated welding rod
US2909648A	29/06/1956	20/10/1959	Lincoln Electric Co	Metallic vapor shielded electric arc welding
US4205218A	29/03/1977	27/05/1980	Sumitomo Chemical Company, Limited	Covered electrode for arc welding
US4220487A	25/10/1978	02/09/1980	Andersen Leonard M.	Gelatinous coating for arc welding and method for underwater welding
GB2083394A	15/07/1980	24/03/1982	Pelkonen Heikki	Shielding paste for arc welding, especially underwater arc welding
WO1984004716A1	24/05/1983	06/12/1984	Leonard M Andersen	Electrode for arc welding, electrode coating, and method for underwater welding

Fuente: Elaboración propia

2.1.7.3. Arco eléctrico para soldar

El arco eléctrico juega un papel importante generando una micro fusión que tiene como finalidad producir una gran penetración del cordón gracias al hidrogeno debido a la presencia en la celulosa en el revestimiento, el arco eléctrico genera una elevada temperatura mayor de (>2000°C) necesario para fundir el núcleo y revestimiento del electrodo, permitiendo depositar gotas de metal liquido sobre el metal base formando un cordón. A más temperatura, se eleva la velocidad de soldeo; sin embargo, se produce abundante perdida por salpicaduras, basta con revisar el patente número US 2909648 de la empresa Lincoln Co. de fecha 20/10/1959, vea la Figura 18. En la actualidad, existen muchas técnicas para formar el arco eléctrico los cuales se asocia según el proceso y su uso, ejemplo de ello son los procesos de mayor uso en el país (Love, 1987) como los siguientes:

Proceso SMAW o MMA (Manual Metal Arc welding), también llamado como MMA y significa "soldadura manual por arco" por muchos años hasta la actualidad es una de las técnicas más comúnmente aplicadas en la fabricación de estructuras de acero, construcciones metálicas, fabricación y utilizado en la reparación de piezas. Es ampliamente utilizado debido

a su versatilidad, bajos costos de accesorios y consumibles, simplicidad de la fuente de potencia pudiendo ser del tipo de corriente continua (CC) o corriente alterna (CA), es considerada de bajos costos de mantenimiento, durabilidad, relativa simplicidad de operación y fácil configuración.

Proceso GMAW o MIGMAG (Shield Metal Arc Welding) es el proceso donde la "soldadura de metal por arco es protegido por gas inerte Argón o gas activo CO₂ o la combinación de ambos gases" haciendo referencia a la protección gaseoso que rodea a la zona de la soldadura mediante la micro fusión con un alambre solido de núcleo desnudo recubierto con una fina capa de cobre (Cu) protectora para facilitar la conducción eléctrica cuyo arco genera una temperatura a más de 2700 °C.

Proceso GTAW o TIG (Shield Tungsten Arc Welding) es el proceso donde se hace circular la corriente eléctrica a entre el electrodo no consumible y el metal base. La circulación de la intensidad de corriente se hace con la protección de un gas inerte. Al no consumirse el electrodo teóricamente, se desarrolla un arco continuo de bajo voltaje y alto amperaje logrando obtener una temperatura de aproximadamente 3500° centígrados.

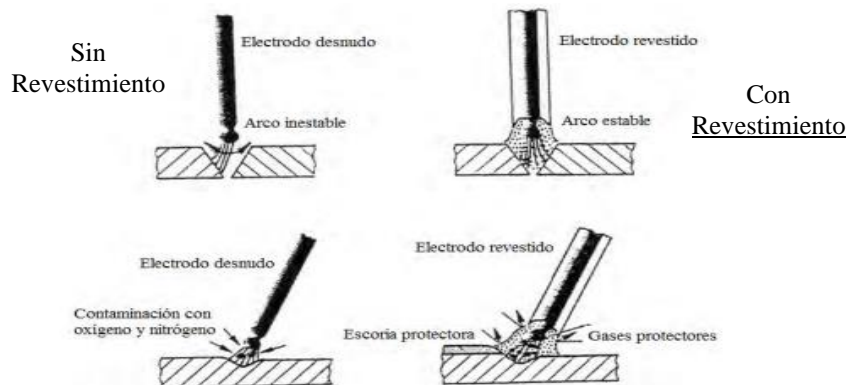
2.1.7.4. Mecánicas del comportamiento del Revestimiento durante soldeo

El revestimiento del electrodo del proceso SMAW tiende a fundirse inmediatamente después que el núcleo metálico en una fracción microsegundo, formando una concavidad, de tal forma que el revestimiento permita dirigir la fuerza del arco y las gotas del metal fundido en la dirección deseada, siendo de gran utilidad para soldar en diferentes posiciones. Además, permite el depósito de cordones arrastrando el electrodo, ya que en muchos casos el revestimiento que sobresale del electrodo, establece contacto con la pieza de trabajo a una separación adecuada, permitiendo que el arco disuelva establemente dentro del charco todos los elementos minerales generando una gota fundida que se deposita sobre la superficie

metálica formando un cordón que permitiera la unión de los metales, los autores como Rissone (2002), Surian (1997) y Yarovchuk (1997) lo describen e inclusive se indican que los elementos minerales aglomerados tienen una función estabilizadora en el arco y el depósito de soldadura adecuándose a la norma América de soldadura.

Figura 18.

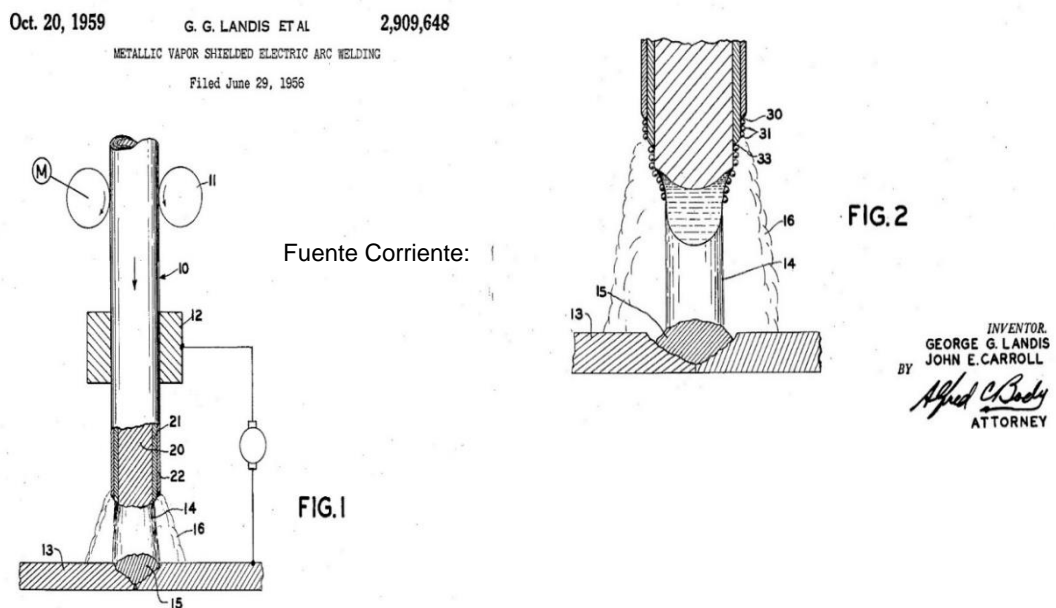
Comportamiento del electrodo con y sin revestimiento



Fuente: Tomado de Kearns (1978)

Figura 19.

Esquema de la generación de arco Patente US2.909.648



Fuente: Obtenido de EEUU Patent No. 2.909.648, Oct 20, 1959

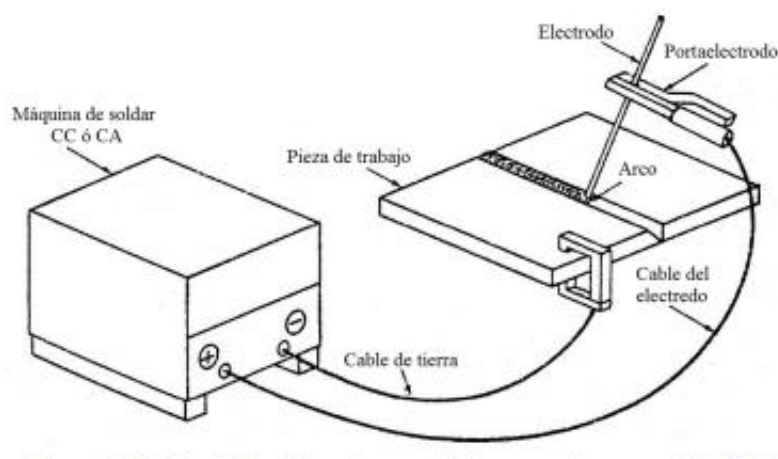
2.1.7.5. Proceso de Soldadura SMAW: (Soldadura de Arco para electrodo revestido)

Este proceso de soldadura conocido como proceso SMAW por sus siglas en inglés (Shielded Metal Arc Welding), por muchos años hasta la actualidad es una de las técnicas más comúnmente aplicadas en la fabricación de estructuras de acero, construcciones metálicas, fabricación y utilizado en la reparación de piezas. Es ampliamente utilizado debido a su versatilidad, bajos costos de accesorios y consumibles, simplicidad de la fuente de potencia pudiendo ser del tipo de corriente continua o corriente alterna, es considerada por su bajo costo de mantenimiento, durabilidad, relativa simplicidad de operación y fácil configuración. (Kearns, 1978).

Esta soldadura se genera mediante el corto circuito genera un arco eléctrico tipo plasma entre la pieza de trabajo y un electrodo consumible, el proceso llamado micro fusión que se genera desprende en gotas en un micro charco hasta formar el cordón de soldadura. El circuito eléctrico se establece como se muestra en la Figura 20.

Figura 20.

Diagrama del proceso de soldeo SMAW



Fuente: Tomado de Horwitz (1997)

Uno de los principios del proceso de soldeo con electrodos con un núcleo de acero con un revestimiento queda establecido como se indica en la Patente US 2909648 en la Figura 16, se describe como se genera la gota fundida y el cordón de soldadura.

Las altas temperaturas que se generan al efectuar el corto circuito entre la pieza trabajo-electrodo, forman un arco eléctrico que funde tanto a la pieza de trabajo como a la punta del electrodo. El electrodo fundido en forma de gotas que es proyectado por la fuerza del arco hacia al cráter o charco de soldadura, al solidificarse forma el cordón de soldadura recubierto con una capa de escoria que protege al cordón de soldadura, este cordón de soldadura depositado, al ir solidificándose adquiere las propiedades químicas y físicas que luego se convertirán en propiedades mecánicas. Estas y otras características se ubican en el revestimiento, otros componentes en el revestimiento al descomponerse por efecto del arco de soldadura tienen a generar gases ionizados. Este efecto ayuda a formar una atmósfera gaseosa que estabiliza y protege el arco eléctrico, así como también evita el ingreso del oxígeno y otros gases reactivos al cordón de soldadura, producto de las altas temperaturas alcanzadas que se genera en el micro charco que ayuda a fundir los elementos aleantes que se incorporan en el electrodo, vea la Tabla 5.

La complejidad de los revestimientos es tal que pequeñas variaciones en su composición pueden modificar e imprimir apreciables variaciones en la calidad de la unión soldada; por ello, se realizan constantes investigaciones sobre el desarrollo, perfeccionamiento y desempeño de estos tipos de consumibles para diferentes tipos de aleaciones como aluminio, cobre, níquel, acero inoxidable, etc. La selección, origen y dosificación de cada componente que va a intervenir en la composición final en el revestimiento es un secreto guardado por el fabricante que no es materia de la presente investigación. (Caceres Linares, 1997). Para desarrollar esta epata se adopta una revisión detallada de varias patentes y establece un

programa de formulación propuesto por Nexsol las que luego son investigadas por esta empresa.

Tabla 5.

Lista de algunos minerales Metálicos, No Metálicos y su importancia en el revestimiento durante el soldeo

Corriente Soldadura	AC o DC	
	AC	DC
	Función del Constituyente	
	Primaria	Secundaria
Alumina	Formación Escoria	
Asbesto	Formación Escoria	Extrucción
Carbonato Calcio	gas protector	Fundente como agente
Celulosa	gas protector	
Clay	Extrucción	Formación Escoria
Dolomita	gas protector	Fundente como agente
Feldespato	Formación Escoria	Estabilización Arco
Ferromanganeso	Aleación	Desoxidante
Ferrosilicio	Desoxidante	
Glicerina	Extrucción	
Oxido Hierro	Formación Escoria	
Hierro Polvo	Deposito	Soldadura Contacto
Oxido Magnesio	Formación Escoria	
Dióxido Manganeso	Formación Escoria	Aleación
Mica	Extrucción	Estabilización Arco
Silicato Potasio	Estabilización Arco	Binder
Titanato de Potasio	Estabilización Arco	Formación Escoria
Silica	Formación Escoria	
Silicato Sodio	Binder	Fundente como agente
Talco	Extrucción	Binder
Dióxido Titanio	Formación Escoria	Estabilización Arco
Zirconio	Formación Escoria	Estabilización Arco
oxido Zirconio	Formación Escoria	Estabilización Arco

Fuente: Tomado de Horwitz (1997)

2.1.7.6. Marco legal

Uno de los grandes objetivos de la presente legislación es de establecer derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana. El Tribunal Constitucional refiere sobre el aspecto ambiental en su sentencia del 06 noviembre 2001 cita lo siguiente: “En el inciso 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Estado reconoce, en calidad de derecho fundamental, el atributo subjetivo de “gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo” de la vida de la persona.

El tribunal declara que el ambiente se entiende como un sistema; es decir como un conjunto de elementos que interactúan entre sí. Por ende, implica el compendio de elementos naturales –vivos o inanimados– sociales y culturales existentes en un lugar y tiempo determinados, que influyen en la vida material y psicológica de los seres humanos. Por dicha razón, es objeto de protección jurídica y forma parte del bagaje de la tutela de los derechos humanos. (Constitucional, 2001).

En términos generales, la declaración por parte del Tribunal Constitucional al inicio de su resolución se habla de sobrantes sin uso o desecho para identificar a aquellos materiales sobrantes que aparentemente no pueden ser usados nuevamente. El término residuo, en cambio, sirve para identificar a aquellos materiales que pueden tener valor en sí mismos al ser reutilizados o reciclados, conceptos que en el tiempo se va redefiniendo. La entrada de la vigencia de la Ley 27314 va dirigida hacia todas las actividades, procesos y operaciones de la gestión y manejo de residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final, incluyendo las distintas fuentes de generación de dichos residuos, en los sectores económicos, sociales y

de la población. Asimismo, comprende las actividades de internamiento y tránsito por el territorio nacional de residuos sólidos.

No están comprendidos en el ámbito de esta Ley los Residuos Sólidos de naturaleza radiactiva, cuyo control es de competencia del Instituto Peruano de Energía Nuclear, salvo en lo relativo a su internamiento al país, el cual se rige por lo dispuesto en esta Ley, desde su publicación el 20 Julio del 2000, la Ley General de Residuos con la entrada en vigencia de su Reglamento, esta norma ha sufrido varias actualizaciones desde su promulgación hasta el 2016.

Con fecha 23-12-2016, se aprobó el Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, la misma que establece la derogatoria de la Ley N° 27314, a partir de la entrada en vigencia de su Reglamento, el 11 de octubre de 2023, se publicó en el diario oficial el Peruano la Ley N° 31896, modificando el Decreto Legislativo 1278 “Ley General de Residuos Sólidos”, dicho Decreto Legislativo aprueba la ley de gestión integral de residuos sólidos e introduce los términos de la industrialización del reciclaje en su desarrollo, modificando el artículo 6 literal: e, artículo 15 literal: b y artículo 21, literal a, del Decreto Legislativo 1278. (REPUBLICA, 2016)

El Decreto legislativo 1278 en el CAPÍTULO 1: Disposiciones Generales en los artículos 2 y 4 literal b. considera el reciclado o el reusó como una manera general, los cuales a nuestro juicio se superpone en iguales términos con el Capítulo 2: Valorización de Residuo Solido, artículo 5 literal a y b, y Capítulo 2: Valorización del Residuo Solido: artículo 50. Consideramos que el objetivo primordial es minimizar el impacto, consideramos redefinir es concepto afín de cubrir todas estas necesidades en los siguientes términos:

Asimismo, el Decreto legislativo 1278 trata de describir, definir, establecer el concepto para indicar el camino hacia una economía circular en los siguientes artículos:

“Artículo 2.- Finalidad de la gestión integral de los residuos sólidos: La gestión integral de los residuos sólidos en el país tiene como primera finalidad la prevención o minimización de la generación de residuos sólidos en origen, frente a cualquier otra alternativa. En segundo lugar, respecto de los residuos generados, se prefiere la recuperación y la valorización material y energética de los residuos, entre las cuales se cuenta la reutilización, reciclaje, compostaje, co-procesamiento, entre otras alternativas siempre que se garantice la protección de la salud y del medio ambiente.

Artículo 4.- Ámbito de aplicación, ítem b) Las actividades, procesos y operaciones de la gestión y manejo de residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final, incluyendo todas las fuentes de generación, enfatizando la valorización de los residuos.

CAPÍTULO 2 PRINCIPIOS: lineamientos e instrumentos, el artículo 5.- en los principios: ítems siguientes:

- a) **Economía circular.** - La creación de valor no se limita al consumo definitivo de recursos, considera todo el ciclo de vida de los bienes.
- b) **Valorización de residuos.** - Los residuos sólidos generados en las actividades productivas y de consumo constituyen un potencial recurso económico, por lo tanto, se priorizará su valorización, considerando su utilidad en actividades de: reciclaje de sustancias inorgánicas y metales, generación de energía, para la producción del compositor.

CAPÍTULO 2 VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS en el artículo 50:
Reciclaje - *El reciclaje constituye una forma de valorización material, que consiste en la transformación de los residuos sólidos en productos, materiales o sustancias, que conserven su finalidad original o cualquier otra finalidad.”* (REPUBLICA, 2016) (p. 8-11).

Para el mejor entendimiento de la investigación fue necesario definir este concepto para cumplir con en el marco legal en el Perú estableciendo los siguientes términos: “Trabajar por un manejo integral y sostenible, contando con las posibilidades técnicas y económicas para alcanzar su cumplimiento: mediante el desarrollo de acciones que sean eficiente, eficaz y sostenible que minimice los residuos sólidos, a través de la máxima reducción de sus volúmenes de generación.

Tratar que ello sea un manejo integral desde la generación hasta su disposición final o la recuperación mediante desarrollo, usar tecnologías, métodos, prácticas y procesos de producción que favorezcan la minimización o reaprovechamiento de los residuos sólidos y su manejo adecuado, y/o admitir su manejo en conjunto.

Promover la iniciativa y participación activa del manejo de los residuos sólidos, la difusión de información para la toma de decisiones y el mejoramiento de su manejo de los residuos sólidos utilizando estrategias y acciones sostenibles que evite la contaminación”.

Tomando como referencia los aspectos establecidos en la Legislación de la Unión Europea que la Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo con fecha 30 de mayo de 2018, modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos modificada (Europea, 2008) en los siguientes ítems:

El ítem 20 señala:

“Los Estados miembros deben tomar las medidas adecuadas para fomentar el desarrollo, la producción, la comercialización y la utilización de productos y componentes de productos que sean aptos para usos múltiples, que contengan materiales reciclados, que sean técnicamente duraderos y fácilmente reparables y que, tras haberse convertido en residuos, sean aptos para ser preparados para la reutilización y para ser reciclados a fin de facilitar la aplicación correcta de la jerarquía de residuos sin comprometer la libre circulación de

mercancías en el mercado interior. Estas medidas deben tener en cuenta el impacto de los productos en todo su ciclo de vida, incluida la jerarquía de residuos y, en su caso, el potencial de reciclado múltiple.”

(Europea, 2008)

En el ítem (30) del reglamento, se define las metas que se debe alcanzar y se incluye un nuevo concepto establecer una **economía circular**, la Directiva (UE) 2018/851 modifica la Directiva 2008/98/CE.

Así mismo la misma directiva establece los objetivos que todos los estados miembros deberán adecuarse como se cita en la Directiva (UE) 2018/851:

“En lo que respecta a la generación de residuos, los Estados miembros de la UE deben adoptar las medidas que:

- Respalden los modelos de producción y consumo sostenibles;
- Fomenten el diseño, la fabricación y el uso de productos que sean eficientes en el uso de recursos, duraderos, reparables, reutilizables y actualizables;
- Tengan por objetivo productos que contengan **materias primas fundamentales** a fin de prevenir que esos materiales se conviertan en residuos;
- Fomenten la disponibilidad de piezas de repuesto, manuales de instrucciones, información técnica u otros medios que permitan reparar y reutilizar productos sin poner en riesgo su calidad y su seguridad; Reduzcan la generación de residuos alimentarios como contribución a los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas para reducir en un 50% los residuos alimentarios per cápita a escala mundial en el plano de la venta minorista y de los consumidores, y reducir

las pérdidas de alimentos a lo largo de las cadenas de producción y suministro para 2030.

- Fomenten la reducción del contenido de sustancias peligrosas en materiales y productos; frenen la generación de desechos marinos.

Asimismo, se establece nuevos **objetivos de reciclado de residuos municipales** para 2025, tiene que reciclarse un mínimo del 55% de los residuos municipales en peso. Este objetivo ascenderá al 60 % para 2030 y al 65 % para 2035.” (Europea, 2008), (p. L 312/3).

A igual condiciones para cumplir con el marco legal peruano se definen los términos necesarios adecuados a la norma europea en el siguiente contexto:

“Tomar las medidas adecuadas para fomentar el desarrollo, la producción, la comercialización, la reutilización en el productos, ello incluye ser preparados para la reutilización que permita una economía circular que: respalden los modelos, fomenten el diseño, tengan por objetivo productos que contengan materias primas fundamentales, fomenten la disponibilidad, reduzcan la generación de residuos y reciclarse un mínimo del 50 % que cumpla reglamentación ONU” (CONSEJO, 2018), (p.L 150/114)

Cabe destacar que uno de los principales objetivos que la presente investigación que los resultados obtenidos pueda replicarse en las demás unidades de fabricación de las empresas licenciadas de la marca Oerlikon Welding Ltd. y de la propia casa matriz.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

3.1.1. Tipo

A través del cual busca expandir un conjunto de conocimiento de vista teórico, práctico o teórico-práctico para mejorar el proceso que permita reducir la contaminación.

- De acuerdo con la orientación: Básica.
- De acuerdo con la técnica de contrastación: Explicativa.
- De acuerdo con la direccionalidad: Prospectiva.
- De acuerdo con la evolución del fenómeno estudiado: Transversal.
- De acuerdo con la comparación de las poblaciones: Comparativa.

Aplicada: Porque busca generar conocimientos que se pueden aplicar directamente a la solución de problemas prácticos, específicamente en la gestión de residuos sólidos y la reducción de la contaminación ambiental en la planta de fabricación de electrodos en Lurín. Los resultados de la investigación tienen un objetivo práctico: mejorar la eficiencia industrial y la sostenibilidad ambiental. **Cuantitativa:** Porque se basa en la recolección y análisis de datos cuantitativos para medir el impacto de la cascarilla de acero y otros residuos sólidos sobre el medio ambiente y la salud pública. Además, se utilizarán métodos estadísticos para evaluar la efectividad de las tecnologías y prácticas de gestión propuestas, proporcionando resultados medibles y objetivos.

3.1.2. Nivel

El presente trabajo de investigación logrará el nivel IV, de tipo predictivo II, (Córdova, M., & Monsalve, 2013; Medina, 2014; Rinc, 2011; Soto, 2011).

Tomando como referencia la naturaleza de las variables, esta será una investigación del nivel *Descriptivo – explicativo – correlacional*; La investigación se sitúa en un nivel descriptivo y explicativo. **Descriptivo:** Porque busca identificar y detallar las fuentes de contaminación ambiental generadas por la cascarilla de acero y otros residuos sólidos en la planta de fabricación de electrodos en Lurín. A través de la recolección y análisis de datos, la investigación describirá las condiciones actuales de gestión de residuos y su impacto en el medio ambiente y la salud pública. **Explicativo:** Porque se pretende comprender las relaciones causales entre la gestión inadecuada de residuos sólidos y sus efectos sobre la salud pública, el medio ambiente y el desarrollo industrial. Además, se explorarán cómo la implementación de tecnologías y prácticas de gestión ambiental puede reducir la contaminación y mejorar la sostenibilidad industrial.

Este nivel y tipo de investigación permitirá obtener resultados precisos y aplicables, que no solo aporten al conocimiento científico, sino que también proporcionen soluciones concretas para la gestión ambiental en la industria de fabricación de electrodos.

3.1.3. Códigos y Nomenclaturas UNESCO

- 1206. Análisis Numérico
 - 120603. Análisis de Errores
- 1208. Probabilidad
 - 120808. Procesos estocásticos
- 1209. Estadística
- 3308. Ingeniería y Tecnología del Medio Ambiente
 - 3308.01 Control de la Contaminación Atmosférica (Ver 2509.02)
 - 3308.02 Residuos Industriales
- 6307. Cambio y Desarrollo Social

- 630707. Tecnología y cambio social.
- 7201. Filosofía del conocimiento
 - 720105. Teoría de la Percepción

3.1.4. Diseño de la investigación

Según Hernández-Sampieri, Fernández, & Batista, (2010), El diseño de la investigación es **no experimental, transversal y mixto**.

- **No Experimental.** La investigación es de diseño **no experimental** porque no se manipularán las variables de estudio de manera deliberada. En lugar de crear condiciones controladas para observar sus efectos, se estudiarán las condiciones actuales tal como existen en la planta de fabricación de electrodos en Lurín. Se recopilarán datos sobre la contaminación ambiental, la gestión de residuos sólidos, y la efectividad de las prácticas actuales, sin intervenir directamente en los procesos operativos de la planta durante la fase inicial de la investigación.
- **Transversal.** El diseño es **transversal** porque la recolección de datos se realizará en un solo momento en el tiempo o en un periodo específico y delimitado. Este enfoque permitirá analizar la situación actual de la gestión de residuos y su impacto en el medio ambiente y la salud pública, así como evaluar las condiciones presentes en la planta de Lurín sin necesidad de observar cambios a lo largo del tiempo.
- **Mixto.** El diseño es **mixto** porque combina elementos **cuantitativos** y **cualitativos**.
 - **Cuantitativo:** Se utilizarán métodos estadísticos para analizar datos numéricos relacionados con la cantidad de residuos generados, niveles de contaminación, costos operativos, y otros indicadores medibles. Estos datos se obtendrán a través de encuestas, mediciones directas en la planta, y análisis de registros operativos.

- **Cualitativo:** Se incluirán entrevistas y observaciones para obtener una comprensión más profunda de las prácticas de gestión de residuos, las percepciones del personal y los impactos sociales y ambientales percibidos. Este enfoque permitirá explorar las actitudes y conocimientos de los trabajadores y administradores sobre la sostenibilidad y el manejo de residuos, proporcionando un contexto más completo para los datos cuantitativos.

Procedimiento

1) Recolección de Datos Cuantitativos:

- Medición de la cantidad de cascarilla de acero y otros residuos generados.
- Evaluación de los niveles de contaminación en el suelo, agua y aire en las inmediaciones de la planta.
- Análisis de costos asociados a la gestión de residuos y su impacto en la producción.

2) Recolección de Datos Cualitativos:

- Realización de entrevistas con el personal de la planta y expertos en gestión ambiental.
- Observación directa de las prácticas de gestión de residuos en la planta.
- Revisión de documentos y normativas internas sobre manejo de residuos.

3) Análisis de Datos:

- Análisis estadístico de los datos cuantitativos para identificar patrones y relaciones significativas.
- Análisis temático de los datos cualitativos para comprender las percepciones y actitudes hacia la gestión de residuos y su impacto ambiental.

4) **Interpretación y Conclusiones:**

- Integración de los hallazgos cuantitativos y cualitativos para proporcionar una visión comprensiva de la situación actual y de las posibles mejoras.
- Elaboración de recomendaciones para la mejora de la gestión de residuos en la planta de Lurín, basadas en los resultados obtenidos.

Este diseño de investigación permitirá obtener una comprensión completa y matizada de los problemas de gestión de residuos en la planta de fabricación de electrodos en Lurín, así como de las oportunidades para mejorar tanto la eficiencia industrial como la sostenibilidad ambiental.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población de la investigación incluye varios componentes clave relacionados con la planta de fabricación de electrodos en Lurín, abarcando tanto aspectos técnicos como humanos. Primero, se considera a las unidades productivas de la planta, que incluyen todas las áreas y procesos que generan cascarilla de acero y otros residuos sólidos, como el área de trefilado, revestimiento de electrodos, y manejo de materiales. También se incluye a los equipos y tecnologías utilizadas en la producción de electrodos y en la gestión de residuos sólidos. Dentro

del personal, se involucra a los trabajadores operativos, quienes están directamente involucrados en el proceso de producción y manipulación de residuos, al personal administrativo y de gestión, responsable de la toma de decisiones en cuanto a la gestión ambiental, y al personal de mantenimiento y seguridad, encargado de mantener la infraestructura y garantizar la seguridad ambiental (Aroquipa Velásquez, 2014).

Además, la investigación abarca el entorno ambiental y la comunidad circundante, donde se evaluará la calidad del suelo, cuerpos de agua y aire afectados por la planta, así como a la población local que podría estar expuesta a contaminantes ambientales. También se incluye en la población a la documentación y registros de la planta, como los archivos operativos y de producción que contienen datos sobre la cantidad de residuos generados y los métodos de gestión, así como las normativas y políticas internas que guían la gestión ambiental de la planta. Este enfoque integral permitirá un análisis detallado de cómo la gestión de la cascarilla de acero impacta tanto en el entorno industrial como en la comunidad circundante, y qué mejoras pueden implementarse para optimizar la sostenibilidad y la eficiencia de la planta (Hernández-Sampieri et al., 2010; Viteri, 2012).

3.2.2. *Tamaño de la Muestra*

El tamaño de la muestra de esta investigación se determinará para garantizar la representatividad y precisión de los resultados, abarcando tanto aspectos cuantitativos como cualitativos. Para el personal de la planta, se seleccionará una muestra representativa de aproximadamente el 30% de los trabajadores operativos, asegurando la inclusión de aquellos que trabajan en áreas clave como el trefilado y revestimiento de electrodos. Además, se incluirá a los responsables directos de la gestión ambiental y operaciones, así como al personal de mantenimiento y seguridad, sumando entre 10 y 15 personas del personal administrativo y de gestión. Estos grupos serán fundamentales para comprender las prácticas actuales y sus impactos ambientales.

En cuanto al entorno ambiental y la comunidad circundante, se realizarán mediciones en al menos cinco puntos de muestreo en las inmediaciones de la planta, abarcando suelos, cuerpos de agua y aire para evaluar la influencia de las operaciones industriales. También se seleccionará una muestra de entre 50 y 100 residentes locales que viven en áreas susceptibles a la contaminación, quienes participarán en encuestas y entrevistas para evaluar el impacto percibido en su salud y bienestar. Adicionalmente, se analizarán todos los registros operativos y de producción de los últimos cinco años, enfocados en la generación y gestión de residuos, junto con documentos normativos y políticas ambientales internas. Este enfoque garantizará una base sólida para analizar y validar los hallazgos, y para desarrollar recomendaciones prácticas para mejorar la gestión ambiental de la planta.

3.3. Operacionalización de variables

3.3.1. Estrategia de Prueba de Hipótesis

La prueba de hipótesis en esta investigación se llevará a cabo mediante una combinación de métodos cuantitativos y cualitativos, que permitirán evaluar la relación entre la gestión de la cascarilla de acero y su impacto en la contaminación ambiental y el desarrollo industrial en la planta de fabricación de electrodos en Lurín. La estrategia se desarrollará en las siguientes etapas:

- 1) **Formulación de Hipótesis.** Las hipótesis, tanto general como específicas, plantean que la gestión adecuada y la reutilización de la cascarilla de acero reducirán la contaminación ambiental y mejorarán el desarrollo industrial de la planta. Estas hipótesis se basan en la premisa de que la implementación de tecnologías y prácticas de gestión ambiental contribuirá a minimizar los impactos negativos en el entorno y optimizará la eficiencia productiva.
- 2) **Recolección de Datos**

- **Cuantitativos:** Se recolectarán datos sobre la cantidad de cascarilla de acero generada, niveles de contaminación en el suelo, agua y aire, y costos operativos asociados con la gestión de residuos. Estos datos se obtendrán a través de mediciones directas en la planta, análisis de registros operativos, y muestreo ambiental en las inmediaciones.
- **Cualitativos:** Se llevarán a cabo entrevistas con personal operativo y administrativo, así como encuestas a la población local. Esto permitirá captar las percepciones sobre la efectividad de las prácticas actuales y los impactos percibidos en la salud y el medio ambiente.

3) Análisis de Datos

- **Análisis Estadístico:** Se aplicarán pruebas estadísticas (como t-tests, análisis de varianza (ANOVA) y regresiones) para determinar si existen diferencias significativas entre los niveles de contaminación y los costos operativos antes y después de implementar las prácticas de gestión ambiental. Este análisis permitirá probar las hipótesis cuantitativas relacionadas con la reducción de contaminación y la eficiencia económica.
- **Análisis Temático:** Se utilizará un enfoque cualitativo para analizar las entrevistas y encuestas, identificando temas recurrentes y relaciones causales. Esto ayudará a probar las hipótesis relacionadas con la percepción del impacto ambiental y la aceptación de nuevas prácticas de gestión.
- **Interpretación de Resultados:** Los resultados del análisis cuantitativo serán interpretados para determinar si existe evidencia suficiente para aceptar o rechazar las hipótesis planteadas. Se evaluará si las nuevas tecnologías y prácticas de gestión han resultado en una reducción significativa de la

contaminación y en mejoras económicas. Los hallazgos cualitativos proporcionarán un contexto más profundo para los resultados cuantitativos, permitiendo entender cómo las prácticas de gestión impactan en la percepción y aceptación de la comunidad y del personal.

- 4) **Validación Cruzada.** Los resultados obtenidos de los análisis cuantitativos y cualitativos se compararán y contrastarán para asegurar la consistencia y la validez de las conclusiones. Esto incluirá la triangulación de datos de diferentes fuentes y métodos para fortalecer la prueba de hipótesis.
- 5) **Conclusiones y Recomendaciones.** Con base en los resultados de la prueba de hipótesis, se formularán conclusiones sobre la efectividad de las estrategias de gestión de residuos implementadas. Además, se harán recomendaciones específicas para mejorar la sostenibilidad ambiental y la eficiencia operativa de la planta de fabricación de electrodos en Lurín.

Esta estrategia asegura un enfoque riguroso y multifacético para probar las hipótesis planteadas, permitiendo obtener resultados robustos y aplicables que guiarán la toma de decisiones en la gestión ambiental de la planta.

3.3.2. *Variables e Indicadores*

El proceso consistirá en convertir la variable de conceptos abstractos en términos concretos, observables y medibles, transformándolos en dimensiones e indicadores específicos. Además, incluirá una serie de procedimientos o instrucciones destinados a medir las variables definidas conceptualmente, con el objetivo de obtener la mayor cantidad de información posible, asegurando que se capte su significado y relevancia dentro del contexto de esta investigación.

Tabla 6.

Variables e indicadores – Operacionalización de variables: Análisis cuantitativa

Variable	Indicadores	Descripción	Dimensión Tipo-Función	Escala	Nivel
Generación de cascarilla de acero	Cantidad de cascarilla generada (kg/ton)	Medición de la cantidad de cascarilla de acero producida por tonelada de alambtrn trefilado.	Cuantitativa - Productiva	Intervalo	Descriptivo
	Frecuencia de generaci3n de residuos	Número de veces que se generan residuos en un periodo determinado.	Cuantitativa - Temporal	Nominal	
Contaminaci3n ambiental	Concentraci3n de óxidos en aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Medici3n de la concentraci3n de partículas de óxidos de hierro en el aire en las inmediaciones de la planta.	Cuantitativa - Ambiental	Intervalo	Explicativo
	Calidad del suelo (pH, metales pesados)	Evaluaci3n de la calidad del suelo, considerando parámetros como pH y presencia de metales pesados.			
	Calidad del agua (turbidez, metales pesados)	Análisis de la calidad del agua en las cercanías de la planta, midiendo turbidez y concentraci3n de metales.			
Salud pública	Incidencia de enfermedades respiratorias (%)	Porcentaje de poblaci3n cercana a la planta que reporta enfermedades respiratorias.	Cuantitativa - Sanitaria	Proporcional	Descriptivo
	Percepci3n de salud por la comunidad	Opini3n de la comunidad sobre su estado de salud en relaci3n a la operaci3n de la planta.	Cualitativa - Social	Ordinal	
Gesti3n de residuos	Existencia de polític3s de gesti3n de residuos	Revisi3n de la existencia y aplicaci3n de polític3s internas de gesti3n de residuos s3lidos.	Cualitativa - Administrativa	Nominal	Descriptivo
	Implementaci3n de tecnologías de reciclaje	Nivel de aplicaci3n de tecnologías para la reutilizaci3n de la cascarilla de acero.	Cualitativa - Técnica	Ordinal	
Desarrollo industrial	Costos operativos relacionados con residuos (\$)	Análisis de los costos operativos de la planta relacionados con la gesti3n de residuos s3lidos.	Cuantitativa - Econ3mica	Intervalo	Explicativo
	Eficiencia productiva (%)	Relaci3n entre la producci3n total de electrodos y la cantidad de residuos generados.	Cuantitativa - Productiva	Proporcional	

Fuente: Elaboraci3n propia.

3.4. técnicas e Instrumentos

3.4.1. Técnicas de Procesamiento de Datos.

El procesamiento de datos en esta investigación se llevará a cabo mediante una combinación de técnicas estadísticas y cualitativas, que permitirán analizar y sintetizar la información recopilada de manera efectiva. Estas técnicas son fundamentales para interpretar los resultados y validar las hipótesis planteadas. A continuación, se detallan las principales técnicas que se utilizarán:

1) Limpieza y Organización de Datos

- **Depuración de Datos:** Se realizará un proceso de depuración inicial para identificar y corregir posibles errores en los datos recolectados, tales como valores atípicos, datos faltantes o inconsistencias. Esta etapa es crucial para garantizar la precisión y confiabilidad del análisis posterior.
- **Codificación de Datos Cualitativos:** Los datos cualitativos obtenidos a través de entrevistas y encuestas serán codificados utilizando un sistema de categorías y subcategorías para facilitar su análisis. Esto permitirá identificar patrones y temas recurrentes en las respuestas.

2) Análisis Estadístico

- **Estadística Descriptiva:** Se utilizarán técnicas de estadística descriptiva para resumir y describir las características básicas de los datos cuantitativos, como medias, medianas, desviaciones estándar, y distribuciones de frecuencia. Esto proporcionará una visión general de los datos y facilitará la identificación de tendencias y patrones.

- **Pruebas de Hipótesis:** Se aplicarán pruebas estadísticas como el t-test, ANOVA (análisis de varianza), y regresiones lineales para determinar la relación entre las variables y probar las hipótesis planteadas. Estas pruebas ayudarán a establecer si las diferencias observadas en los datos son estadísticamente significativas y relevantes para la investigación.
- **Análisis de Correlación:** Se realizarán análisis de correlación para explorar las relaciones entre diferentes variables, como la relación entre la cantidad de cascarilla de acero generada y los niveles de contaminación ambiental. Esto permitirá identificar posibles asociaciones y dependencias entre las variables.

3) Análisis Cualitativo

- **Análisis de Contenido:** Los datos cualitativos se analizarán mediante técnicas de análisis de contenido, que implican la identificación y codificación de temas y patrones en las respuestas obtenidas en entrevistas y encuestas. Este análisis proporcionará una comprensión profunda de las percepciones y actitudes de los participantes en relación con la gestión de residuos y su impacto ambiental.
- **Triangulación de Datos:** Para aumentar la validez de los resultados, se utilizará la triangulación de datos, comparando y contrastando los hallazgos cualitativos con los datos cuantitativos. Esto permitirá corroborar los resultados y fortalecer las conclusiones de la investigación.

4) Software de Análisis

- **SPSS (Statistical Package for the Social Sciences):** Este software se utilizará para realizar análisis estadísticos avanzados, como pruebas de hipótesis, análisis de regresión y correlación, así como para generar gráficos y tablas descriptivas.

- **NVivo:** Para el análisis cualitativo, se empleará NVivo, un software especializado que facilita la organización, codificación y análisis de datos textuales y multimedia, permitiendo una interpretación más rica y detallada de los datos cualitativos.
- **Microsoft Excel:** Se utilizará Excel para la organización inicial de datos, la creación de gráficos simples, y para realizar cálculos básicos que complementen el análisis realizado en SPSS y NVivo.

Estas técnicas de procesamiento de datos garantizarán un análisis riguroso y exhaustivo de la información recopilada, permitiendo obtener conclusiones sólidas y bien fundamentadas que responderán a los objetivos y preguntas de la investigación.

3.4.2. Técnicas de Análisis e Interpretación de la Información.

El análisis e interpretación de la información recolectada en esta investigación se llevará a cabo mediante una combinación de técnicas cualitativas y cuantitativas, que permitirán descomponer, examinar y entender los datos en profundidad. Estas técnicas son esenciales para extraer conclusiones significativas y responder a las preguntas de investigación planteadas. A continuación, se detallan las principales técnicas que se emplearán:

1) Análisis Estadístico Descriptivo

- **Resúmenes Estadísticos:** Se utilizarán medidas de tendencia central (media, mediana, moda) y de dispersión (desviación estándar, rango) para proporcionar una visión general de las características de los datos cuantitativos. Esto permitirá identificar patrones y tendencias dentro de los datos que puedan ser relevantes para los objetivos de la investigación.
- **Tablas y Gráficos:** Se generarán tablas y gráficos (como histogramas, gráficos de barras y de dispersión) para visualizar los datos de manera clara y

comprensible. Esto facilitará la identificación de relaciones y diferencias entre las variables analizadas.

2) Análisis Inferencial

- **Pruebas de Hipótesis:** Se llevarán a cabo pruebas estadísticas como el t-test, ANOVA y análisis de regresión para determinar la significancia estadística de las relaciones entre las variables. Estas pruebas permitirán evaluar si las diferencias observadas en los datos son significativas y pueden generalizarse a la población en estudio.
- **Análisis de Correlación:** Se empleará el análisis de correlación para identificar la fuerza y la dirección de las relaciones entre diferentes variables, como la relación entre la gestión de residuos y la calidad ambiental. Esto ayudará a entender cómo interactúan las variables y a identificar posibles causas y efectos.

3) Análisis Cualitativo

- **Análisis de Contenido:** Los datos cualitativos obtenidos a través de entrevistas y encuestas serán analizados mediante la técnica de análisis de contenido, que implica la codificación y categorización de la información textual para identificar temas, patrones y significados recurrentes. Este análisis permitirá comprender las percepciones, actitudes y experiencias de los participantes en relación con la gestión de residuos y su impacto ambiental.
- **Análisis Temático:** Se utilizará el análisis temático para organizar los datos cualitativos en temas o categorías principales, lo que facilitará la interpretación de los hallazgos y la identificación de áreas clave de interés. Este enfoque es útil para sintetizar grandes volúmenes de datos textuales y extraer conclusiones significativas.

4) Triangulación de Datos

- **Integración de Resultados Cuantitativos y Cualitativos:** Para fortalecer la validez y confiabilidad de los hallazgos, se realizará una triangulación de datos, comparando los resultados obtenidos de los análisis cuantitativos con los hallazgos cualitativos. Esta técnica permitirá corroborar los resultados y ofrecer una interpretación más completa y robusta de la información.

5) Interpretación Crítica

- **Contextualización de Resultados:** Los resultados obtenidos serán interpretados en el contexto del marco teórico y las hipótesis planteadas. Se considerarán las implicaciones prácticas de los hallazgos y su relevancia para la gestión de residuos en la planta de fabricación de electrodos en Lurín.
- **Comparación con Estudios Previos:** Se compararán los resultados con estudios previos similares para identificar consistencias o discrepancias, lo que contribuirá a una mejor comprensión del fenómeno estudiado y a la generación de nuevas hipótesis o recomendaciones.

Estas técnicas de análisis e interpretación permitirán a los investigadores no solo descomponer los datos para una mejor comprensión, sino también integrar y contextualizar los resultados, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informadas y la formulación de recomendaciones prácticas.

3.4.3. Instrumentos de Recolección de Datos según la Metodología.

La recolección de datos en esta investigación se realizará mediante una combinación de encuestas estructuradas, entrevistas semiestructuradas, fichas de observación directa, muestreo ambiental y revisión documental. Las encuestas y entrevistas captarán datos cuantitativos y cualitativos sobre la percepción de la salud pública, la gestión de residuos y los

impactos ambientales tanto de los trabajadores de la planta como de la comunidad local. Las fichas de observación permitirán registrar sistemáticamente las condiciones ambientales y prácticas operativas en la planta, mientras que los muestreos ambientales medirán la calidad del aire, suelo y agua en las inmediaciones. Finalmente, la revisión de documentos internos como informes de producción y políticas de gestión ambiental ofrecerá una visión detallada del cumplimiento normativo y la eficacia de las prácticas actuales. Estos instrumentos, aplicados de manera complementaria, asegurarán una recolección de datos precisa y relevante para los objetivos de la investigación.

3.5. análisis de datos

El análisis de datos en esta investigación se llevará a cabo mediante un enfoque combinado de técnicas cuantitativas y cualitativas, lo que permitirá una interpretación exhaustiva y profunda de la información recolectada. Inicialmente, los datos cuantitativos obtenidos a través de encuestas, muestreos ambientales y revisión documental serán organizados y analizados utilizando herramientas estadísticas. Se emplearán técnicas de estadística descriptiva para resumir las características principales de los datos, como medias, desviaciones estándar y frecuencias, lo cual facilitará la identificación de patrones y tendencias en la gestión de residuos y su impacto ambiental. Posteriormente, se realizarán pruebas inferenciales, como t-tests, ANOVA y análisis de regresión, para evaluar la significancia estadística de las relaciones entre variables clave, como la cantidad de residuos generados y los niveles de contaminación en el entorno de la planta.

En paralelo, los datos cualitativos obtenidos a través de entrevistas y observaciones directas serán analizados mediante técnicas de análisis de contenido y análisis temático. Este enfoque permitirá identificar y codificar temas recurrentes, patrones y percepciones clave sobre las prácticas de gestión de residuos y su impacto en la salud pública y el medio ambiente. Los

resultados cualitativos serán triangulados con los hallazgos cuantitativos para fortalecer la validez y confiabilidad de las conclusiones. Finalmente, la integración de estos análisis proporcionará una comprensión completa y contextualizada de los datos, permitiendo una interpretación crítica y la formulación de recomendaciones prácticas para mejorar la gestión de residuos en la planta de fabricación de electrodos en Lurín.

3.6. Consideraciones éticas

La presente investigación se llevará a cabo con un estricto cumplimiento de los principios éticos, asegurando el respeto por los derechos y la dignidad de todos los participantes, así como la integridad del proceso de investigación. A continuación, se detallan las principales consideraciones éticas que guiarán el desarrollo de este estudio:

- ⇒ **Consentimiento Informado:** Todos los participantes, incluidos los trabajadores de la planta, personal administrativo y residentes locales, serán informados de los objetivos, procedimientos, riesgos y beneficios de la investigación. Se obtendrá su consentimiento informado por escrito antes de su participación, asegurando que su participación sea voluntaria y que comprendan plenamente su rol en el estudio.
- ⇒ **Confidencialidad y Anonimato:** Se garantizará la confidencialidad de la información proporcionada por los participantes. Los datos recolectados serán almacenados de manera segura y solo serán accesibles para el equipo de investigación. Además, los resultados se presentarán de forma agregada, sin revelar la identidad de los individuos, garantizando su anonimato.
- ⇒ **Protección de los Datos:** Los datos obtenidos serán tratados con estricta confidencialidad y se utilizarán exclusivamente para los fines de la investigación. Se implementarán medidas de seguridad adecuadas para proteger los datos contra accesos no autorizados, pérdida o divulgación indebida.

- ⇒ **No Maleficencia:** La investigación se conducirá de manera que no cause daño a los participantes ni al entorno. Se tomarán todas las precauciones necesarias para minimizar cualquier riesgo potencial, especialmente en lo que respecta a la salud de los participantes y la protección del medio ambiente.
- ⇒ **Transparencia y Honestidad:** Los hallazgos de la investigación serán reportados de manera honesta y transparente, sin alteración o manipulación de los datos. Se garantizará que los resultados reflejen fielmente la realidad observada, contribuyendo a la validez científica del estudio.
- ⇒ **Responsabilidad Social:** La investigación se llevará a cabo con un enfoque de responsabilidad social, asegurando que los resultados y recomendaciones beneficien a la comunidad y promuevan prácticas de gestión ambiental sostenibles. Se considerará el impacto social y ambiental de las recomendaciones propuestas para garantizar que sean éticas y viables.
- ⇒ **Cumplimiento Normativo:** La investigación se realizará en cumplimiento con todas las normativas éticas y legales vigentes en Perú. Se buscará la aprobación de un comité de ética si es necesario, para asegurar que todos los aspectos del estudio estén alineados con los estándares éticos reconocidos.

Estas consideraciones éticas son fundamentales para garantizar que la investigación se conduzca con integridad, respetando los derechos de los participantes y contribuyendo de manera positiva al conocimiento y la práctica en la gestión de residuos y la sostenibilidad ambiental.

IV. RESULTADOS

4.1. Introducción.

El residuo que se utilizó en esta investigación fue cascarilla de acero donada por la Corporación Aceros Arequipa. En la Figura 21, se muestra el esquema de producción de la planta de Aceros Arequipa, ubicada en la ciudad de Pisco, departamento de Ica (Luis Morales, 2016). Este residuo “cascarilla” es un subproducto siderúrgico que se genera durante el enfriamiento del proceso de laminación en caliente estos lugares se ubican en las zonas donde se apilan las palanquillas de acero que sales de la línea de colada continua, otra punto crítico es la zona de almacenamiento de los rollos de alambón que a la vez es la zona donde se apilan los rollos de alambón en paquetes de 2.5 a 3.0 ton en peso cada/paquete en esta zona donde se apilan los rollos sirve para realizar los despachos a los clientes a nivel nacional.

En la Figura 22, esquema de fabricación de electrodos de soldar como puno de ingreso se inicia con la recepción de los camiones con el alambón llegados de la planta de pisco, se almacenan apilándolo en una zona próxima a la plana de trefilado, seguidamente sigue con su proceso de control de calidad por la empresa de electrodos, los operarios seleccionan un rollo y se traslada al proceso de decapado químico para retirar la capa de oxido dejar expuesta la superficie del alambre para su refilado. El proceso químico se realiza sumergiendo en una tina con ácido clorhídrico grado industrial la totalidad del rollo, otro rollo se coloca en la misma línea de refilado pasa por un sistema de poleas que permite quebrar el alambón y liberar o romper la cascarilla de la superficie del alambre, que luego es recogido para su disposición final como residuo sólido.

En ambos esquemas, se detalla en el cuadro se indica con un círculo los lugares donde se detectó la presencia de la cascarilla de acero o laminilla de acero, en círculo rojo con la

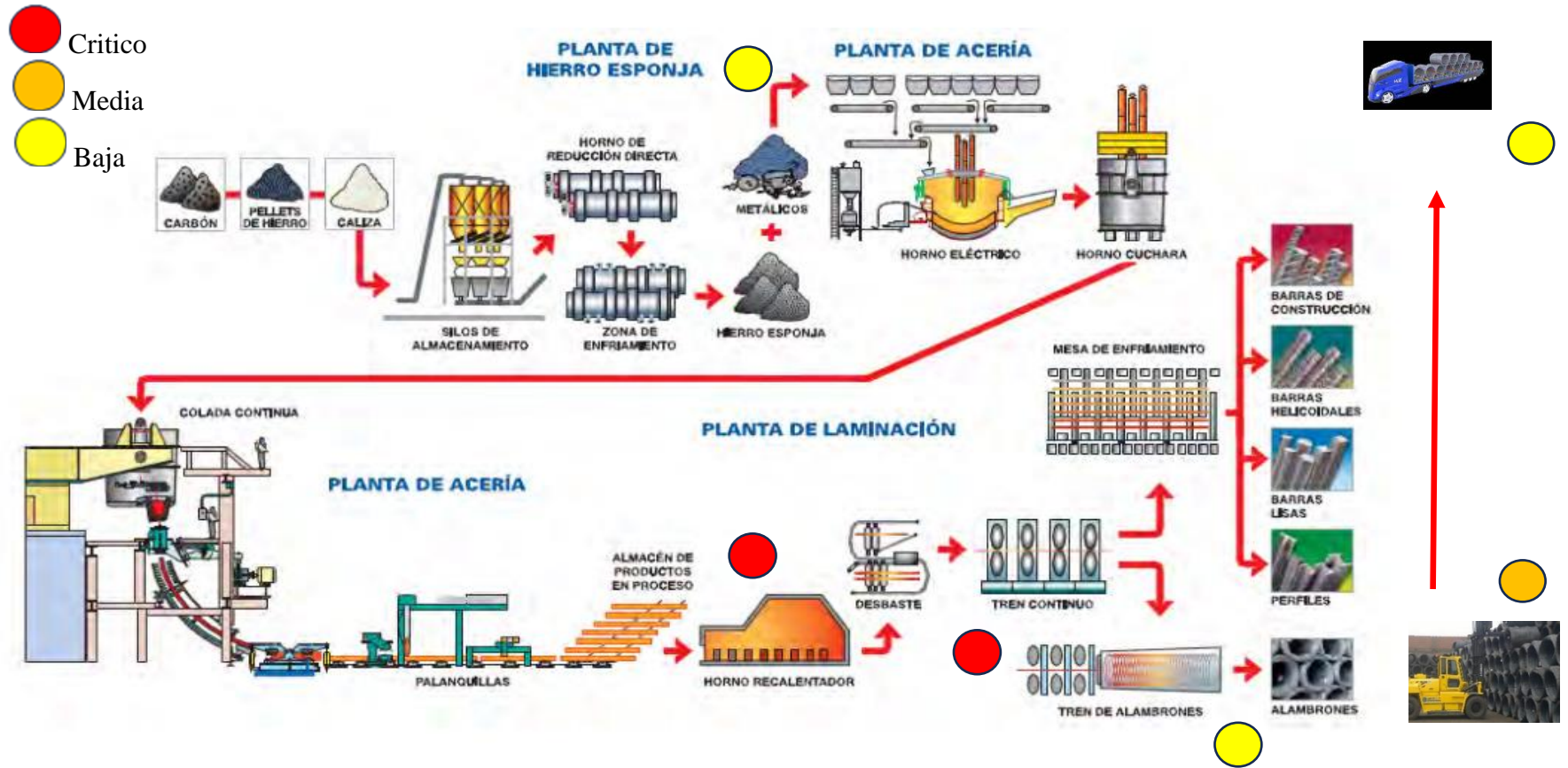
palabra Critico, circulo amarillo con la palabra media y circulo verde con la palabra Bajo, ciertamente en la planta de aceros Arequipa la zona donde se apilan las palanquillas y despachos es considerado como uno de los puntos críticos, así mismo la presencia de la cascarilla se detecta en varias zonas de la planta de producción como se indica en la Figura 21.

En la Planta de aceros Arequipa en la ciudad de Pisco en la provincia de Ica, se fabrican de varias calidades de aceros siendo las dos más importantes, la primera los llamados alambrones de superficie lisas y usados en la planta de electrodos que son fabricados de acuerdo con las especificaciones de la norma AISI/SAE1008 y el segundo grupo llamado varillas de acero corrugados de acuerdo a la norma ASTM A615 Grado 60, como se puede apreciar ambos productos tienen propiedades físicas y químicas diferentes para mercados diferentes, debo destacar que la planta puede fabricar otras calidades de acero de acuerdo a las necesidades del cliente.

En la Figura 22, se establece los pasos para transformar el alambón hasta convertirse electrodo para soldar, desde la recepción de los alambrones de acero cuya calidad es SAE1008, estos rollos son apilados para su posterior uso, así mismo se identificó los puntos críticos donde la presencia de la cascarilla es evidente y otras zonas donde la presencia de afluentes es crítica como en la zona donde se realiza el decapado químico en combinación con el óxido se convierte en cloruro férrico.

Figura 21.

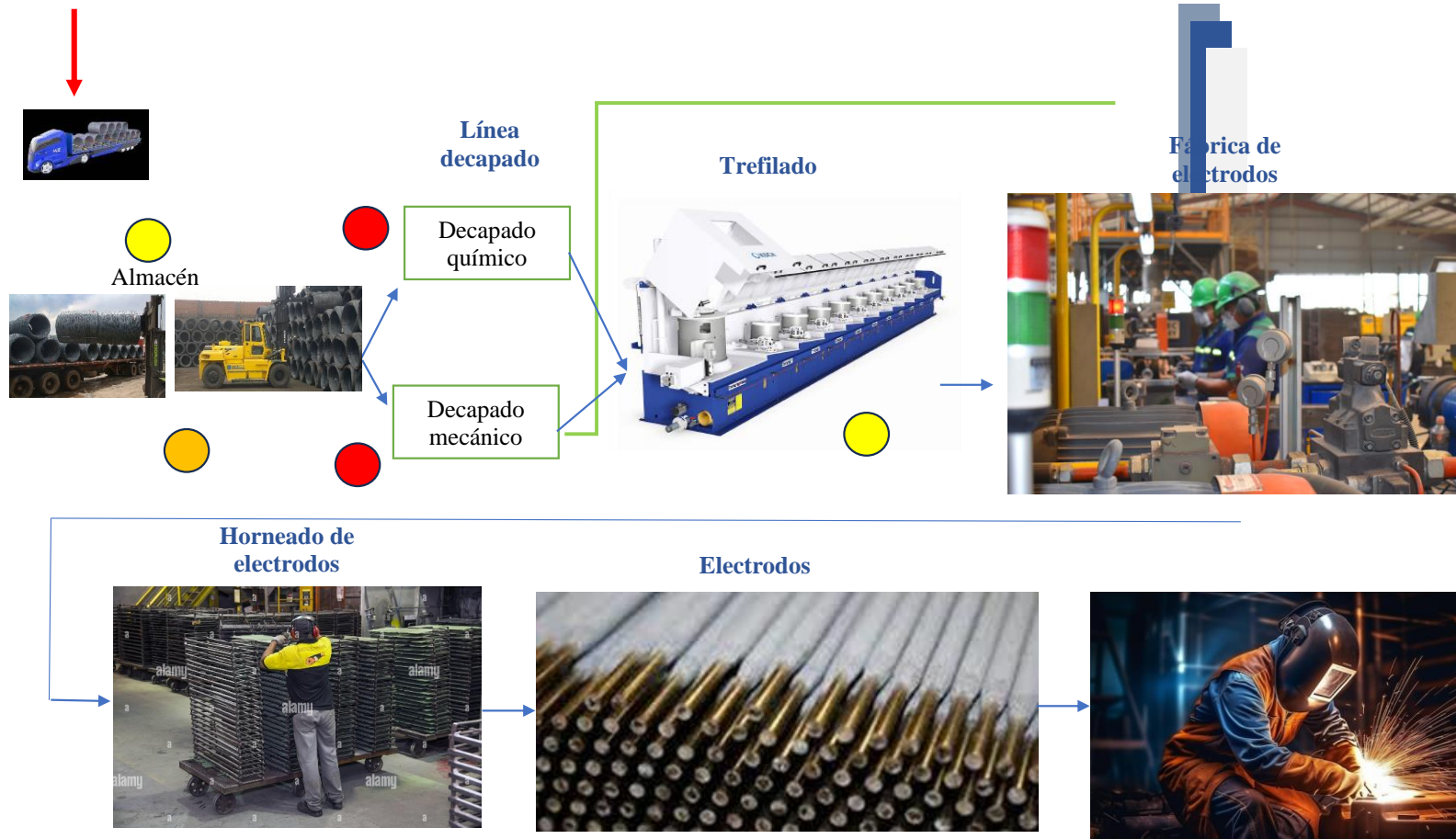
Esquema de fabricación de alambρόn de acero en la planta de Pisco de Aceros Arequipa en ICA



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22.

Esquema de fabricación de electrodos revestidos



Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Proceso de Fabricación del alambón de acero

El proceso de fabricación de los alambones empieza con la fabricación por colada continua con la producción las palanquillas de acero cumpliendo con las características físicas químicas requeridas por el cliente, en nuestro país los productos como lo indica la norma ASTM: SAE1008, SAE1006, SAE1010, ASTM A615 etc. este producto es precortado en barras cuadradas de 10 x10 pulgadas cuya longitud varia de 6 a 12m, todos estos productos son requerido en el mercado nacional e internacional, para nuestro caso nos concentraremos en el producto final alambón de acero SAE-1008 de diámetro 5.5 mm embalado en paquete de 2.5 a 3 Ton.

El proceso de fabricación del alambón se inicia seleccionando las palanquillas requeridas para fabricar alambón, se transportadoras en una fajas hacia un horno recalentador a razón de producción aprox. 45 TM/h , las palanquillas dentro del horno se van pre calentando hasta llegar a la cámara central y alcanza una temperatura cuyo valor aproximado es de 1200 °C con el objetivo de homogenizar la temperatura en toda la palanquilla este proceso toma varios minutos predefinido según la naturaleza del producto final, hay que destacar que la palanquilla debe tener una temperatura necesaria para su deformación plástica del acero, la atmosfera dentro del horno recalentador es enteramente oxidante y tiende a formarse una cascarilla del tipo $Fe_3O_{4(s)} + Fe_2O_{3(s)} + FeO$ sobre la superficie de la palanquilla el que luego va hacia un tren de laminación donde secuencialmente se va reduciendo y deformándose de una superficie cuadrada 10"x10" transformándose en una superficie redonda hasta llegar un diámetro final de 5.5 mm, este tren de trefilación consta de varios etapas, en la primera etapa la superficie cuadrada se transforma en una redonda para ello se emplean rodillos que son sometidos a una alta presión que permite reducir y deformar el acero hasta convertirlo en una superficies redondas lisas o este proceso también se emplea para la fabricación del alambre con

la forma corrugadas utilizadas en la construcción de casas e edificaciones, en esta etapa final de deformación hasta su proceso final se empieza a observar parte de esa cascarilla acumulándose por desprendimiento de la superficie, las cuales son recolectadas y dispuesto en zonas de residuos ya definidas por la planta en la Figura 27. El producto final pasa por una línea de enfriamiento a la intemperie, estas temperaturas son relativamente altas de aprox. 500 °C es necesario esperar hasta que alcance una temperatura segura para su disposición final por el personal de la planta y equipos. Esta cascarilla durante este proceso de fabricación del alambón se formará durante el enfriamiento que materia de esta investigación a los que llamaremos óxidos de hierro (wustita- magnetita-hematita). Se ha observado la presencia en cantidades muy reducidas de hierro metálicos adherido en la superficie en su composición final esto debido que, durante el descascarado de la palanquilla, una parte del metal es arrancado.

Del gráfico diagrama de fases del sistema FeO-Fe₂O₃-Fe₃O₄ ((Darken, 1945) se obtiene en valores teóricos de la posible composición de la cascarilla, como se indica en el cuadro siguiente.

Tabla 7.

Porcentajes del tipo de cascarillas x 100 habituales

FeO % T	Fe₂O₃ % T	Fe₃O₄ % T
0.1	0.58	0.32
0.12	0.56	0.32
0.25	0.43	0.32
0.3	0.38	0.32
0.35	0.5	0.15

Fuente: Obtenido de Darken (1945)

4.1.2. Composición química de la Cascarilla

Los resultados obtenidos en la determinación de la composición química de la cascarilla se observan en la Tabla 6 , se empleó un equipo de espectrometría de plasma tipo ICP-AES - modelo Spectro Génesis.

Tabla 8.

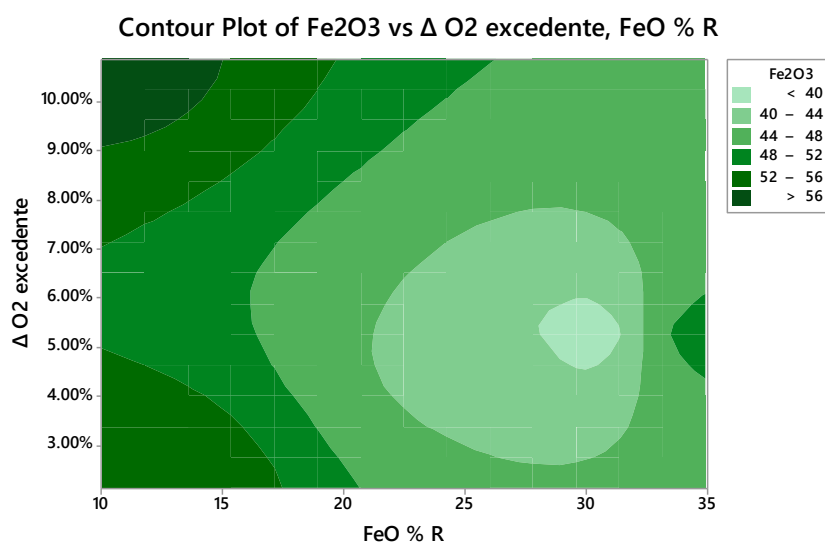
Composición química de la cascarilla de Aceros Arequipa

\bar{x} Elemento	%
Fe	68.21%
Al	0.24%
Ca	0.24%
Cu	0.04%
Mn	0.54%
Si	0.04%
V	0.29%
Co	0.01%
As	0.04%
C	0.01%
S	0.01%
* O₂	30.40%

Fuente: Elaboración propia

Se observa que en el reporte de análisis químico se reporta pequeñas cantidades de otros elementos: Mn, Cu, Si, C, Ca, Al, Co, V, S que suman en conjunto 1.452%, se detectó la presencia de materiales orgánicos como aceites y grasas que no exceden 1%.

Figura 23.

Resultados finales de FeO, Fe₂O₃ vs Δ O₂ excedente - pruebas de campo

Fuente: elaboración propia

Al efectuar el análisis en retroceso partiendo del contenido de Oxígeno para efectuar el balance oxígeno observamos en el balance un excedente de “Oxígeno” recalculando los contenidos oxígeno, sus resultados se observa los siguientes valores, ver Figura 23 de resultados finales.

Se confirma que para mantener en equilibrio la cascarilla los valores de FeO debe de estar entre un rango de 10 a 15% y Fe₂O₃ mayor a 56% y los contenidos Fe₃O₄ finales deberían estar contenidos en un rango 29 a 34% entendiendo ΔG deberá estar cercano a cero, esto corrobora el concepto original de la ecuación (Ec 2.8):

$$X_{Fe} d \ln a_{Fe} + X_O d \ln a_O = 0 \quad \dots\dots\dots(\text{Ec } 8.)$$

4.1.3. *Propiedades Físicas de los óxidos de cascarilla*

Seguidamente en la Tabla 8, las propiedades física-química en los diferentes óxidos presente en la cascarilla de hacer.

Tabla 9. Propiedades físicas-químicas de los óxidos de hierro de la cascarilla

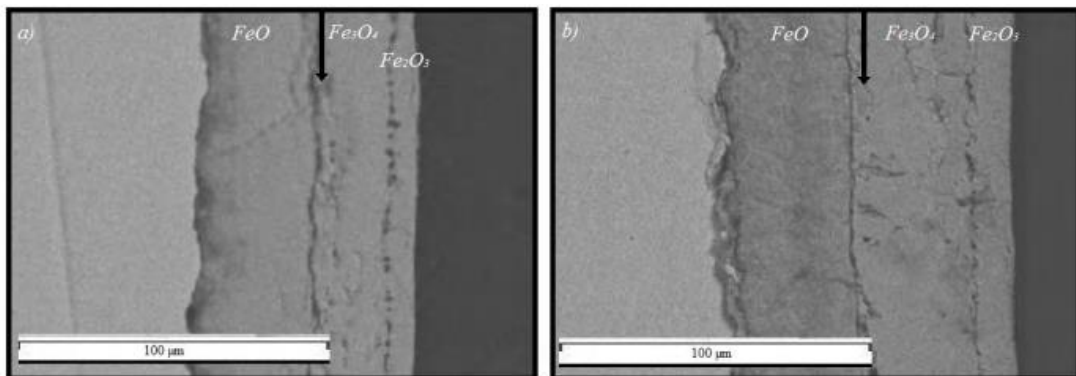
Propiedades	Unidades	Wustita	Magnetita	Hematita
Densidad	Kg M ⁻³	5670	5180	5340
Fuerza tensión	Mpa	0.4	4	10
Dureza	HV	270 - 350	420 - 500	1000
Difusividad Térmica	m ² s ⁻¹	0.7 x 10 ⁻⁶	0.2 – 3.0 x 10 ⁻⁶	0.2 – 3.0 x 10 ⁻⁶
Calor específico	J mol ⁻¹ K ⁻¹	58	200	150

Fuente: elaboración propia

En la investigación realizada por Yliana S. Barón, Gladys Navas y Augusto Ruiz, confirma la presencia de una cascarilla de oxido sobre las superficies en aceros al 1.25 Cr-0.5Mo enfriado al aire a 600C a diferentes tiempos expuesto al medio ambiente.

Figura 24.

Sección Transversal de un planchón de acero 1.25% Cr-0.5Mo



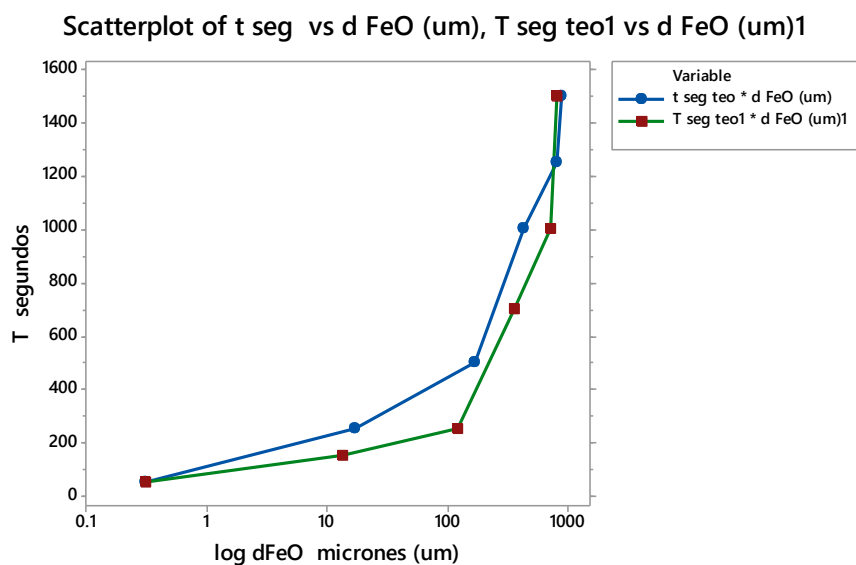
Fuente: Muestra a) superficie expuesta a 20 hr. Muestra b) superficie expuesta a 40 hr.

(Yliana S. Barón, 2010)

El siguiente paso fue efectuar varias pruebas piloto cambiando e incrementado la velocidad de enfriamiento y consultando con los responsables de planta el único lugar que podríamos realizar esta prueba era en la sección ubicado en el tren de trefilado de alambón y la mesa de enfriamiento, seguidamente los resultados, ver Figura 25, 26 y 27.

Figura 25.

Resultados finales del tiempo solidificación vs espesor FeO en μm

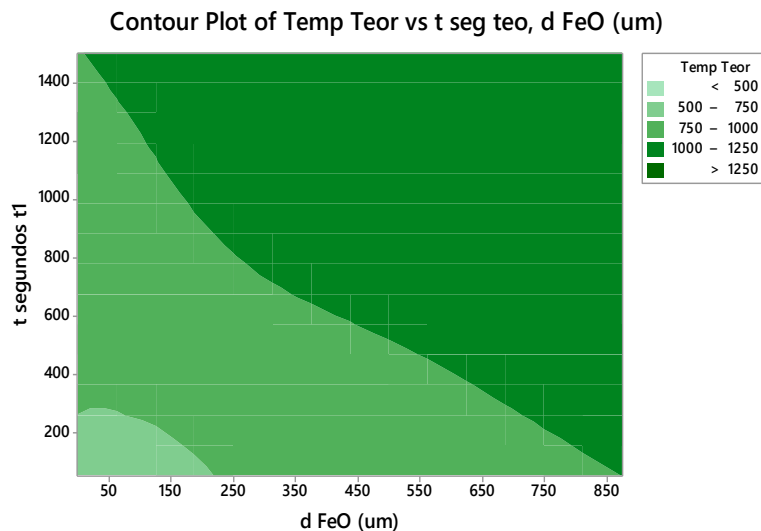


Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 25, 26 y 27, el espesor de la cascarilla se puede reducir si la enfría la superficie del alambre se enfría a alta velocidad, es por ellos que la empresa siderúrgica automatiza su proceso fabricación de alambrones.

Figura 26.

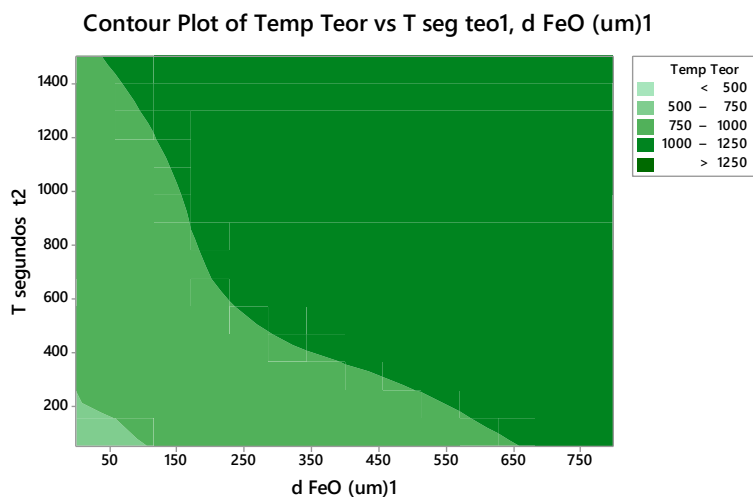
Test 1- Temperatura de enfriamiento vs. espesor de la capa FeO en micrones



Fuente: Elaboración propia

Figura 27.

Test 2- Temperatura de enfriamiento vs. espesor de la capa FeO en micrones



Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Acciones en la Planta Siderúrgica de Aceros Arequipa

Acero Arequipa decide por la Alta dirección ante estos análisis considera efectuar inversiones en modernizar su planta con el objetivo de incrementar su capacidad productiva.

Figura 28.

Línea de empaque y soldeo de los rollos



Cruceta para 3 rollos



Cruceta para 4 rollos

Fuente: a) situación antes del proyecto, b) situación con el proyecto, planta Pisco

Etapa de empaquetado

Figura 29.

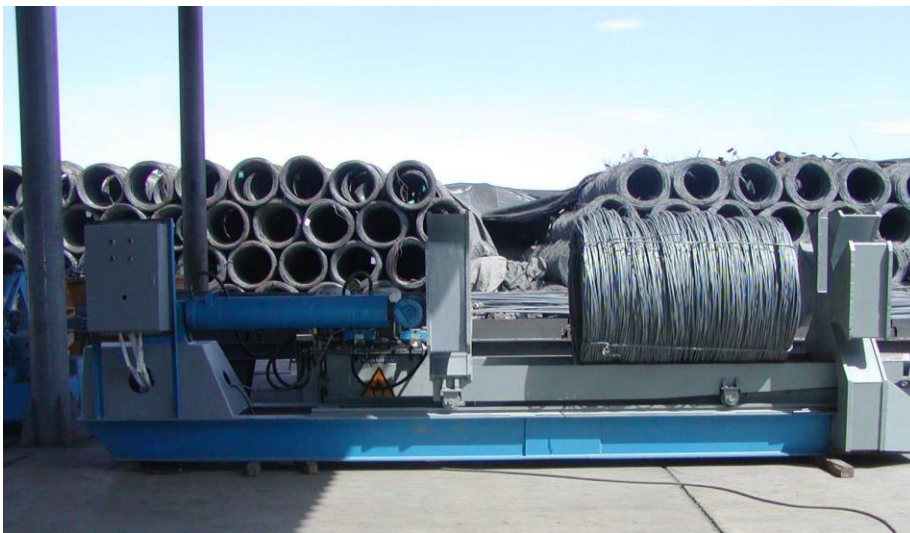
Línea de empaque manual antes de las mejoras



Fuente: Planta Pisco, elaboración propia

Figura 30.

Línea de empaque de prueba experimental antes de su automatización



Fuente: Planta Pisco, elaboración propia

Figura 31.

Línea de salida de las palanquillas del horno de colada continua



Fuente: Planta Pisco

Figura 32.

Planta de fabricación de hierro esponja aglomeración con la cascarilla de acero



Fuente: Planta Pisco

Figura 33.

Línea automatizada de fabricación de alambrones



Fuente: Planta Pisco

4.1.5. Proceso de Fabricación de Electrodo Revestidos

4.1.5.1. Preparación del núcleo- trefilado

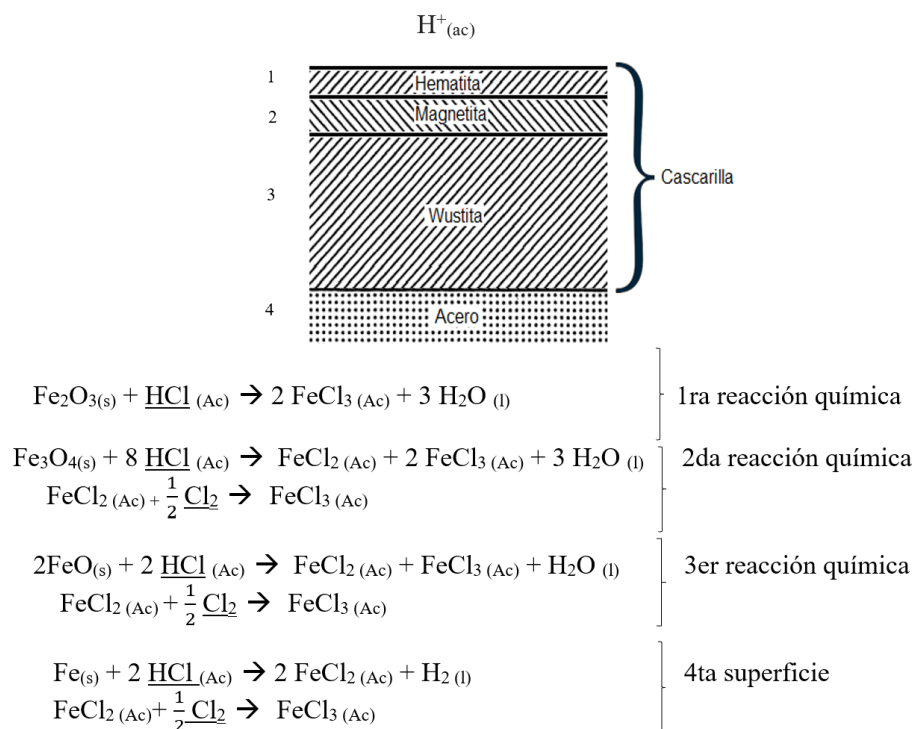
El alambón que proviene de la empresa Corporación Aceros Arequipa planta de Pisco se encuentra en paquetes en forma de bobinas cuyo peso varían de 2 a 3 Ton/paquete, estos paquetes son enviados sobre plataforma desde la ciudad de Pisco hacia la planta en la ciudad de Lurín en Lima, seguidamente es descargado y son apilado para su posterior uso. el alambón recepcionado está compuesto por dos tipos de diámetro 6.3 y 5.5 mm, antes de su uso en la planta de trefilado-corte este alambón pasa primero por un proceso de lavado y decapado químico y/o mecánico con el objetivo de retirar la cascarilla de acero y su posterior trefilado en frio donde se reduce el diámetro en varias etapas reduciendo entre 15 a 25% en cada diámetro hasta llegar a un diámetro final según los requerimientos del mercado de soldadura siendo los diámetros finales 5.0 mm, 4.0 mm, 3.2 mm y 2.5mm respectivamente.

4.1.5.2. Decapado químico

El proceso de decapado químico, consiste en sumergir el rollo sobre tinas conteniendo una solución altamente concentrada de ácido clorhídrico necesaria para disolver la cascarilla de óxido adherida en la superficie del alambre para luego ser trefilado en frío.

Figura 34.

Reacciones químicas con HCL (ac) con Cascarilla



Fuente: Elaboración propia

Se comprueba que la solución ácida después de un periodo de tiempo largo adquiere un color marrón oscuro y el producto final es una solución ácida altamente concentrada de cloruro férrico ($FeCl_3$) la misma que es renovado semanalmente cuando la capacidad de disolución de la cascarilla no se completaba satisfactoriamente o los tiempos que el rollo de alambón permanecía sumergido eran muy largos, estas soluciones eran luego dispuestas en reservorios a la intemperie en la misma empresa, posteriormente se contrató una empresa que manejara estas soluciones pero al poco tiempo lo abandono debido que su manejo le resultaba muy

complicado, en este caso particular se revisó mucha la información del autor Gonzales Fabián cita que “El cloruro de hierro es un sólido marrón negruzco que se usa en el tratamiento de aguas residuales y desechos industriales. También se usa en grabados, textiles y fotografía, así como desinfectante” (González, 2018).

Se habló con el proveedor local de ácido clorhídrico y se coordinó efectuar una prueba de campo con la posibilidad de suministrar cloruro férrico que a su vez era proveedor de la empresa Sedapal y se le propuso un cambio por el cloruro férrico de nuestro proceso a cambio del ácido que nos vendía y la planta de decapado químico ya no se tendría que disponer su almacenamiento en el reservorio en la misma planta.

¿Porque nuestro cloruro férrico era apropiado para obtener FeCl_3 ?

Respuesta: La solución de cloruro férrico obtenido durante el decapado químico está libre de metales pesado ya que el insumo principal utilizado es óxido de hierro puro permitiendo obtener cloruro férrico ideales para el tratamiento del agua, el uso de chatarra de acero para obtener cloruros puede estar expuesto a disolución metales pesados si no son preseleccionado antes de su uso.

4.1.5.3. Decapado Mecánico

Consiste en pasar por rodillos quebrantando el alambre flexionándolo mediante el pase por rodillos como se muestra en la Figura 31, ello permite el desprendimiento de la cascarilla de acero del alambón e ingresar a un proceso de limpieza de escobillas rotativas antes de ingresar al proceso de trefilado en frío donde el primer pase de reducción se reduce un 20% del diámetro de entrada hasta diámetro final de 3.2 mm, una de las condiciones para el proceso que las propiedades del alambre sea lo más maleable posible para este proceso se consigue con un alambón cuyo contenido de carbono $C < 0.08\%$.

Figura 35.

Equipo para decapado mecánico a la entrada de la línea de trefilado



Fuente: Elaboración propia

El alambón debe ser de un acero del tipo AISI/SAE-1006 o SAE-1008, las bobinas de alambón necesarios de un diámetro de 5.5 mm hasta 6.3 mm, las que son colocadas en un desbobinador de alambre cuya capacidad de peso/rollo es de aprox. 2 TM, donde son estiradas primeramente, el tren de trefilado en seco en cuyo tambores el alambre es reducido en cada pase hasta alcanzar un diámetro final de acuerdo a las reglas internacionales de soldadura en la misma línea de fabricación en proceso de corte en tándem donde se endereza dicho alambre y pasa luego a un sistema corte automático cuyas longitudes es de $350 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ a una velocidad entre 200 a 500 cortes/min (1.2 a 3.0 m/seg) en otras plantas la velocidad de corte puede llegar a 1000 a 1500 cortes/min (5.8 a 8.8 m/seg), en cada una de las etapas de reducción del alambre en seco se emplean lubricantes sólidos llamados jabones sódicos y potásicos, estos jabones permiten reducir la fricción y no dañar la superficie del alambre. Los alambres cortados son almacenados, trasladados y acondicionados en la máquina alimentadora de alambres para

la fabricación de electrodos para facilitar su extrusión con la masa húmeda para formación del electrodo revestido.

Figura 36.

Línea de trefilado en seco del alambre a un diámetro 3.25 mm



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 . Requerimientos de diámetro y longitudes del alambre para la fabricación de los electrodos revestidos

TABLE 12
STANDARD SIZES AND LENGTHS

Core Wire Diameter ⁽¹⁾		Lengths ^(1,2)	
A5.1 (in.)	A5.1M ⁽³⁾ (mm)	A5.1 (in.)	A5.1M (mm)
1/16	1.6	9	225
5/64	2.0	9 or 12	225 or 300
3/32	—	12 or 14	—
—	2.5	—	300 or 350
1/8	3.2	14	350
5/32	4.0	14 or 18	350 or 450
3/16	—	14 or 18	—
—	5.0	—	350 or 450
7/32	—	14 or 18 or 28	—
—	6.0	—	350 or 450 or 700
1/4	—	18 or 28	—
5/16	8.0	18 or 28	450 or 700

NOTES:

- (1) Lengths and sizes other than these shall be as agreed between purchaser and supplier.
- (2) In all cases, end-gripped electrodes are standard.
- (3) ISO 544 *Welding consumables—Technical delivery conditions for welding filler materials—Type of product, dimensions, tolerances and markings.*
See 20.2 for tolerances on diameter and length.

Fuente: Tomado de la Tabla 12 de la norma AWS-ASMESFA 5.1/5.1M

4.1.5.4. Distribución Granulométrico

Se tomó una muestra de la cascarilla de la planta de Aceros Arequipa de aprox. 2 kg, a la que se identificó “Muestra Testigo” que luego fue cuarteada para análisis de acuerdo a la norma ASTM C702, siendo tamizada en un equipo llamado Ro-Tap con una serie de mallas ASTM. En la Tabla 10, se presenta las características granulométricas de esta muestra. Para visualizar esta granulometría se analizó utilizando las funciones de distribución granulométrica llamada Rosin Rammler de doble logarítmica que emplea la siguiente ecuación:

$$R(d) = 100e^{-(x/x_0)^n} \quad \dots\dots\dots \text{(Ecu. 11)}$$

Se toma logaritmo natural dos veces, entonces la Ecuación establecida queda establecida de la siguiente forma:

$$\log \left(\log \frac{100}{R(d)} \right) = n \cdot \log d + \frac{\log e}{X_0^n} \quad \dots\dots\dots \text{(Ecu. 11)}$$

Tabla 11 .

Distribución granulométrica de la cascarilla utilizado en laboratorio de prueba

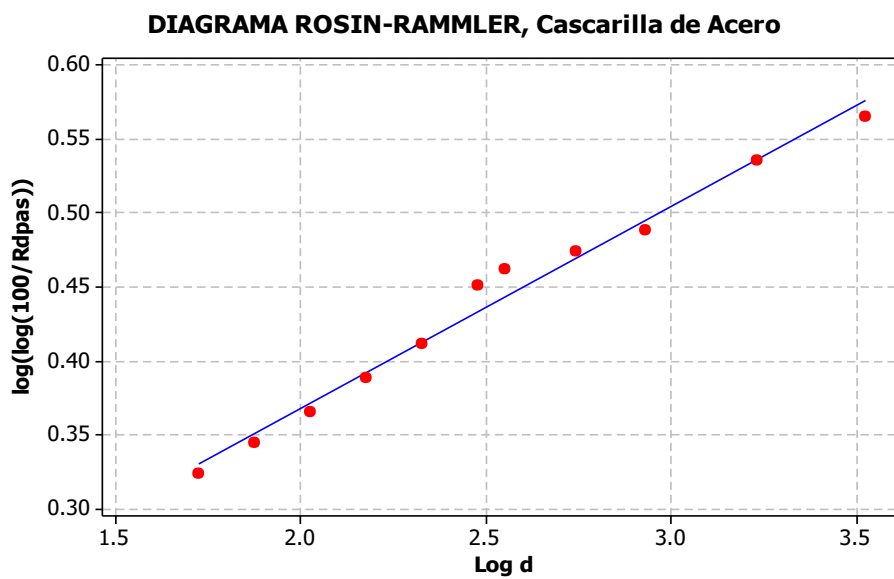
Malla ASTM	Tamaño Micrones (um)	Fx	Rx	F(x)
5/8'	16000	2.6	2.6	97.4
1/2'	12700	2.3	4.9	95.1
3/8'	9510	4.94	9.84	90.16
4	4760	27.21	37.05	62.95
6	3350	15.6	52.65	47.35
8	2360	14.94	67.59	32.41
10	2000	5.01	72.6	27.4
20	850	17.57	90.17	9.83
30	600	2.82	92.99	7.01
40	425	2.21	95.2	4.8
50	300	1.2	96.4	3.6
70	212	1.07	97.47	2.53
100	150	0.77	98.24	1.76

150	106	0.35	98.59	1.41
200	75	0.4	98.99	1.01
270	53	0.35	99.34	0.66
fondo	-	0.66	100	-
Total		100		

Fuente: Elaboración Propia

Figura 37.

Distribución normal de la data de la granulométrica de la cascarilla según R-R



Fuente: Elaboración propia

Resultado final de varias pruebas acondicionando la granulometría lo más cercano a lo requerido para uso en la formulación del electrodo E6011, utilizando el programa Minitab efectuamos una corrida y los resultados se muestran en el resultado siguiente.

Equation:Regression Analysis: $\log(\log(100/Rd))$ versus Log d

The regression equation is

$$\log(\log(100/Rd)) = 0.0946 + 0.137 \text{ Log } d$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.09456	0.01524	6.20	0.000
Log d	0.136649	0.005945	22.99	0.000

S = 0.0106033 R-Sq = 98.3% R-Sq(adj) = 98.1%

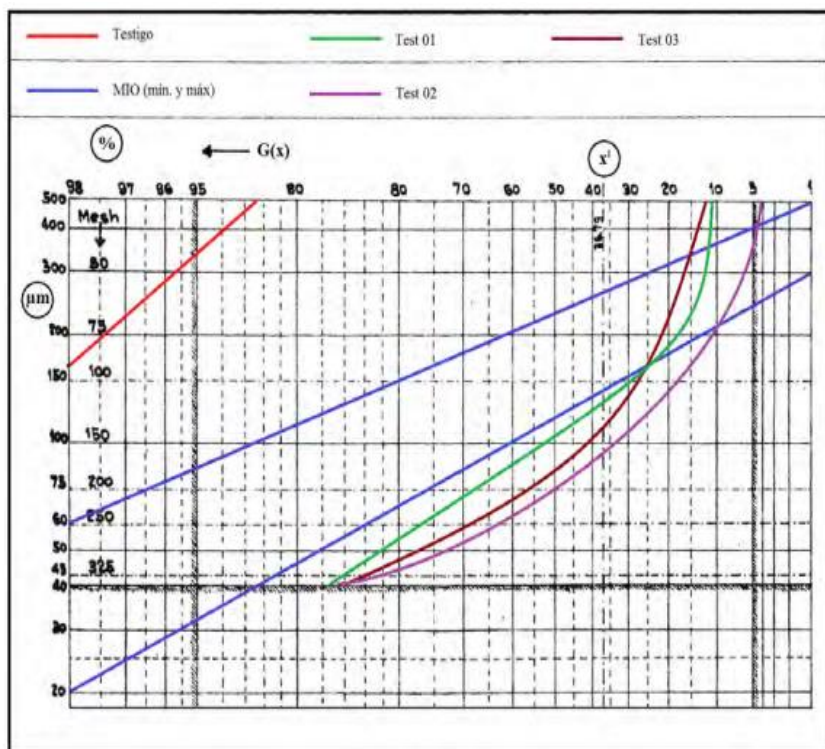
Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.059411	0.059411	528.42	0.000
Residual Error	9	0.001012	0.000112		
Total	10	0.060423			

Los resultados de la data se observan en la Figura 32, con R-Sq : 98.3% en R-R. Como se puede observar el p-value < 0.05 por tanto se acepta la ecuación encontrada como el mejor modelo para cascarilla de acero.

Figura 38.

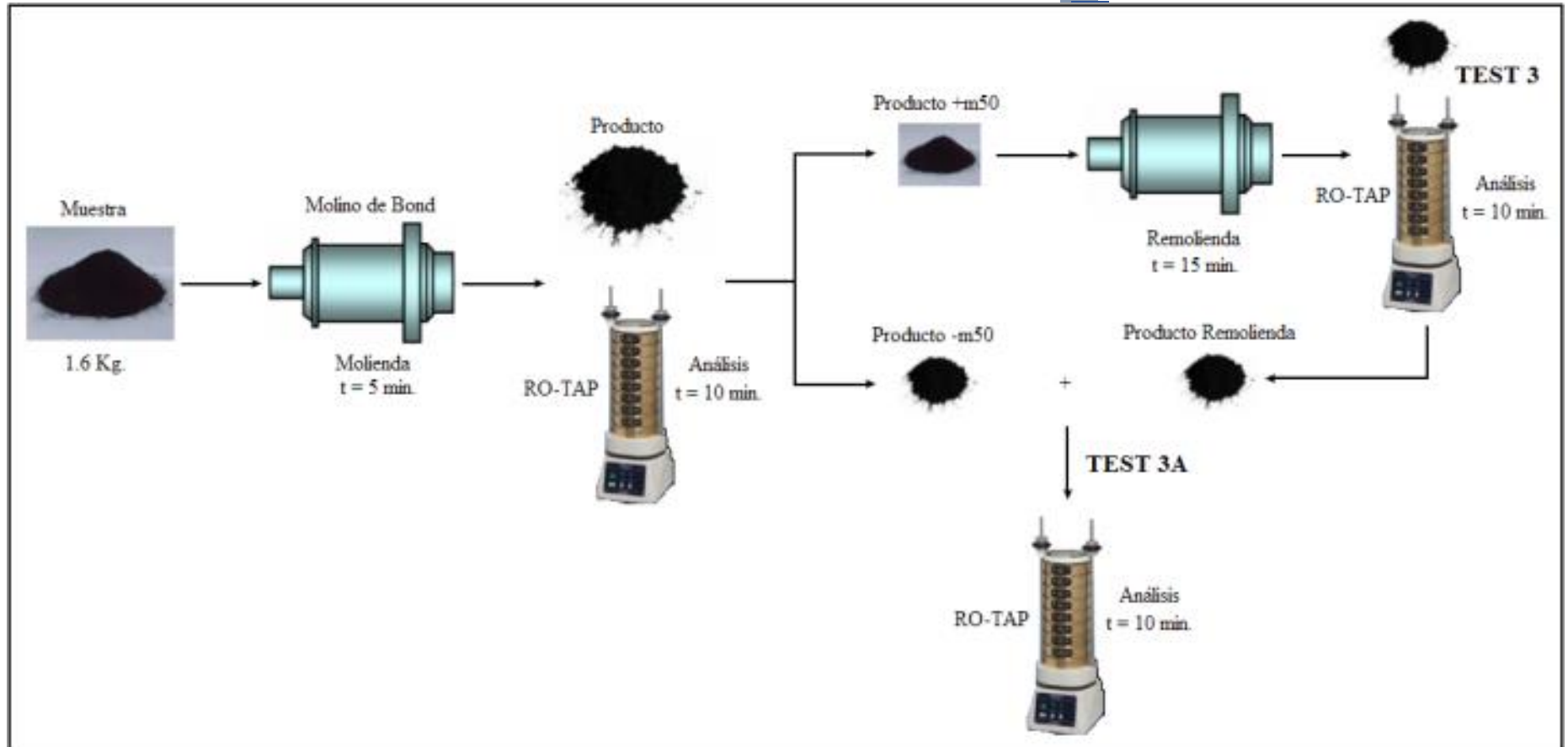
Resultados de varios test granulométricos, líneas en azul son los rangos máximos y mínimos requeridos para preparar la mezcla de prueba.



Fuente: elaboración propia

Figura 39.

Esquema preparación de la muestra para análisis granulométrico para el cálculo P_{50} de la cascarilla de acero usando molino Bond



Fuente: Elaboración propia

4.1.5.5. Índice de Finura de la masa seca (IF)

El índice de finura (IF) es un término muy empleado en los procesos de mezclas en fundiciones en arenas de moldeo para determinar el tamaño de granos que predomina en la muestra. Para el caso, se emplea en la mezcla de masa seca ya que los componentes empleados en la fabricación del revestimiento que está compuesto por minerales metálicos y no metálicos en forma de polvos preestablecido en las cantidades establecido como receta propia del fabricante de electrodos.

Esto se puede observar en la curva de distribución granulométrica. El índice de finura IF en el revestimiento afecta las propiedades físicas que desarrollan las mezclas, así como a su resistencia y plasticidad; estas deficiencias se ven reflejadas en el proceso de extrusión de los electrodos. Cuando la mezcla tiene un alto contenido de gruesos, los electrodos presentan una superficie áspera o demasiado poroso que tiende adsorber la humedad. Asimismo, cuando la mezcla tiene un alto contenido de finos, se requiere mayor cantidad de aglutinantes para obtener las propiedades físicas requeridas. La Tabla 10 muestra la relación entre el IF y el tamaño de partícula.

Tabla 12 .

Relación entre el Índice de Finura y tamaño de la partícula.

Descripción	IF	Tamaño micrones (µm)
Muy grueso	< 18	1000-2000
Grueso	18 - 35	500 -1000
Medio	35 - 60	250 - 500
Fino	60 - 150	100 - 250
Muy fino	>150	< 100

Fuente: Norma ASTM C702

Para calcular el índice de finura IF, se hace pasar la muestra a través de una serie de tamices y se anota el peso retenido en cada tamiz, este peso se recalcula en forma de porcentaje

en peso $f(x)$, luego, se multiplican estas cantidades por una serie de factores establecidos en la norma ASTM, en la investigación se emplean las normas siguientes ASTM C-702 y ASTM C-136, en la Tabla 13, se muestra los resultados obtenidos (ASTM C702, 1998) y (ASTM:C-136, 2005).

Tabla 13 .

Cálculo de índice finura (IF) según ASTM C136, Test Prueba 1

Malla	αi	f (x) i	$\alpha i . f (x) i$
6	3	3.016	9.048
10	5	2.097	10.485
20	10	3.992	39.92
30	20	1.381	27.62
40	30	1.217	36.51
50	40	1.198	47.92
70	50	9.207	460.35
100	70	11.513	805.91
150	100	10.259	102.59
200	140	18.686	2616.04
270	200	15.866	3173.2
Fondo	300	21.569	6470.7
Total		100	14723.603

Fuente: los tamices empleados son tamices de la serie WS Tyler

En la Tabla 14, se reporta con los valores ajustando los tiempos de moliendabilidad con una carga de bolas en seco, el cálculo se aplica la ecuación (Ec. 12).

Caso 1: Muestra estándar sin cascarilla

$$IF = \frac{\sum(\alpha i . f(x)i)}{100} \dots\dots\dots \text{(Ecu. 12)}$$

Aplicando la fórmula:

$$IF = \frac{14723.60}{100} = 147.23 \quad \dots\dots\dots \text{(Ecu. 13)}$$

Caso 2: Muestra 2 ajustando los tiempos de molienda de la cascarilla, la carga de bolas secas se adjunta el valor más próximo a lo requerido IF.

$$IF = \frac{14499.778}{100} = 144.99 \quad \dots\dots\dots \text{(Ecu. 13)}$$

Tabla 14 .

Cálculo del índice de finura Test prueba 2 Rem (ASTM:C-136, 2005)

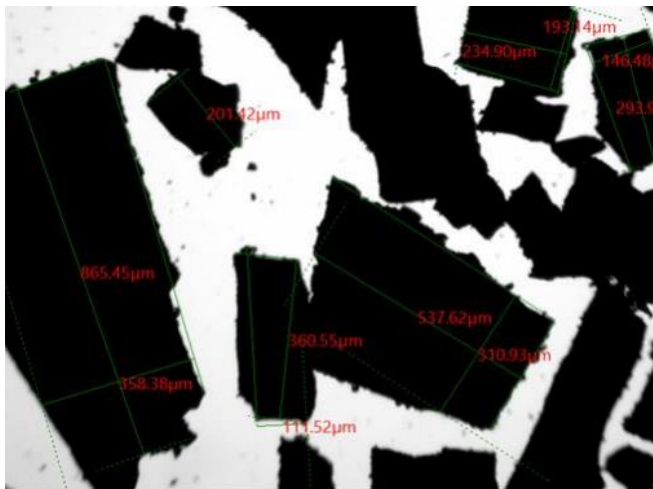
Malla	αi	$f(x) i$	$\alpha i . f(x) i$
6	3	2.121	6.363
10	5	1.579	7.895
20	10	4.693	46.93
30	20	2.14	42.8
40	30	2.121	63.63
50	40	2.305	92.2
70	50	11.348	567.4
100	70	9.648	675.36
150	100	12.233	1223.3
200	140	13.22	1850.8
270	200	16.545	3309
Fondo	300	22.047	6614.1
Total		100	14499.778

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia, se adjunta el procedimiento de forma esquemático empleado en la preparación de la muestra ver Figura 38, el reporte Figura 39, las fotografías del producto final en las Figuras 40 y producto final con molienda Figura 41 correspondiente a la cascarilla de acero.

Figura 40.

Fotografía de superficie de cascarilla de alambrón con un aumento 4X

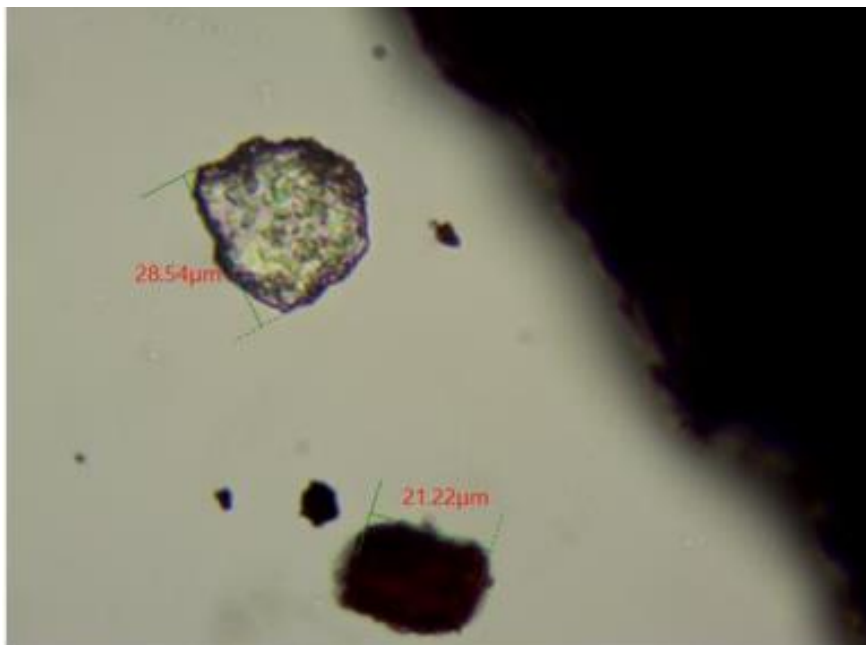


Fuente: Efectuado en el laboratorio Metalográfico de la Univ. Nacional Ingeniería,

FIGMM

Figura 41.

Fotografía de la Superficie de la cascarilla remolienda con aumento a 100X



Fuente: autor Fabian Godoy, Univ Chile (Yarovchuk, 1997)

4.1.5.6. Preparación de la mezcla seca

Obtenido el producto cascarilla lo más próximo ideal granulométrico, por otro lado el alambre trefilado al diámetro 3.25 mm y cortado de acuerdo de los requerimientos de la norma AWS ASME sección II part C: SFA5.1/5.1M ver tabla 9, se preparan por separado los constituyentes del revestimiento (minerales metálicos y no metálicos, ferroaleantes y la cascarilla todos en forma de polvos) en las proporciones y formulas del fabricante; todos estos constituyentes poseen una distribución granulométrica específica de acuerdo a las normas internacionales; la mezcla de estos materiales se da en proporciones establecidas dentro de la mezcladora. Los revestimientos para fabricar serán del tipo electrodos del tipo celulósico las cuales han sido preparados de acuerdo con un diseño DOE para mezclas para revestimientos ver Tabla 29.

4.1.5.7. Preparación de la mezcla húmeda

En esta etapa, se adiciona todos minerales metálicos y no metálicos en seco previamente acondicionado en sacos con un peso determinado, luego de permanecer un tiempo en la máquina mezcladora, se le añade silicato (sódico o potásico) para que aglomere las partículas y forme una masa homogénea. Este aglutinante es mezclado previamente con agua en la proporción de 1:1., la mezcla resultante se prensa para formar una briqueta cilíndrica y cargarla en la unidad hidráulica, la aplicación del recubrimiento se efectúa mediante la extrusión en una prensa a una presión de carga de aproximadamente 200 PSI.

En esta etapa, las varillas pre cortadas a una longitud de 350mm en la línea de trefilado-corte es dispuesta en receptores de alambres que es alimentada rápidamente hacia la prensa hidráulica, mientras esta extruye el revestimiento húmedo alrededor de la varilla y forma el electrodo. Los electrodos que salen de la prensa se ponen a prueba en un probador de excentricidad donde se mide la desviación magnética con una precisión de 1/100 mm, los

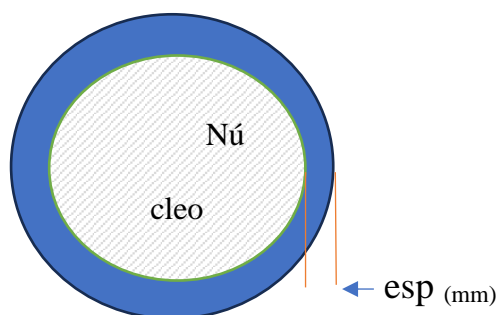
electrodos que son rechazados son enviados a la máquina de extracción de revestimiento, para reutilizar la varilla de alambre y el revestimiento.

Los electrodos que pasan son transportados hacia la máquina de cepillado, la cual retira el exceso de masa en las puntas de los electrodos, facilitando el encendido. Después de que los electrodos se extienden en la bandeja son secados al aire y luego se introducen en el horno para eliminar la humedad (no debe exceder el 15%), los electrodos horneados y secos se toma una muestra y son llevados al módulo de validación de control de calidad.

En el control de calidad y con el apoyo de soldadores certificados en AWS, se efectúa las pruebas de soldeo en diferentes posiciones, se verifican los contenidos de humedad y se revisa las dimensiones externas del electrodo y si ello es conforme se embla finalmente.

Tabla 15.

Espesor de la pared del revestimiento del electrodo para prensado



Diámetro Nucleó mm	Diámetro final Rev mm	Espesor pared mm
1.6	2.7	0.55
2	3.3	0.65
2.5	3.85	0.675
3.2	4.9	0.85
4	5.75	0.875
5	6.95	0.975
6.3	8.45	1.075

Fuente: elaboración propia

La preparación de las mezclas húmedas o test de pruebas se efectuaron en la planta piloto de Nexsol, las diferentes mezclas se prepararon utilizando diferentes minerales seleccionados por sus características físico-química y requerimiento de la norma, para lo cual se determinó utilizando un diseño de experimentos DOE de Minitab, seguidamente el electrodo prensado es evaluado en el test de validación de acuerdo a los requerimientos de la norma AWS ASME sección II part C: SFA5.1/5.1M.

Se opta por el diseño experimental tipo Factorial utilizando DOE usando programa Minitab. El autor D. C. Montgomery (Douglas, 2013) cita “El Diseño de Experimentos (DOE) es un ensayo o serie de ensayos en los que se realizan cambios selectivos en las variables input de un proceso o sistema para que podamos observar e identificar las razones de los cambios en la respuesta de output.” (p.187)

Para la presente investigación, se muestra el esquema general para el análisis granulométrico sobre Indicé de Finura IF ver Figura 37.

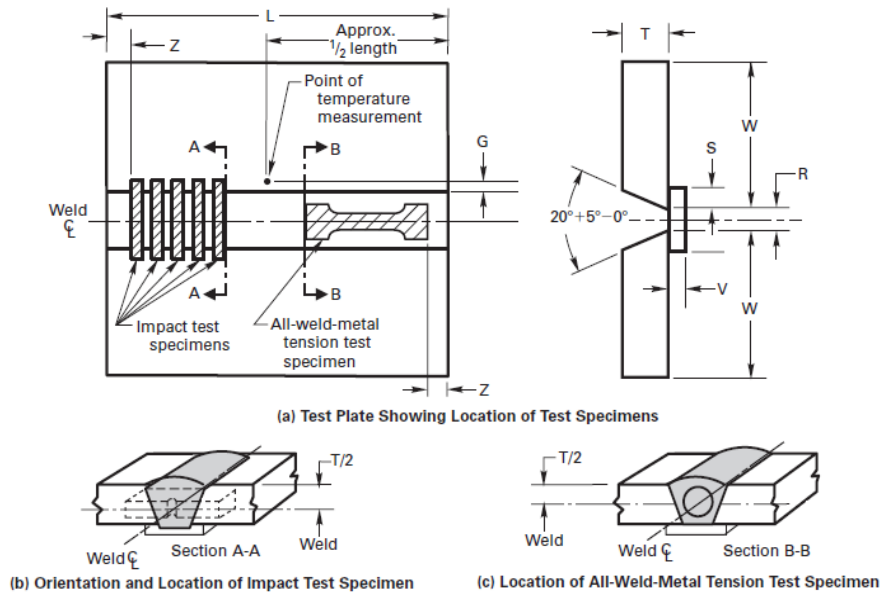
Para efectos de validación utilizaremos como referencia la Norma American Welding Society AWS que es adoptada por ASME en la sección II part C: SFA5.1/5.1M. para la fabricación de electrodos la clase E6011 donde se establece una serie de requisitos que debe cumplir el electrodo entre las que destacaremos lo siguiente aspectos:

- a) Clasificación del tipo de electrodo de acuerdo a su naturaleza del revestimiento, el cual va desde tipo celulósicos con alto contenido de sodio o potasio.
- b) Clasificación de otros tipos de revestimientos de alto contenido de rutilo con sodio o potasio para el tipo de corriente CA o DC.
- a) Clasificación de otros tipos de revestimientos con alto contenido de hierro en polvo, de los cuales destaremos los principales productos como se indica ítem líneas arriba.

- b) Los electrodos se pueden diferenciar por el tipo de corriente que utilizara el soldador pudiendo ser para corriente alterna (CA) o corriente continua de polaridad positiva (DCEP) o de polaridad negativa (DCEN).
- c) Dependiendo de la posición en que va ser soldado si esta es posición plana, de filete o sobre cabeza, ascendente o descendente.
- d) Así mismo también se estable para cada tipo de electrodo los requerimientos mínimos que debe cumplir siendo las principales las propiedades químicas y mecánicas y posición de soldeo.
- e) Se establece los criterios para una inspección radiográfica por ensayo No Destructivo END.
- f) Humedad del electrodo.
- g) El contenido de hidrogeno difusible para aquellos electrodos especiales.
- h) Amperajes de soldeo en función del diámetro y el tipo de corriente, etc.
- i) La norma también indica como se debe de preparar las probetas para los test de ensayo requeridos.
- j) La norma establece los requisitos para cualquier tipo de electrodo desde materiales ferrosos, no ferrosos, de alto o bajo carbono o para diferentes tipos de aceros especiales.

Figura 42.

Diagrama para la preparación de las probetas para ensayo mecánico según AWS: SFA5.1/5.1M



Fuente: Tomado de AWS (2015)

4.1.6. Resultados finales

4.1.6.1. Resultados de ensayo químico

Tabla 16.

Resultado final de la composición química del depósito de soldadura

Producto	% C	% Mn	% Ni	% Cr	% Mo	% Cu	% Si	% S
M12-test	0.11	0.71	0.03	0.04	0.01	0.08	0.43	0.015
M14-test	0.07	0.64	0.04	0.03	0.01	0.06	0.31	0.012
M10-test	0.09	0.54	0.04	0.03	0.01	0.07	0.2	0.013
ASME								
SFA5.1.								
E6010								
E6011	0.2	1.2	0.3	0.2	0.3	0.08	1	No específica
E6012								
E6013								

Fuente: Se destacan los test más próximos a los requisitos de la norma

4.1.6.2. Resultados de ensayo de Tracción

Prueba de ensayo Mecánico: las probetas se confeccionaron de acuerdo a la norma ASTM A370, antes del ensayo la probeta esta debe estar sometida por 40hr a una temperatura 90°C para la eliminación del hidrogeno.

Tabla 17.

Resultado final de ensayo de tensión del depósito de soldadura

Test	Fluencia (MPa)	R.Máxima (MPa)	Elongación (%)
M12-test	479	567	22
M14-test	473	540	29
M10-test	479	567	24
M15-test	468	574	31
ASME SFA5.1 E6010			
	330	430	22

Fuente: elaboración propia

Figura 43.

Ensayo de tracción



Fuente: Laboratorio No 4 en la FIGMM

4.1.6.3. Resultado final de ensayo Impacto

Para este tipo de pruebas, las probetas se confeccionaron de acuerdo a la norma ASTM E23 y ensayado a diferentes temperaturas, los requisitos de la norma piden la confección de 5 especímenes eliminando el mayor y menor valor del ensayo y se promedia 3 las restantes, [27 J at -30°C], para efectos de nuestra investigación se ensayamos a diferentes temperaturas 20°C a -45°C con la finalidad el comportamiento del prototipo. Las probetas ensayadas son de un área $10 \times 10 \text{ mm} \times 55 \text{ mm}$ de longitud con una muesca tipo V (AWS, 2015).

Figura 44.

Preparación para test de impacto

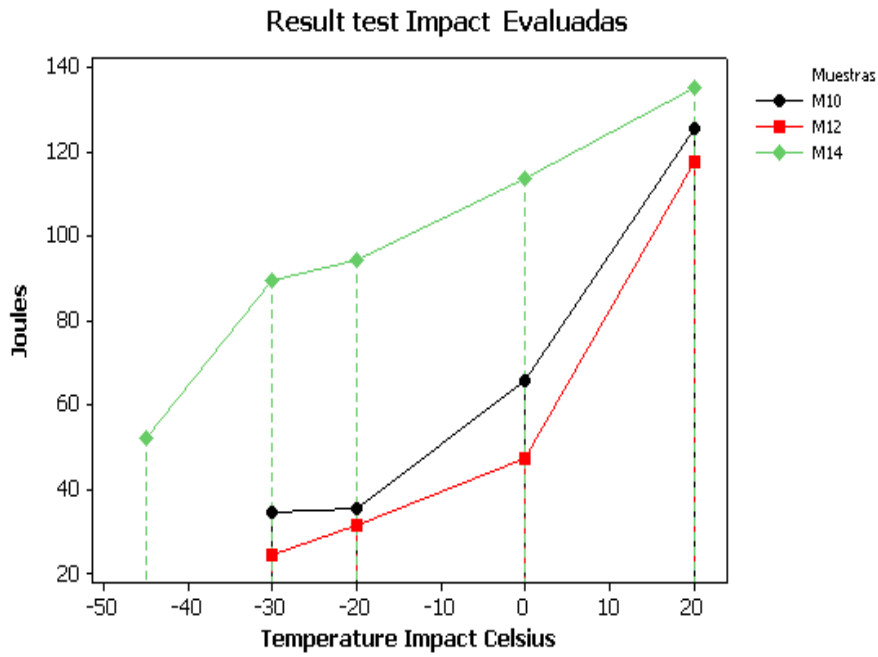


Fuente: Elaboración propia. Laboratorio de FIGMM

Como se observa en la Figura 46, se pudo establecer regiones donde los valores de impacto (Kpm) vs el área de fractura de test ensayados desde temperaturas a 20°C en color verde hasta temperaturas a -40°C de color celeste, esto nos permitió establecer diferentes regiones que involucra diferentes fórmulas para diferentes requisitos de la norma que podríamos predecir y cumplir con los requisitos de la norma de la clase E60XX.

Figura 45.

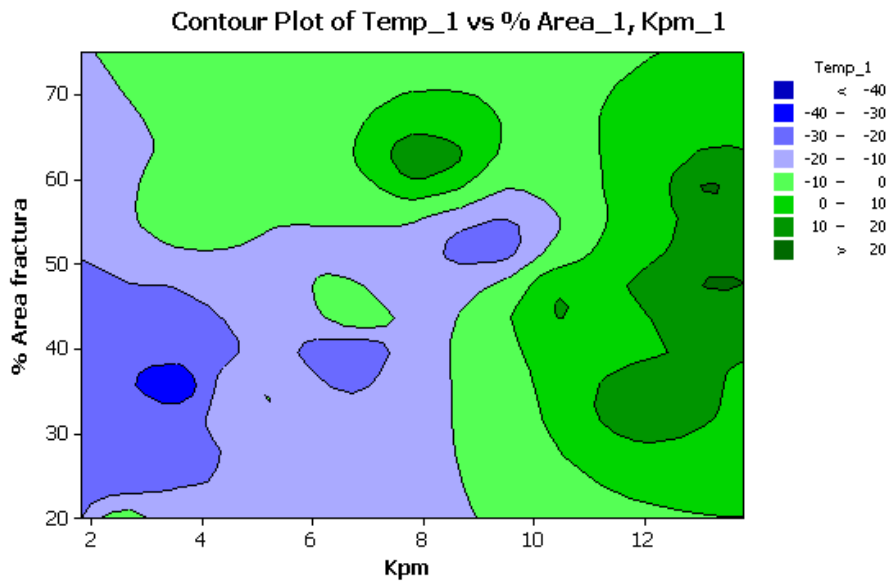
Resultados finales del ensayo por impacto (Charpy-V)



Fuente: Elaboración Propia, Obtenido a diferentes temperaturas -50°C a 20°C

Figura 46.

Resultados finales de los ensayos de impacto a diferentes temperaturas



Fuente: Elaboración propia, 1Kpm=9.783Joules calculado para Lurín-Perú

4.1.6.4. Resultados de ensayo dureza rockwell A, metalografía y doblez

Para comprobar la homogeneidad del depósito de soldadura las muestras aprobadas se efectúa una dureza transversal al cordón de soldadura, las pruebas del test estarán de acuerdo a la norma ASTM A370, los resultados se muestran en el gráfico siguiente, se identifican zonas ZAC en el metal base por efecto del calor aportado durante el soldeo de la probeta. Esta prueba nos permitió establecer la homogeneidad del depósito de soldadura con el metal base, esto se forma por efecto del aporte del electrodo así mismo esto también lo corroboramos cuando efectuamos un análisis micrográfico transversal al depósito de soldadura, el mismo que se confirma la zona ZAC determinada en la prueba de dureza Rockwell ver Figura 48, este método se describe en la tesis de grado (Caceres Linares, 1997).

4.1.6.5. Dureza Rockwell

Figura 47.

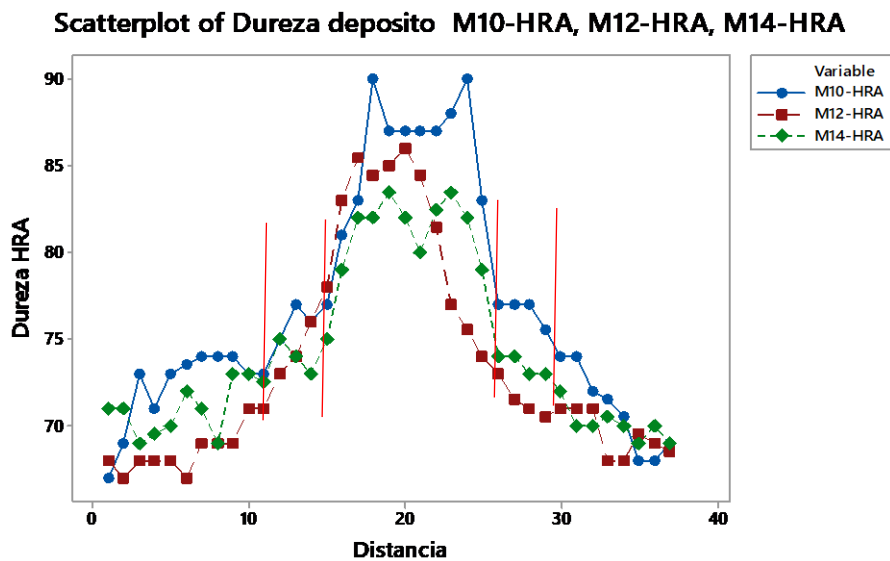
Equipo de Dureza Rockwell modelo Michigan



Fuente: elaboración propia, Laboratorio END, FIGMM

Figura 48.

Cuadro de resultado finales de dureza Rockwell A (HRA-ASTM A370)

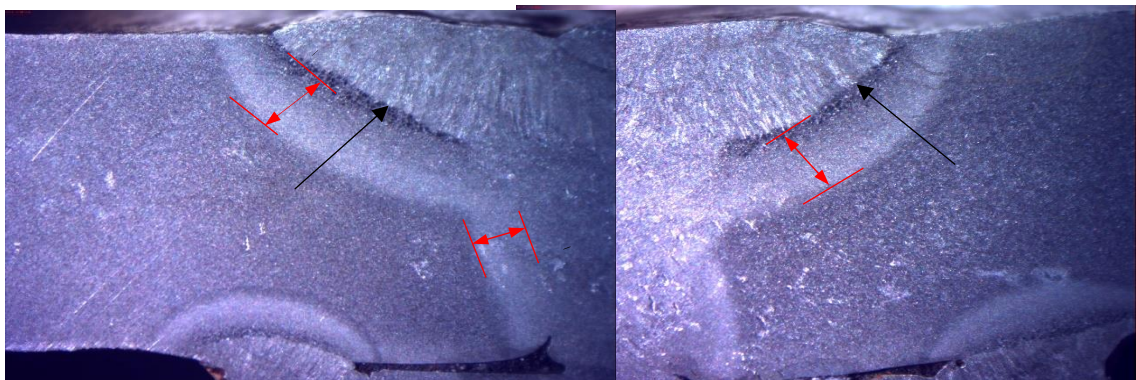


Fuente: elaboración propia, Observa las zonas ZAC “Zona afectada por el calor”, medido transversal al cordón soldadura.

4.1.6.6. Metalografía

Figura 49.

Macrografía vista con un aumento de 10 X



Fuente: Elaboración propia, Se puede identificar la ZAC en el metal base y depósito de soldadura, ataque nitral al 10%.

4.1.6.7. Prueba de dobléz

Figura 50.

Test de Doblez a 180° AWS, probeta soldada sometida a una carga de 5 ton



Fuente: Elaboración Propia. Laboratorio No4 FIM de la Universidad Nacional de Ingeniería

Figura 51.

Resultado Test de Doblez a 180° AWS de la probeta soldada



Fuente: Elaboración propia. Laboratorio No4 FIM de la Universidad Nacional de Ingeniería

4.1.7. Prueba de campo con los soldadores y usuarios finales

Para efectos de validar la propuesta con la reutilización de la cascarilla de acero en los revestimientos de electrodos fue necesario realizar las pruebas de campo y se elaboró una encuesta y pruebas de soldeo con los soldadores de los distritos de Villa el Salvador, también se consideró el distrito de Lurín, en las ciudades de la Oroya, Arequipa y Cerro de Pasco en Junín. Para la primera etapa, se solicitó el apoyo a la municipalidad de Villa el Salvador para identificar las zonas donde se agrupan los soldadores o los talleres de metal mecánica y usuarios finales del electrodo para las pruebas de campo, ver plano de la zona de Villa el Salvador, las zonas marcadas de color fucsia son los lugares de interés para las pruebas de Campo, vea la Figura 52.

4.1.8. Encuesta de Calidad de la soldadura

La investigación efectuada en el proyecto logra con éxito incorporar la cascarilla de acero en el revestimiento de electrodos de arco eléctrico, permitiendo determinar otras bondades del producto que puede satisfacer las necesidades de otros tipos de electrodos pero nos enfocamos en al producto estándar ya establecido como el electrodo clasificado como electrodo celulósico del tipo E-6011, este tipo de electrodo es el producto que lo usa aproximadamente el 95% de los soldadores del mercado nacional en el sector industrial llamado sector cerrajero. Para su validación nos ajustamos a los requerimientos de la norma ASME sección II part C: SFA5.1/5.1M, E6011 que fue validado en la Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica, se le comparó con el producto estándar E6011 de uso habitual por los soldadores, como se indicó en el marco conceptual de la calidad era necesario evaluar si este nuevo producto final propuesto e incorporado con cascarilla de acero cumplía con sus expectativas del cliente final, a pesar de haber cumplido con el diseño de ingeniería deberíamos tener la aprobación del usuario, entonces el concepto propuesto de David Garvin y Robert Glass que la calidad cita el autor “El

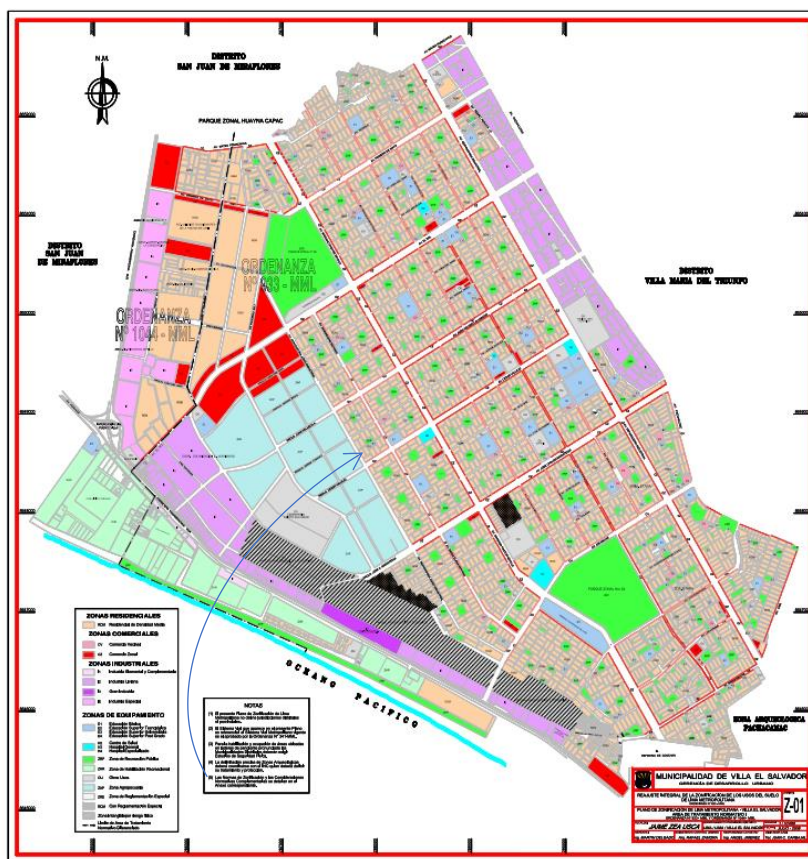
punto de vista del usuario concibe la calidad en términos de las metas específicas del usuario final” cobra una vital importancia en la presente investigación.

Se identificó un sector crítico en la ciudad de Lima en el distrito de Villa el Salvador considerado la zona donde se concentra la mayoría de los soldadores organizados, cabe destacar que la municipalidad del sector nos proporcionó un plano general donde identifican la ubicación de la mayoría de los talleres pequeños, medianos y medianamente grandes de metal mecánica.

Figura 52.

Plano de Distribución de la zona industrial en el distrito de Villa el Salvador

PLANO GENERAL DE LOS SECTORES INDUSTRIALES DE VILLA SALVADOR



Nota. Obtenido de la Municipalidad Villa el Salvador. La zona en color morado corresponde sector cerrajero (talleres pequeños a medianos).

Tabla 18.

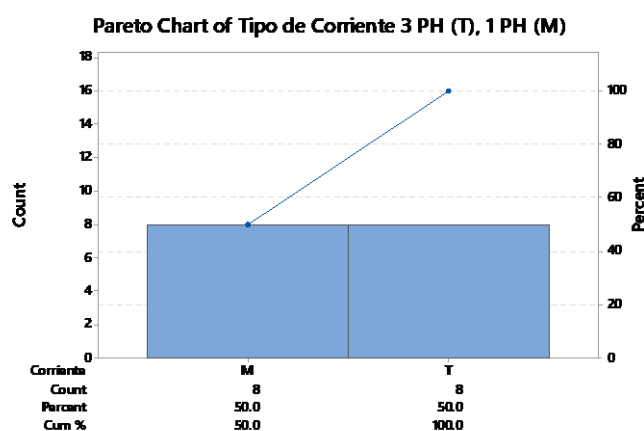
Encuesta de satisfacción del electrodo con cascarilla - producto final

Soldador	Corriente	tipo Corriente	Amperaje	Mejoras	Ventajas	Result
1	T	A-AC	2	Resistencia	Resistencia	Buena
2	T	A-AC	4	No escoria	Acabado	Buena
3	M	B-AC	2	Acabado	Fluidez	Buena
4	T	A-AC	2	Acabado	Fluidez	Regular
5	M	B-AC	1	NO especifica	Acabado	Buena
6	M	A-AC	2	Acabado	Fluidez	Buena
7	M	B-AC	2	Acabado	Salpicaduras	Buena
8	T	A-AC	2	Acabado	Salpicaduras	Buena
9	M	A-AC	3	Salpicaduras	Fluidez	Buena
10	T	A-AC	2	No escoria	Salpicaduras	Regular
11	M	A-AC	3	Acabado	Acabado	Buena
12	T	A-AC	3	Salpicaduras	Acabado	Regular
13	T	A-AC	2	Salpicaduras	Acabado	Buena
14	M	B-AC	2	No escoria	Acabado	Buena
15	M	B-AC	2	Acabado	Acabado	Regular
16	T	B-AC	2	Acabado	Salpicaduras	Regular

Fuente: Cuadro de reporte soldadores encuestados

Figura 53.

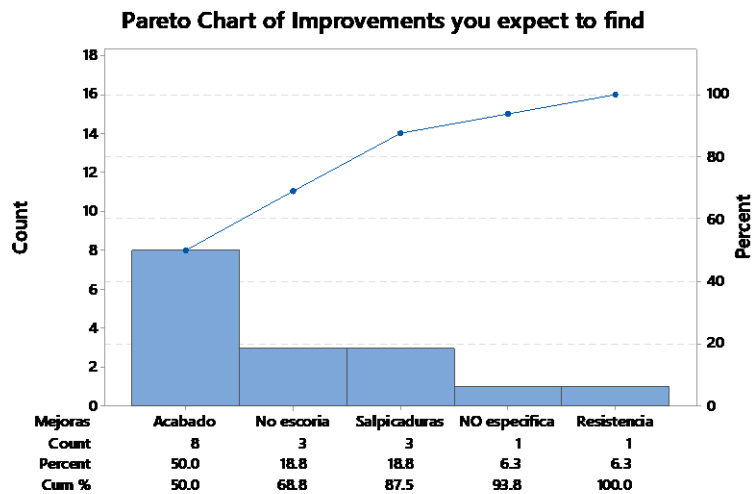
Preferencia tipo de corriente que se usa en el taller, Trifásico (T) y Monofásico (M)



Fuente: Elaboración propia. Tomado de Nexsol

Figura 54.

Mejoras que se esperan del nuevo electrodo

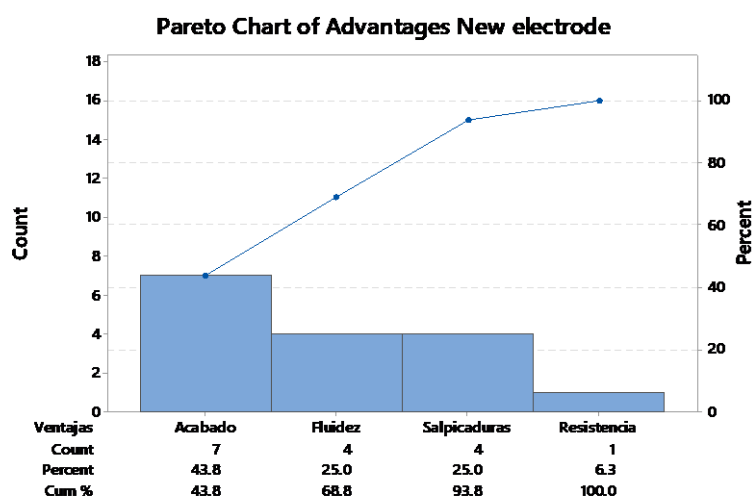


Fuente: Elaboración propia.

Nota. Se observa que el 50 % de los encuestados esperan que el electrodo le proporcione mejores en acabados, menor escoria y mejore las salpicaduras que el electrodo que usan actualmente.

Figura 55.

Ventajas observadas en el nuevo electrodo

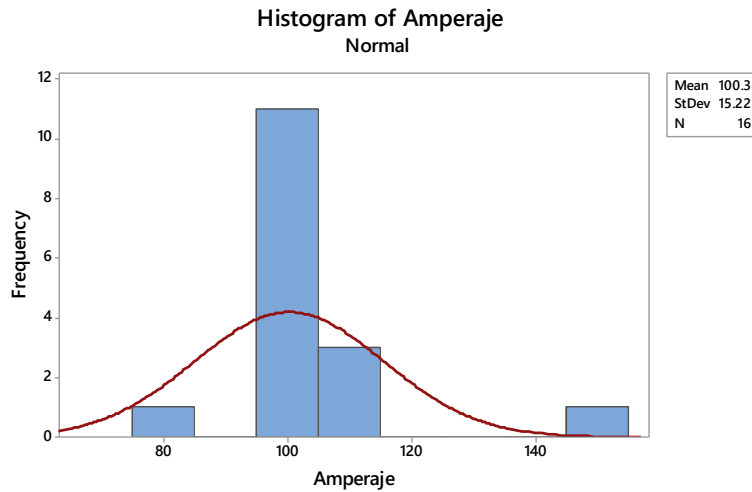


Fuente: Elaboración Propia

Nota. La mayor incidencia que reporta se da en el acabado, mayor fluidez durante el soldeo y mejora de las salpicaduras. Tomado de Nexsol.

Figura 56.

Diámetro de electrodo más frecuente de 3.25mm (1/8 in)

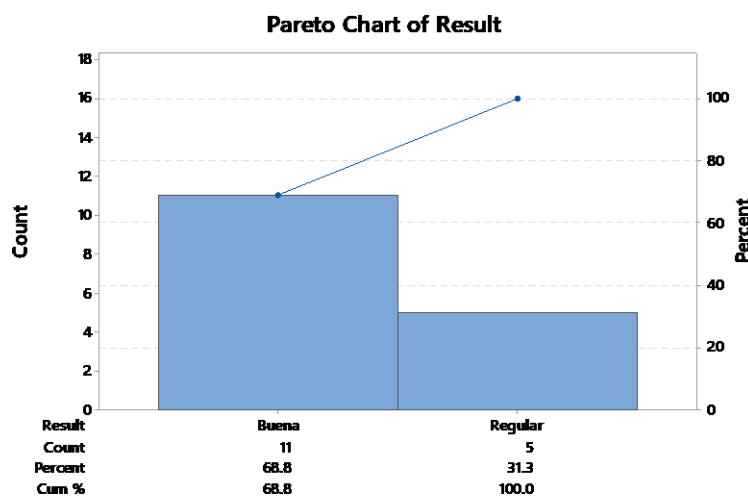


Fuente: Elaboración propia

Nota. Amperajes de trabajo nominal es 100 a 110Amp. Tomado de Nexsol

Figura 57.

Resultado final de la evaluación del electrodo

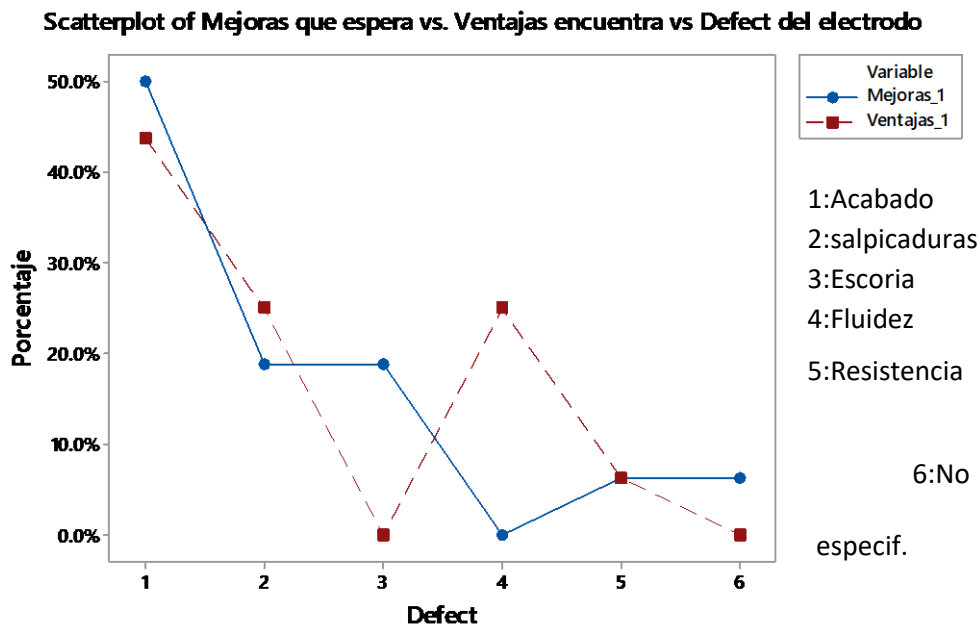


Fuente: elaboración Propia

Nota. Resultados dados con el uso de la cascarilla de acero, el 68.8% de los soldadores encuestados lo considera bueno y el 31.3% lo considera regular. Solo 1 soldador indicó que el revestimiento debe resistir al medio ambiente y destacan que la coloración del revestimiento es diferente, respuesta aceptable

Figura 58.

Resumen entre las mejoras y ventajas esperadas por el nuevo producto



Fuente: Elaboración Propia. Tomado de Nexsol

4.1.9. Tamaño de Muestra y la validación de la Hipótesis nula H_0 .

4.1.9.1. Tamaño de Muestra

Ciertamente una de las preocupaciones que se planteó en la investigación fue saber si un producto desarrollado cumplía con todas las expectativas del cliente final. Se sabe que el fabricante de electrodos la calidad lo define como ¡percepción!, entonces se optó por la realización de una encuesta, realizar a todos los soldadores de Villa el Salvador puede resultar difícil y ser muy costoso, muy extenso o que el público objetivo no se fácilmente ubicable ya que en su mayoría de soldadores son considerados informales. Se comparte lo señalado por

Mariela Torres, "En muchas oportunidades se debe practicar un análisis muestral. La muestra es una parte seleccionada de la población que deberá ser representativa, es decir, reflejar adecuadamente las características que deseamos analizar en el conjunto en estudio. Se pueden realizar diferentes tipos de muestreo, que quedan clasificados en dos grandes grupos: probabilísticos y no probabilísticos". Se consideró necesario optar por un muestreo probabilístico, todos los individuos o elementos de la población tienen la misma probabilidad de ser incluidos en la muestra extraída, de ese modo se asegura la representatividad del mismo grupo de encuestados para evaluar ambas muestras (Mariela Torre, 2002) en este caso son los soldadores de Villa el Salvador, distrito en Lima donde se concentra la mayor cantidad de talleres y soldadores.

Determinando el tamaño de muestra para la satisfacción del proyecto, en el primer grupo se realizó en 16 talleres como el usuario final, el resultado de este primer grupo de encuestados se recalculó para determinar la nueva población a reevaluar y validarlo nuevamente en un segundo grupo, se determinó un tamaño de muestra de 20 talleres encuestados, para el cálculo se empleó la siguiente ecuación 4.4, con un Error aprox. del 6%, un nivel de confianza estadístico Z calculado = 1.96, un nivel de confianza 95%, y los datos se establecen en la Tabla 19:

$$n = \frac{Z^2 p (1 - p)}{err^2} \quad \dots\dots\dots \text{(Ecu. 12)}$$

Evaluación de los electrodos en el cliente final en Villa el Salvador

$$n = \frac{1.95996^2 \cdot 98.05\%(1 - 98.05\%)}{6\%^2} = 20.42 \quad \dots\dots\dots \text{(Ecu. 12)}$$

$n = 20$ tamaño de encuestas para validar producto

Tabla 19.

Primera encuesta y evaluación de soldadores

Soldador	Eval.Buenas	Eval.Regular	Eval.Rechazado
# 1	x		
# 2	x		
# 3	x		
# 4		x	
# 5	x		
# 6	x		
# 7	x		
# 8	x		
# 9	x		
# 10		x	
# 11	x		
# 12		x	
# 13	x		
# 14	x		
# 15		x	
# 16		x	
Total	11	5	0
Total	16		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20.

Tabla resumen calculado en Excel tamaño de muestra

Nombre	Detalle	Valor	Unidad
Nivel de Confianza		95.00%	%
Probabilidad Éxito	p	98.05%	%
Probabilidad Regular	$q^*= 1-P$	1.95%	%
Probabilidad Fracaso	$q=1-p$	1.95%	%
nivel error	Error	6.00%	%
Nivel confianza	Z	1.95996	Unidad
# n muestras calculado	n*	20	Encuestas

Fuente: Elaboración Propia. Nivel confianza $Z=1.96$

Tabla 21.

Segundo test de evaluación (tamaño muestra 20 soldadores)

Mejoras que esperas del nuevo producto					Ventajas detectadas Nuevo electrodo			
Resistencia	No Escoria	Mejor Acabado	menor Salpicaduras	No especifica	Resistencia	mejor Fluidez	Menor Salpicaduras	Mejor Acabado
x					x			x
	x	x						x
		x				x	x	
		x				x		
				X*				x
	x	x				x		
		x					x	
		x					x	
			x			x		x
	x						x	
		x						x
			x					x
		x	x					x
	x					x		x
		x						x
		x	x				x	
1	4	10	4	1	1	5	5	9
6.30%	18.80%	50.00%	18.80%	6.30%	6.30%	25.00%	25.00%	43.80%

Fuente: Elaboración Propia. Solo un soldador indico que no usa electrodos

Ciertamente, una de las dificultades de la investigación fue como interpretar si el cliente final encontraba diferencias entre el electrodo nuevo frente la soldadura que usa habitualmente o el producto era similar al producto estándar que usualmente usa en los trabajos de metal mecánica.

4.1.10. Validación de la Hipótesis nula Ho

El análisis de la hipótesis nos permitirá lo siguiente:

- Determinar si existe una diferencia entre el producto que los soldadores usan.
- Reducir los riesgos asociados para la empresa fabricante es importante que no perciba ninguna diferencia.

Se realiza un análisis de la hipótesis nula Ho con la siguiente pregunta: el nuevo electrodo con cascarilla incorporada con revestimiento es semejante al producto estándar sin cascarilla. Asimismo, la hipótesis alternativa Ha es el nuevo electrodo versus el electrodo estándar son diferentes. Con el programa Minitab, se obtuvieron los siguientes resultados:

Test 1 and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	8	16	0.500000
2	7	16	0.437500

Difference = p (1) - p (2)
 Estimate for difference: 0.0625
 95% CI for difference: (-0.282620, 0.407620)
 Test for difference = 0 (vs ≠ 0): Z = 0.35 P-Value = 0.723
 Fisher's exact test: P-Value = 1.000.

Los resultados señalan que se acepta la hipótesis nula Ho, dado que el P-value resultante es 0.723. Por lo tanto, Se concluye que los resultados de los encuestados que el nuevo electrodo no son diferentes del producto estándar por consiguiente lo consideran muy similares.

Test 2 and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	12	20	0.600000
2	11	20	0.550000

Difference = p (1) - p (2)
 Estimate for difference: 0.05
 95% CI for difference: (-0.255999, 0.355999)
 Test for difference = 0 (vs ≠ 0): Z = 0.32 P-Value = 0.749
 Fisher's exact test: P-Value = 1.000.

Se acepta la hipótesis nula Ho, dado que P-value=0.749; por lo que, se concluye que los resultados señalan que los encuestados consideran que el nuevo electrodo no es diferente,

por lo contrario, es muy similar al electrodo que usan. Dado que P-value analizado entre el primer test con 16 evaluaciones versus el segundo test con 20 evaluaciones el valor P-value son muy próximos.

4.1.11. Utilidad Económica

Para estimar la efectividad, se realizó una valoración económica tomando como referencia la cotización internacional de la TM alambre FOB de LME steel/market wire rod/low quotation/SGS con fecha 11 enero 2024 correspondiente al valor referencial internacional de Carbon steel price: 580\$/ton. La planta de Aceros Arequipa cuenta con una capacidad instalada de producción de 1,250 millones de toneladas anuales de acero líquido y SIDERPERU cuya capacidad de producción es de 750 mil toneladas anuales (Luis Morales, 2016). En la valorización, el valor de la producción anual de alambre fue de 240,000 TM/año; para visualizar los cambios, se usó el dato antes de la ampliación de la planta cuya producción anual era de 46,000 TM/anuales de alambre para trefilería del tipo AISI-SAE1008.

Tabla 22.

Total de cascarilla que se genera en la planta de electrodos en TM

Consumption Wire Steel TM/month	Cascarilla TM/Month \bar{x} : 45	Wire Steel TM/year	Total Cascarilla x (TM/year)	
			Total	Total _(a)
500 *	3.75	6000	30	60
800	6	9600	48	96
1000	7.5	12000	60	120
1200	9	14400	72	144
1500	11.25	18000	90	180

Nota. *Producción inicial antes de la ampliación 2018

Tabla 23

Total de cascarilla generada en la planta siderúrgica de Aceros Arequipa

Production Wire Steel TM/month	Cascarilla TM/month \bar{x} 0.75%,	Production Wire Steel TM/year	Cascarilla Total _(b) (TM/year)	Total that remains Siderurgica (TM/year) Total _(b) – Total _(a)
3,833.3*	28.75	46,000	345	285
5,000	37.5	60,000	450	354
10,000	75.0	120,000	900	780
15,000	112.5	180,000	1350	1206
20,000**	150	240,000	1800	1620

Fuente: elaboración propia

Nota. *Producción inicial antes de la ampliación 2017. **Después de la ampliación a 1,250 millones de toneladas anuales

En la Tabla 22 y Tabla 23, se puede observar el total estimado de cascarilla de acero producido en color rojo, dicho valor corresponde antes de la ampliación 2017 hasta la etapa final de su ampliación en el 2020, para estimar cuanto de cascarilla permanece sin procesar contaminando el medio ambiente vasta restar la descripción Total_(b) (Tabla 22) - Total_(a) (ver Tabla 34). Al analizar los cuadros de resultados, el panorama no fue muy alentador, antes del 2018, la planta de Pisco generó aproximadamente 285 TM/año de cascarilla de los cuales solo 60 TM/año se traslada hacia Lurín corresponde a un consumo de alambón en 500TM/mes (\bar{x} : 45 = 3.75 TM/mes de cascarilla en la planta de electrodos); para el año 2020, se generó aproximadamente 1,620 TM/anualmente de cascarilla de las cuales 180 TM/anualmente se trasladaran desde la ciudad de Pisco hacia la ciudad de Lurín. Las conclusiones del problema fueron muy preocupantes, el hecho de contar con 1,620 TM/año de cascarilla se elevaría en 600% del volumen de residuos que se van a generar y el daño hacia el medio ambiente, representando esto un problema muy serio. Esto nos permitió establecer que el espesor de la

cascarilla era un primer factor a controlar, ya que la pérdida por la cascarilla fluctúa entre 0.5% a 1.0%, para efectos de cálculo tomaremos como referencia una media $\bar{x} = 0.75\%$.

Ambas plantas tienen programada una ampliación de sus instalaciones con la finalidad de cubrir la demanda interna. En el caso de la planta de electrodos, debido al incremento en el consumo de soldaduras convencionales y especiales, en la planta siderúrgica de igual forma el incremento de la demanda de varillas de hierro corrugado y alambón para trefilería para soldadura, la industria de mallas-clavos y la fabricación de resortes para colchones. Ambas plantas ya se encontraban programadas su implementación para los próximos 10 años siguientes cuando se inició esta investigación, problemática que no observaron y que en el tiempo resultó un problema que no habían estimado y que la solución no era tan fácil, complicándose con el manejo ambiental. Debo destacar que estas empresas estaban inmersas en obtener las certificaciones ISO y otras clasificaciones internacionales establecidas por sus casas matriz o las establecidas por la alta Dirección.

En el caso de la industria de electrodos, las filiales ubicadas en Europa, la totalidad de plantas de electrodos utiliza los mismos estándares y/o niveles de calidad, aunque este punto podemos generalizar que casi todas las industrias fabriles de tamaño mediano a grandes su consumo anual de alambón es aprox. 18,000 TM/año que genera un volumen en peso de residuos que se generaría puede variar entre 60 a 100 TM/año de cascarilla. Se determinó que la mayoría de las empresas de electrodos estaban teniendo costos fijos ocultos, estos costos ocultos lo llamaremos costos ambientales para en el proceso productivo; ciertamente se comprende la responsabilidad de los daños ambientales sobre los bienes de uso común que la empresa Nexsol debería proponer y el cual es citada en el presente trabajo de tesis, cita el autor Azqueta Oyarzun al señalar lo siguiente:

“aquellos que no tienen propietario específico o reconocido, a los que no es fácil asignar transferencias de valor de recuperación o compensaciones por efecto del impacto causado. La

segunda se configura en la herencia de los bienes ambientales para las generaciones futuras, y la preocupación por el bienestar alcanzable en las generaciones presentes. Dado todas las decisiones presentes individuales y colectivas sobre el uso de los bienes comunes ambientales, los cualesquiera que sean, afectan a las primeras” (Azqueta Oyarzun, 1994),(p.150).

Conociendo las estimaciones proyectadas de cada planta y sabiendo la problemática que va generar en el manejo de la cascarilla de acero, se inició los trabajos e investigaciones necesarias, las que luego se plasmó en realizar los ajustes necesarios. Se estableció como primer objetivo estabilizar el espesor de la cascarilla a un rango 0.2% a 0.5% que permita su manejo y reducir de los rangos iniciales 0.5% a 1%, en el cuadro siguiente valorizamos la utilidad generada. Es importante destacar que con las ampliaciones e inversiones realizadas para modernizar y aumentar la capacidad de producción de 240,000 TM de acero líquido a 1,100,000 TM requirió una inversión mayor a los US\$ 145 millones. esto permitió mejorar la planta de hierro esponja, la planta de acería, la planta de laminación, y las instalaciones para el servicio de corte y doblado de barras de acero corrugado a medida. (Luis Morales, 2016)

Tabla 24.

Valorización en los diferentes niveles de producción de cascarilla

Production Wire Rod TM/year	Cascarilla \pm 0.05% TM/year			Reducing thickness (TM/Year) 0.5%	Plant Hierro Esponja (TM/year) R.Cascarilla 25%	(a) -R.Cascarilla Total Cascarilla 0.5% (TM/year)	(b) -R.Cascarilla ^{25%} Total Cascarilla 0.3% (TM/year)	Utility 0.5% US/year
	(a) 0.50%	(b) 0.30%	(c) 0.20%					
46,000	230	138	92	(-55)	30.36	172.5	103.5	\$41,197.5
60,000	300	180	120	(-54)	39.6	225	135	\$43,447.1
120,000	600	360	240	(-180)	79.2	450	270	\$128,654.2
180,000	900	540	360	(-306)	118.8	675	405	\$213,861.3
240,000	1200	720	480	(-420)	158.4	900	540	\$292,108.4

Nota. Siderúrgica-Alambrón Precio 11-enero 2024, LME steel/market wire rod FOB, 580\$/ton a: 0.5%, b: 0.3%, c: 0.2% : Los diferentes niveles de cascarilla estimada al controlar los diferentes variables de reducción

Fuente: Elaboración Propia

4.1.12. Análisis económico en la Planta de Electroodos

Al inicio del desarrollo del proyecto, la planta pasó por un programa de ampliaciones y mejoras de la línea de producción de electroodos, pero los problemas se hicieron muy evidentes con la presencia de la cascarilla con los nuevos volúmenes que se generara, una de las interrogantes que se planteó la alta dirección fue qué impacto económico puede representar.

Para tal efecto, el análisis se efectuó con una corrida asumiendo una producción de soldadura de aproximadamente 1,000TM/mensuales y los impactos favorables obtenidos tal como se puede observar en la Tabla 23. La Tabla 25 indica que, si no se efectuara ningún cambio o mejora en la planta de electroodos, la empresa debería de asumir un costo por efecto del consumo de ácido por el proceso de decapado químico, donde el consumo de la cascarilla sería de aproximadamente del 95%, siendo necesario transformar la solución acida en cloruro férrico y posterior tratamiento interno como afluente acido contaminante lo que genera un desembolso anual 14,487.72 USD.

Tabla 25.

Rentabilidad del uso de la cascarilla en el proceso productivo de electroodos

Cascarilla kg/TM Wire Rod	Loss x Cascarilla (%)	Total Steel Additional kg/TM Wire Rod	1000x12month TM_wire rod. /year	\$/year FOB:580 \$/TM (a)	Welding to be manufactured TM/year ***	Cascarilla MP \$/year (b)	Utility US/year
7.5 *	0.75%	0.00	0.0	\$ 0.0	0	\$0.00	<u>(-\$14 687.72)*</u>
5.0	0.50%	2.50	30.0	\$17,400.00	24.0	\$1,900.00	\$99,036.84
3.0	0.30%	4.50	54.0	\$31,320.00	43.2	\$1,140.00	\$175,986.32
1.85	0.19%	5.65	67.8	\$39,324.00	54.24	\$760.00	\$220,289.26

Nota. *inicio de la Investigación realizado por Nexsol **: Costo de consumo de HCl grado Industrial
***: Precio Sodimac 11-Ene-2024 Electrodo 6011P 1/8" de 5kg= 76.90: 15.38 S/ x kg
Precio 11-enero 2024, LME steel/market wire rod FOB, 580\$/ton

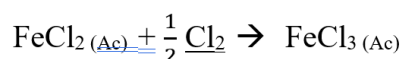
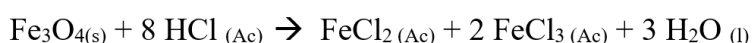
Fuente: elaboración Propia

Controlando el proceso de fabricación desde la planta de Aceros Arequipa en la ciudad de Pisco a niveles aceptables de 0.5% y redireccionando la totalidad de la cascarilla para su reutilización como materia prima para la fabricación de electroodos, se genera una utilidad de

aproximadamente de 99,036 USD, si los niveles de cascarilla se reducen a valores de 0.3% a 0.19% la utilidad se vería incrementado en aproximadamente en 177.7% a 222 %.

4.1.13. Costo del uso del decapado químico

Costo del proceso de decapado químico, empieza con el uso de un insumo fiscalizado ácido clorhídrico (HCL) grado industrial, dicha producto se deposita en tinas de acero inoxidable, lo rollos de alambón previamente lavado con agua y se sumerge por un lapso de tiempo, mientras que el rollo permanece sumergido el ácido clorhídrico reacciona con esta cascarilla hasta su disolución final de la superficie y quede expuesto el alambre para su trefilado y corte de acuerdo a los requerimientos norma, de acuerdo a nuestras estimaciones el consumo de ácido nítrico por cata 1000 kg de alambón del tipo AISI/SAE 1008 con diámetro 6.35 mm se aproxima a 37.9 kg HCl_{AC} al 33%, usando las fórmulas establecidas en las reacciones químicas establecido en la Tabla 13 para decapado química, expresado líneas arriba tomaremos como referencia la siguiente datos: Densidad HCL a 20°C: 1,185g/cm³, a un precio 295.00 US/TM_{ac}. internacional de fecha 11-enero 2024.



$$37.9 \text{ kg} \times 33\% = 12.507 \text{ kg HCl} / \text{TM}_{\text{wire.Rod}}$$

$$12.507 \text{ kg} / \text{TM}_{\text{Wire Rod}} \times 1000 \text{ TM} \times 295 \text{ US} / \text{TM}_{\text{ac}}$$

Cálculo de total de cascarilla que reacciona con este acido:

$$12.507 \times \frac{231.531}{8 \times 36.453} = 9.929 \text{ kg de Fe}_3\text{O}_4 / \text{TM}_{\text{Wire Rod}}$$

$$= 9.929 \text{ kg Fe}_3\text{O}_4 / \text{TM}_{\text{Wire Rod}} \times 500 \text{ TM}_{\text{Wire Rod}} = 4964.5 \text{ kg Fe}_3\text{O}_4 \text{ (4.96 TM) de cascarilla}$$

requerido para proceso en decapado químico.

Los valores reportados bordean en un rango 0.5% a 1.0% de cascarilla.

$$\text{Si: } 500 \text{ TM}_{\text{wire rod}} \times 0.5\% = 2.5 \text{ TM}_{\text{cascarilla}}$$

$$500 \text{ TM}_{\text{wire rod}} \times 1.0\% = 5.0 \text{ TM}_{\text{cascarilla}}$$

Se establece que el rango (2.5 – 5.0 TM) versus 4.965 TM calculado, se infiere que los espesores de cascarilla están muy cercanos al 1.0%.

Costo del ácido consumido x 1,000 TM alambrcn a un precio 295 US/TM_{ac}.

$$37.9 \text{ kg} / \text{TM}_{\text{Wire Rod}} \times 1000 \text{ TM} = (37,900 \text{ Kg}_{\text{HCL}} / 1000) \times 295 \text{ US} / \text{TM}_{\text{ac}}$$

$$\text{Costo HCL} = 11,180.5 \text{ US} + \text{IGV} + \text{Transporte} + \text{Permisos} + \text{almacén} = 14,687.72 \text{ US/año}$$

Reutilizando la cascarilla como parte de la materia prima en el revestimiento en la Tabla 25, se puede observar que a un valor medio de 0.75% de cascarilla esta podría incorporarse en la mezcla del revestimiento en un 100% para ser utilizado como MP; en el supuesto que se incorpore las mejoras efectuadas, los niveles de producci3n de la cascarilla que se genere en planta podría seguir incorporándose con una materia prima como premezcla 90-10 o 80-20, cumpliéndose el principal objetivo de una economía circular.

Tabla 26.

Cuadro de resumen de la capacidad de reutilizaci3n de la cascarilla en la producci3n de electrodos.

Loss x Cascarilla (%)	Production Welding TM/month	Import Oligisco MP TM/month	Cascarilla TM/mes
0.75% *			3.75
0.50%	500	dic-15	2.5
0.30%			1.5
0.20%			1
0.50%	1000	25- 30	5
0.30%			3
0.20%			2

Fuente: Elaboraci3n Propia

Nota. *Rango de Cascarilla (0.5%,2.5 TM a 1.0%,5.0 TM)

V. CONCLUSIONES

Con respecto a nuestro Objetivo General sobre controlar y mitigar la contaminación, se concluye que el proceso de la formación de la cascarilla de acero adherido sobre la superficie del acero siempre estará presente ya sea en cualquier empresa siderúrgica en el Perú o a nivel mundial que fabrique alambres y la industria fabril de electrodos mientras use un proceso de decapado mecánico o químico, este óxido puede ser controlado y mitigar su contaminación al medio ambiente.

Con respecto a los Objetivos Específicos, es necesario conocer y entender los aspectos termodinámicos de la difusión del oxígeno en el acero que está regido por la ley de Fick's, el proceso de oxidación es inevitable y siempre va estar presente durante el proceso de fabricación del acero. Este proceso se inicia cuando el acero se encuentre en estado líquido y pasa a la etapa de colada continua para la producción de la palanquilla en el momento que inicia su solidificación de la superficie, la difusión del oxígeno continuara durante el trefilado en caliente hasta su etapa final con la obtención de las bobinas de alambres en rollos, ello puede ser controlado mediante el uso de un sistema automatizado de alta velocidad entre el tren de desbaste y tren continuo de reducción estas velocidades deben ser mayores a los 50m/seg, esta cascarilla se adhiere fuertemente sobre la superficie el alambón cumpliendo su función de protección en la superficie contra el medio ambiente.

Se concluye que el proceso de oxidación sobre el acero en caliente va generar la cascarilla de acero (laminillas de acero) cuya característica mineralogía estará compuesto por Wustita-Magnetita-Hematita ($\text{FeO-Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{O}_3$), este espesor puede ser controlado con la alta velocidad de trabajo permitiendo rangos óptimo entre 0.3 a 0.5% en peso de la cascarilla x ton de alambres, reduciéndolo a un valor mínimo de aprox. 35% hasta un 50% para el caso

de siderúrgica y un 95 % en el caso para la fabricación de electrodos para soldaduras mediante la incorporación en el revestimiento como pre-mezcla seca.

Se concluye que la cascarilla de acero puede ser recirculado e incorporado con otros minerales en la planta de hierro esponja para la producción de los pellets para ser reutilizado en el horno de arco eléctrico, pudiendo reutilizarse dentro del proceso hasta un aprox. del 25% en forma continua.

Se concluye que, para minimizar la generación del residuo sólido el uso de este subproducto cascarilla cumple con las exigencias de una economía circular dentro del proceso productivo en ambas actividades industriales, se puede reducir la presencia de este óxido en planta y aumentar la eficiencia del proceso productivo como se establece en la Tabla 25.

Se concluye que el proceso de decapado químico puede ser reducido de forma gradual su empleo hasta ser sustituido el 100% remplazándolo por un proceso de decapado mecánico acompañado con cepillos y/o granallado para controlar la calidad de la superficie del alambre, al inicio del proceso de trefilado es necesario el uso los jabones a base de sodio o calcio durante el proceso de trefilado en seco, en la última etapa si lo amerita el usuario puede mejorar la limpieza de la superficie del alambre usando lubricantes secos en polvo, durante las pruebas piloto de Nexsol no se reportó ningún problema durante la fabricación y la extrusión de los electrodos.

Se concluye que la solución acida obtenido en el decapado químico que se emplea para la limpieza del alambón en las tinas con ácido clorhídrico, dicha solución acida lo llamaremos subproducto como “solución acida de cloruro férrico “FeCl₃ (liq.Ac)” este producto puede ser utilizado en la empresa para tratamiento del agua potable, ideal para el tratamiento de aguas residuales y desechos industriales o desinfectante sintético.

Se concluye que la cascarilla se acero previamente acondicionada granulométricamente puede ser incorporar en una mezcla en una relación 1:1 en las diferentes formulaciones para los revestimientos del electrodo del tipo celulósicos clasificado como E6011, E6010 en los diámetros 2.50 y 3.25 mm cumpliendo con los requerimientos de la norma ASME sección II part C: SFA5.1/5.1M: E6011.

Se concluye que el uso del sistema cascada propuesto por Winston W. Royce puede ser considerado como una técnica apropiada a considerar en un sistema de gestión ambiental ya que permite retroceder y reforzar las capacidades para su reutilización no solo como una(s) etapa(s) secundaria(s) del proceso productivo(s) contradiciendo lo opuesto propuesto por Diego lucio D'Onofrio que no se recomienda una economía circular debido que puede afectar a la calidad en proceso complejos, ver Figura 59 de la modelo cascada propuesto para la presente investigación.

VI. RECOMENDACIONES

1. Conforme al resultado de las encuestas realizado a los soldadores en la ciudad de Lima, Oroya y Arequipa, se observa una limitación en el conocimiento de las técnicas de trabajo en soldadura con criterios diferentes, las reglas en soldadura como la americana, alemana u otro país de primer nivel, se recomienda que el apoyo del programa como Innovate Perú permita la colaboración de la empresa privada en cooperación con el estado para desarrollar escuelas de formación técnica básica profesional para jóvenes que terminan la escuela secundaria, técnicos y universitarios tomando como base AWS QC13:2006, “Specification for the Certification of Welding Supervisors”. Los requisitos de calificación se cubren con las reglas AWS B5, que en la actualidad no existe.

2. Conforme a los resultados, se observa que muchos soldadores son muy prácticos en los trabajos en soldadura, recomendamos un trabajo más articulado entre la empresa privada, desarrollar un el plan de capacitaciones más amplio para el personal Municipal o vecinos municipales y los institutos públicos como Promae en el entrenamiento en el manejo de otros procesos de soldeo como MIGMAG, TIG, plasma, laser, etc. con otros materiales como aluminio, cobre, hierro fundido para ampliar las oportunidades de negocio que podría desarrollar como emprendedores, debido que los trabajos en el sector cerrajero sigue creciendo en el Perú.

3. De acuerdo con los resultados, se concluye la eficacia en adoptar un análisis usando el método cascado, pero se recomienda a tener en cuenta que los tiempos puede ser más largo de lo esperado, además si el análisis pueda requerir la intervención de otra actividad industrial diferente al proyecto inicial.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de formación de la capa oxido durante la solidificación en la fase acero/oxígeno	27
Figura 2. Esquema final de Cascarilla sobre la superficie de acero.....	27
Figura 3. (a) Mineral hematita Fe_2O_3 , (b) Cascarilla de oxido hierro, aumento 50 X.....	27
Figura 4. Aumentó 10X, superficie oxidada con presencia de óxidos de magnetita de color amarillo y color azulado cascarilla de acero	28
Figura 5. Análisis del espectro por difracción en la cascarilla de acero	28
Figura 6. Diagrama Fe- C, para aceros de bajo y alto carbono, para los alambres usados en la fabricación de electrodos clasificado como SAE1006/SAE1008 línea celeste	29
Figura 7. Porcentaje de espesores de óxido en forma de hematita y magnetita a diferentes temperaturas	30
Figura 8. Gráfico que explica las energías libres de Gibbs de mezcla en el sistema M–O	32
Figura 9. Diagrama de fases del sistema FeO- Fe_2O_3 que muestra las posiciones de las isóbaras de oxígeno (P_{atm}), wustita (FeO), hematita (Fe_2O_3) y magnetita (Fe_3O_4)	34
Figura 10. Diagrama del sistema de gestión ISO 9001.....	40
Figura 11. Diagrama del Sistema de Gestión ISO 14001	40
Figura 12. Diagrama del Método Cascada.....	43
Figura 13. Cascada un camino hacia el equilibrio	44
Figura 14. Diagrama de la Cadena de Cascada.....	45
Figura 15. Diagrama cascado de forma explícita con una cadena secundaria.....	46

Figura 16. Patente US363,320 de Berardos & Olszewski	48
Figura 17. Diagrama de cómo está conformado un electrodo revestido.....	49
Figura 18. Comportamiento del electrodo con y sin revestimiento	52
Figura 19. Esquema de la generación de arco Patente US2.909.648.....	52
Figura 20. Diagrama del proceso de soldeo SMAW	53
Figura 21. Esquema de fabricación de alambón de acero en la planta de Pisco de Aceros Arequipa en ICA	82
Figura 22. Esquema de fabricación de electrodos revestidos	83
Figura 23. Resultados finales de FeO, Fe ₂ O ₃ vs Δ O ₂ excedente - pruebas de campo	86
Figura 24. Sección Transversal de un planchón de acero 1.25% Cr-0.5Mo.....	88
Figura 25. Resultados finales del tiempo solidificación vs espesor FeO en μ m.....	88
Figura 26. Test 1- Temperatura de enfriamiento vs. espesor de la capa FeO en micrones	89
Figura 27. Test 2- Temperatura de enfriamiento vs. espesor de la capa FeO en micrones	89
Figura 28. Línea de empaque y soldeo de los rollos.....	90
Figura 29. Línea de empaque manual antes de las mejoras.....	91
Figura 30. Línea de empaque de prueba experimental antes de su automatización	91
Figura 31. Línea de salida de las palanquillas del horno de colada continua	92
Figura 32. Planta de fabricación de hierro esponja aglomeración con la cascarilla de acero ..	92
Figura 33. Línea automatizada de fabricación de alambrones.....	93
Figura 34. Reacciones químicas con HCL (ac) con Cascarilla.....	94
Figura 35. Equipo para decapado mecánico a la entrada de la línea de trefilado	96

Figura 36. Línea de trefilado en seco del alambre a un diámetro 3.25 mm.....	97
Figura 37. Distribución normal de la data de la granulométrica de la cascarilla según R-R...	99
Figura 38. Esquema preparación de la muestra para análisis granulométrico para el cálculo P ₅₀ de la cascarilla de acero usando molino Bond	101
Figura 39. Resultados de varios test granulométricos, líneas en azul son los rangos máximos y mínimos requeridos para preparar la mezcla de prueba.....	100
Figura 40. Fotografía de superficie de cascarilla de alambroón con un aumento 4X.....	105
Figura 41. Fotografía de la Superficie de la cascarilla remolienda con aumento a 100X	105
Figura 42. Diagrama para la preparación de las probetas para ensayo mecánico según AWS: SFA5.1/5.1M.....	110
Figura 43. Ensayo de tracción.....	111
Figura 44. Preparación para test de impacto	112
Figura 45. Resultados finales del ensayo por impacto (Charpy-V).....	113
Figura 46. Resultados finales de los ensayos de impacto a diferentes temperaturas	113
Figura 47. Equipo de Dureza Rockwell modelo Michigan.....	114
Figura 48. Cuadro de resultado finales de dureza Rockwell A (HRA-ASTM A370)	115
Figura 49. Macrografía vista con un aumento de 10 X.....	115
Figura 50. Test de Dobleza a 180° AWS, probeta soldada sometida a una carga de 5 ton.....	116
Figura 51. Resultado Test de Dobleza a 180° AWS de la probeta soldada.....	116
Figura 52. Plano de Distribución de la zona industrial en el distrito de Villa el Salvador	118

Figura 53. Preferencia tipo de corriente que se usa en el taller, Trifásico (T) y Monofásico (M)	119
Figura 54. Mejoras que se esperan del nuevo electrodo	120
Figura 55. Ventajas observadas en el nuevo electrodo	120
Figura 56. Diámetro de electrodo más frecuente de 3.25mm (1/8 in)	121
Figura 57. Resultado final de la evaluación del electrodo	121
Figura 58. Resumen entre las mejoras y ventajas esperadas por el nuevo producto	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperatura de difusión del óxido de hierro.....	26
Tabla 2. Propiedades termo-físicas de los oxido hierro.....	31
Tabla 3. Sistema de Gestión ISO 9001-ISO 14000	39
Tabla 4. Patentes citadas por la patente US US4804818 perteneciente a Leonardo Andersen50	
Tabla 5. Lista de algunos minerales Metálicos, No Metálicos y su importancia en el revestimiento durante el soldeo.....	55
Tabla 6. Variables e indicadores – Operacionalización de variables: Análisis cuantitativa...71	71
Tabla 7. Porcentajes del tipo de cascarillas x 100 habituales	85
Tabla 8. Composición química de la cascarilla de Aceros Arequipa	86
Tabla 9. Propiedades físicas-químicas de los óxidos de hierro de la cascarilla.....	87
Tabla 10 . Requerimientos de diámetro y longitudes del alambre para la fabricación de los electrodos revestidos	97
Tabla 11 . Distribución granulométrica de la cascarilla utilizado en laboratorio de prueba ...98	98
Tabla 12 . Relación entre el Índice de Finura y tamaño de la partícula.....	102
Tabla 13 . Cálculo de índice finura (IF) según ASTM C136, Test Prueba 1.....	103
Tabla 14 . Cálculo del índice de finura Test prueba 2 Rem (ASTM:C-136, 2005).....	104
Tabla 15. Espesor de la pared del revestimiento del electrodo para prensado	107
Tabla 16 . Resultado final de la composición química del depósito de soldadura	110
Tabla 17. Resultado final de ensayo de tensión del depósito de soldadura	111
Tabla 18. Encuesta de satisfacción del electrodo con cascarilla - producto final.....	119

Tabla 19. Primera encuesta y evaluación de soldadores.....	124
Tabla 20. Tabla resumen calculado en Excel tamaño de muestra	124
Tabla 21. Segundo test de evaluación (tamaño muestra 20 soldadores).....	125
Tabla 22. Total de cascarilla que se genera en la planta de electrodos en TM.....	127
Tabla 23. Total de cascarilla generada en la planta siderúrgica de Aceros Arequipa	128
Tabla 24. Valorización en los diferentes niveles de producción de cascarilla.....	130
Tabla 25. Rentabilidad del uso de la cascarilla en el proceso productivo de electrodos	131
Tabla 26. Cuadro de resumen de la capacidad de reutilización de la cascarilla en la producción de electrodos.	133
Tabla 28 Matriz de consistencia para la investigación de la cascarilla de acero	153

REFERENCIAS

- Adams, D. (1993). *Mostly Harmless*, Macmillan. London: Trafalgar Square.
- Alacero. (2do semestre de 2022). *Reporte_Sustentabilidad_Alacero*.
https://cms.alacero.org/uploads/Reporte_Sustentabilidad_Alacero_2022_2_ee311f667b.pdf
- Antonio Gutierrez, S. G. (Marzo de 2023). *77 section, Reunion de alto nivel de la Asamblea General sobre el papel del Objetivo de cero desechos como solucion transformadora para lograr los Objetivos de Desarrollo sostenible*.
<https://webtv.un.org/es/asset/k17/k172rs8cqd>.
- Arnold, K. B. (2009). *Klimaschutz und optimierter Ausbau erneuerbarer Energien durch Kaskad-ennutzung von Biomasseprodukten, Report Nr. 5*. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima,Umwelt, Energie.
- ASME Metal, H. (1987). Corrosion, Vol 13, 9na ed. En S. A. Bradforf. ASME.
- ASTM C702, R. (1998). *Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size*. EEUU: The American Society for Testing and Materials ASTM.
- ASTM:C-136, R. (2005). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. EEUU: The American Society for Testing and Materials ASTM.
- AWS, A. W. (2015). *Norma ASME seccion II part C SFA5.1 / 5.1M, SPECIFICATION FOR CARBON STEEL ELECTRODES*. Houston: ASME International.
- Azqueta Oyarzun, D. (1994). *Valorizacion Economica de la calidad Ambiental*. Madrid, Santiago- Chile: McGraw-Hill.
- Bucanac, C. (January de 1999). *The V-Model*. [www. bucanac.com/documents/The_V-Model.pdf](http://www.bucanac.com/documents/The_V-Model.pdf)
- BY N.M.R. DE RISSONE, J. P. (2002). ANSI/AWS A5.1.E6013 Rutile Electrode: The effect of calcite . *Welding Journal AWS*, 113-124.
- Cabrera, N. &. (1949). Theory of oxidation of metals. *Rep Prog Phys Vol 12*, pp 163-184.
- Caceres Linares, L. C. (1997). Estudio del proceso de soldadura con Arco de Tungsteno con gas Inerte [T.I.G.] en Aceros Inoxidables del tipo 304 y 316 L. *Tesis de grado*. Rimac, Lima, Peru: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingenieria Geologica Minera y Metalurgica.
- Carroll, G. G. (Oct 20,1959). *EEUU Patent No. 2.909.648*.

- Constitucional, S. d. (06 de Noviembre de 2001). *Transcripción de la Sentencia del Tribunal Constitucional en el Expediente N° 0018-2001-AI/TC*. <http://www.tc.gob.pe/jurisprudencia/2003/00018-2001-AI.html>.
- Cuellar, R. (2005). *Cinética de crecimiento, mecanismos de remoción y morfología del óxido de hierro en aceros laminados en una planta compacta de productos planos*. Tesis (Doctorado en Ingeniería de Materiales). Mexico: Universidad Autónoma de Nuevo leon Division de estudios de Tesis Doctoral Facultad de Ingenieria Macanica Electrica.
- D'Onofrio, D. I. (25 de Diciembre de 2010). *Modelos de desarrollo de software: Cascada vs V*. <HTTP://DDONOFRIO.BLOGSPOT.DE/2010/12/MODELOS-DE-DESARROLLO-DE-SOFTWARE.HTML>
- Darken. (1945). The System Iron– Oxygen, I: The Wustite Field and Related Equilibria,” , vol. 67. En D. L. R.W., *Introduction to the Thermodynamics of Materials* (pág. 1398). J. Am Chem Soc.
- Davis, J. (1997). Heat – Resistant Materials. . En ASM International. Handbook Committee. ASM International.
- De Rissone, N. M. (2002). ANS/AWS A5.1-91 E6013 Rutile Electrodes: The Effect of Calcite. *Welding Research . Welding Journal.*, pp 113S – 124S.
- DeMarco, T. &. (1988). *Peopleware productive Projects an Teams, 2a. ed*. New York: Dorset House publishing Co.
- Dornburg, V. (01 de December de 2004). Dissertation an der Universität Utrecht: Multi-functional Biomass Systems. *Ter Verkrijging Van De Graad Van Doctor Aan De Universiteit Utrecht Op Gezag Van De Rector Magnificus*. Netherlands: Department of Science, Technology and Society, Faculty of Chemistry, Utrecht University.
- Douglas, M. (2013). Other Variations of the Split-Plot Design. En *Design and Analysis of Experiments* (pág. 646). Arizona: John Wiley & Sons, Inc.
- Europea, C. U. (2008). *Legislación de la Unión Europea sobre gestión de residuo Directiva 2008/98/CE*. Comite Unión Europea sobre gestión de residuo: <https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/eu-waste-management-law.html>
- Garvin, D. (1984). What Does ‘Product Quality’ Really Mean?”. *Sloan Management Review*, 25- 45.
- Garvin, D. (noviembre de 1987). *Competing on the Eight Dimensions of Quality: Harvard Business Review*. <http://www.hbr.org/1987/11/competing-on-the-eight-dimensions-of-quality?language=es>

- Garvin, D. (1987). Harvard Business Review. En *Competing on the Eight Dimensions of Quality* (Vol. 7 ed, págs. 101 - 109). Mexico: McGraw-Hill Companies, Inc. www.acm.org/crossroads/xrds6-4/software.html
- Gaskell, D. a. (2003). Binary Systems Containing Compounds. En *Introduction to Metallurgical Thermodynamics. 6th Ed.* (págs. pp 530-532). Purdue University, School of Materials Engineers, West Lafayette, IN: CRC Press, Taylor & Francis Grup.
- Gibernau, M. M. (2005). Usabilidad en sistemas de información. *La Segunda jornada de usabilidad en sistemas de información.* (págs. 415 - 432). Barcelona: Universitat Pompeu Fabra (Barcelona, España). Departament de Ciències Polítiques.
- Glass, R. (mayo 1998). Defining Quality Intuitively. *IEEE Software*, pp. 103-104, 107.
- Gleick, P. (1993). Water in Crisis (Ed). *Oxford University Press* . Nueva York.
- González, F. M. (2018). *Estudio Experimental De Un Proceso De Producción de Cloruro Férrico a partir de desechos de la industria del Acero*, . Chile: Universidad De Chile, Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas Departamento De Ingeniería Química, Biotecnología y Materiales.
- Gurry, D. L. (1945-1946). The System Iron– Oxygen, I: The Wustite Field and Related Equilibria; “ The System Iron– Oxygen Vol 67, II Equilibria and Thermodynamics of Liquid Oxide and Other Phases vol 68. En D. L.S., *Introduction thermodynamic* (págs. Vol 67-1398 / Vol 68-798). New York: J. Am. Chem Soc.
- Gurry, L. D. (1946). The system Iron-Oxygen. En *Equilibria and Thermodynamic of Liquid Oxide and Other Phases* (pág. 798). west lafayette, IN: J. Am. Chem. Soc, Vol 68.
- Hanna, M. (1995). Farewell to Waterfalls. *Software Magazine*, pp. 38-46.
- Heinke, J. G. (1996.). *Ingenieria Ambiental 2da Ed.* . Mexico: Environmental Science and Engineering.
- Horwitz., H. (1997). Metalurgia de la soldadura. En *Soldadura Aplicaciones y Práctica.* (págs. pp. 471 – 679). Mexico: Alfaomega.
- ISO, L. O. (2015). *ISO (Organización Internacional de Normalización).* <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:es>.
- j.d verthoeven, a. p. (1998). the role of impurities in ancient damascus steel blades. *jom*, 58 - 64.
- Janicki, S. G. (1992). The Material Cascade: An Alternative Form of Remrind Utilization, *Plastics: Shaping the Future. ISWA LAC(Antec'92)*, 1201- 1204.

- Kearns, W. (1978). Welding processes – arc and gas welding and cutting, brazing and soldering. En A. W. Society, *Welding Handbook vol. 2, 7th ed.* (págs. pp. 43 – 76.). USA: J. C. Fallick et al.
- Love, L. C. (1987). *Soldadura : procedimientos y aplicaciones: Soldadura, Soldadura electrica, Control de Calidad.* México DF: Diana.
www.ipn.mx/assets/files/cecyt4/docs/estudiantes/aulas/guias/cuarto/vesperino/procesos/procesos-de-soldadura.pdf
- Luis Morales, C. N. (2016). VALORIZACIÓN DE ACEROS AREQUIPA,. Lima, Peru: Tesis de Investigación de Magíster en Finanzas, Universidad del Pacifico.
- Mariela Torre, K. P. (2002). *TAMAÑO DE UNA MUESTRA PARA UNA INVESTIGACIÓN DE MERCADO*,. Guatemala: Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar, boletín 02,. Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar, boletín 02, : http://moodlelandivar.url.edu.gt/url/oa/fi/ProbabilidadEstadistica/URL_02_BAS02%20DE
- NHM, M. o. (1993.). Guidelines for Canadian Drinking Water Quality, 5a ed. *Ottawa Canada Communication Group*,.
- Olszewski, B. &. (May,17 1887). *EEUU Patent No. 363,320*.
- Paidassi, J. (1957). Oxidation of iron in air between 700°C and 1250°C. Mam. En J. H. G.J. Yurek, *Oxidation of Metals, Sci.Rev. Met. 54.* (pág. pp. 569). WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Pressman, R. (1995). Un enfoque práctico, . En *Ingeniería del Software 3ª Ed* (págs. Pag. 26-30). México: MCGraw Hill.
- REPUBLICA, C. D. (23 de Diciembre de 2016). *Decreto Legislativo N° 1278, Ley de gestión integral de residuos sólidos.* CONGRESO DE LA REPUBLICA DEL PERU.: <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/1519.pdf>
- Roos, J. (1996). *The F,Poised Organization: Navigating Effectively on Knowledge Landscapes.* www.imd.ch/fac/roos/paper_po.html
- Schwerdtfeger k., M. S.-h. (1998). Solidification in a round continuous casting mold, and materials transactions. En Schwerdtfeger, *Stress formation in solidifying bodies. vol. 29b* (págs. 1057 - 1068). Institute of Metallurgy.
- Sirkin, T. &. (1994). La cadena en cascada: una teoría y una herramienta para lograr la sostenibilidad de los recursos con aplicaciones para el diseño de productos. Recursos, conservación y reciclaje. Viena: ISWA, Asociación Internacional de Residuos Sólidos.

- Struve, V. (1985). *Histoy of Ancient Greecer*. 122, 145-149.
- Sundman b., j. (1999). Computer applications in the development of steels. *Mrs. Bulletin*, 32 - 36.
- Suriam, E. (1997). ANSI/AWS E7024 SMAW Electrode: The effect of Caoting Magnesium Additions, . *Welding Journal* 76 , pp 400 – 411. .
- Unidas, N. (30 de Oct de 2023). *Dia Internacional Cero Desechos la ONU aboga hacia una Economia Circular*. Retrieved Junio de 2023, from <https://news.un.org/es/story/2023/03/1519822>
- V, S. R. (noviembre de 2022). Analisis de la industria Siderurgica en el Peru enfocado en las barras de construccion. Lima: Universidad de Piura.
- Wang, B. &. (2020). Intelligent Welding System Technologies: State-of-the-Art Review and Perspectives. *Journal of Manufacturing Systems*(56), 81 - 91.
- Yarovchuk, A. V. (1997). Special features of using sligly enriched ilmenite concentrate in the coating of welding electrodes for general applications. *Avt. Svarka (11)*, pp 46 – 56.
- Yliana S. Barón, G. N. (2010). Mecanismo de oxidación de un acero 1,25 Cr – 0,5 Mo wt% en aire a 600 °C. *Rev. LatinAm. Metal. Mater*, v.30(1), 40 – 45. <https://doi.org/www.rlmm.org>
- Aroquipa Velásquez, H. (2014). *Procesos constructivos de edificaciones y sus impactos ambientales con relación a una producción limpia y sostenible*.
- Córdova, M., & Monsalve, C. (2013). *Niveles de investigación: Predictiva, proyectiva, interactiva, confirmatoria y evaluativa*.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Batista, P. (2010). Metodología de la Investigación.(5ta. Edición). México: Editorial Mc Graw Hill. Campos, W.(2010). *Apuntes de Metodología de La Investigación Científica*.
- Medina, A. B. C. (2014). Investigación holística y Desarrollo Instruccional en la comprensión del discurso escrito en estudiantes de educación media de la UEN José Félix Blanco. Caracas. *Revista de Investigación*, 38(81), 69–88.
- Rinc, I. B. (2011). *Investigación científica e investigación tecnológica como componentes para la innovación: consideraciones técnicas y metodológicas*. 220–255.
- Soto, I. B. R. (2011). Investigación científica e investigación tecnológica como componentes para la innovación: consideraciones técnicas y metodológicas. *Contribuciones a Las*

Ciencias Sociales, 8.

Viteri, N. C. (2012). LA INVESTIGACIÓN MIXTA, ESTRATEGIA ANDRAGÓGICA FUNDAMENTAL PARA FORTALECER LAS CAPACIDADES INTELECTUALES SUPERIORES. *REVISTA CIENTÍFICA VOL 2, NÚMERO 2, AGOSTO DE 2012*.

Aroquipa Velásquez, H. (2014). *Procesos constructivos de edificaciones y sus impactos ambientales con relación a una producción limpia y sostenible*.

Córdova, M., & Monsalve, C. (2013). *Niveles de investigación: Predictiva, proyectiva, interactiva, confirmatoria y evaluativa*.

Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Batista, P. (2010). Metodología de la Investigación.(5ta. Edición). México: Editorial Mc Graw Hill. Campos, W.(2010). *Apuntes de Metodología de La Investigación Científica*.

Medina, A. B. C. (2014). Investigación holística y Desarrollo Instruccional en la comprensión del discurso escrito en estudiantes de educación media de la UEN José Félix Blanco. Caracas. *Revista de Investigación*, 38(81), 69–88.

Rinc, I. B. (2011). *Investigación científica e investigación tecnológica como componentes para la innovación: consideraciones técnicas y metodológicas*. 220–255.

Soto, I. B. R. (2011). Investigación científica e investigación tecnológica como componentes para la innovación: consideraciones técnicas y metodológicas. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, 8.

Viteri, N. C. (2012). LA INVESTIGACIÓN MIXTA, ESTRATEGIA ANDRAGÓGICA FUNDAMENTAL PARA FORTALECER LAS CAPACIDADES INTELECTUALES SUPERIORES. *REVISTA CIENTÍFICA VOL 2, NÚMERO 2, AGOSTO DE 2012*.

ANEXOS



Glosario

ABS	:	American Bureau of Shipping (USA)
ASME	:	American Society of Mechanical Engineers (USA)
ASTM	:	American Society for Testing and Materials (USA)
AWS	:	American Welding Society (USA)
Berthollides	:	Base de la moderna nomenclatura química.
BS	:	Shipping Laws and Regulations United Kingdom
Cascarilla	:	Capa en forma de lámina de óxido de hierro que protege la superficie del acero
Celulósicos	:	Clasificación de los electrodos básicos con un alto contenido en su revestimiento de un material a base de celulosa
Consumibles	:	Este término muy usado por los soldadores para establecer un electrodo de soldadura utilizado para los diferentes procesos de soldadura y materiales.
Deformación Plástica	:	Se alcanza cuando la fuerza aplicada resulta tan grande que, internamente, los átomos tienen a cambiar su posición o forma, Ej.: de forma cuadrado a una forma redonda.
Difusibilidad:	:	Proceso mediante el cual los átomos de un elemento se introducen o difunden en la estructura de un compuesto químico o metal.
DIN	:	Deutsches Institut für Normung (Germany)
Energía libre	:	Es un potencial termodinámico que se puede usar para calcular el máximo de trabajo reversible que puede realizarse mediante un sistema termodinámico a una temperatura y presión constantes
Extrusión	:	El proceso de extrusión es el más empleado en la elaboración de electrodos, el cual consiste en la adherencia de la masa del recubrimiento por presión y el aglutinante.
GL	:	Germanischer Lloyd (Germany)
GMAW (MIGMAG)	:	Gas Shield Metal Arc Welding, soldadura de metal por arco protegido por gas Argón o gas CO ₂ o la combinación de ambos gases.

GTAW / (TIG)	:	Shield Tungsten Arc Welding, se hace circular la corriente eléctrica a entre el electrodo tungsteno no consumible y el metal base
IF	:	Índice de finura granulométrico de masa seca
Innovate Perú	:	Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación
ISO	:	Organización Internacional de Normalización
IWS	:	Intelligent Warning System
Macrografía	:	Es uno de los ensayos más requeridos por los códigos y normas en el control de calidad de la fabricación de materiales para revelar macroestructura del material en la construcción donde se utiliza la fabricación soldada.
Oligisco	:	Es una variedad de la hematita de forma laminar y brillante, su color puede variar en distintos tonos de pardo a negro
Palanquilla:	:	Barra de acero fabricada a partir de un proceso de colada continua de acero líquido que no tiene las esquinas pulidas. Su utilidad reside en la mayor facilidad para ser trefilado en caliente
PHVA	:	Planificas, hacer, verificar, actuar
Residuos solidos	:	Materiales o sustancias inservibles que no tienen un “valor de uso directo” para los generadores
SAE	:	Society of Automotive Engineers (USA) norma para la clasificación de aceros
Salpicaduras	:	Se genera durante el soldeo las gotas que se esparcen alrededor del charco de soldadura
SGC	:	Sistema de gestión de la calidad
Sinterizados:	:	Es un tratamiento térmico utilizado para el desarrollo de uniones entre partículas, con el objetivo de formar un objeto sólido, continuo y de densidad controlada
SMAW / (MMA)	:	Shielded metal arc welding, soldadura manual por arco con electrodo revestido.
Trefilado	:	Consiste en disminuir el diámetro de un alambre de acero a través de un juego de dados que poseen forma cónica (una entrada grande y salida más pequeña)
UE:	:	Unión Europea

Matriz de consistencia para la investigación de la cascarilla de acero

MATRIZ DE CONSISTENCIA							
FORMULACION DE PROBLEMA	OBJETIVO	JUSTIFICACION	HIPOTISIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	SUB-INDICADORES
<p>¿De qué manera el uso de la cascarilla de acero mejora la calidad del electrodo revestido y reducir la contaminación en la industria fabril en el Perú?</p> <p>Problema específico</p> <p>1. ¿Qué tipo de residuos sólidos son los que requieren mayor atención en la industria fabril de electrodos e industria siderúrgica?</p> <p>2. ¿Cómo repercute los ingresos económicos para la industria fabril de electrodos el manejo de los residuos sólidos?</p> <p>3. Determinar las propiedades físicas-químicas del electrodo, a fin de comprobar si es apto o no para su empleo y exigencias del proyecto.</p>	<p>Objetivo General Controlar y mitigar la contaminación en las plantas de electrodos mediante el reciclaje de la cascarilla de alambión.</p> <p>Objetivos Específicos A. Evaluar los diferentes tipos de óxidos de hierro presente en la cascarilla de alambión. B. Optimizar el proceso de decapado mediante el tratamiento térmico de la palanquilla de trefilado C. Analizar el grado de contaminación del suelo, de los trabajadores e identificar los metales pesados y su forma química presente. D. Proponer a la organización el uso de la cascarilla en el proceso fabril de electrodos celulósicos. E. Evaluar el impacto del tratamiento de los residuos sólidos en el proceso productivo.</p>	<p>El presente trabajo de investigación es importante por qué:</p> <p>A. permite minimizar la contaminación B. permite establecer una economía circular C. permite aplicarlo en forma de cascada secundaria en otras industrias fabriles. D. Este nuevo procedimiento de reproceso mejora los niveles de rentabilidad E. permite establecer la posibilidad incorporar su uso en los revestimientos de electrodos sin afectar la calidad del producto.</p>	<p>Si, el reciclaje de la cascarilla del alambión de acero como residuos sólidos se lograría minimizar, entonces, los niveles de contaminación en las plantas de electrodos y siderúrgicas se reducirían</p> <p>Si, el reciclaje de la cascarilla del alambión de acero como residuos sólidos no logran mejorar minimizar, entonces, los niveles de contaminación en las plantas de electrodos y siderúrgicas seguirán</p>	<p>Variables independientes</p> <p>NUEVO SISTEMA DE CASCADA EN EL REPROCESO SIDERURGICO Y FABRIL DE ELECTRODOS</p> <p>Variable dependiente</p> <p>CALIDAD EN EL MANEJO DE LA CASCARILLA DE ACERO COMO RESIDUO</p>	<p>A. Acopio</p> <p>B. Modelamiento matemático y diseño experimental</p> <p>C. Curvas Modelamiento.</p> <p>D. Evaluación</p>	<p>a.1. Acopio a.2. Clasificación a.3. Estimación IF. a.4. Materiales e insumos</p> <p>b.1. Determinar variables mezclado b.2. Diseño de Mezclas b.3. Extrusión. b.4. Secado</p> <p>c.1. calibración c.2. ciclos horneados c.3. humedad</p> <p>d.1. Norma ASME A5.1 AWS d.2. Soldeo d.3. Piloto</p>	<p>1. Pruebas de ensayo Mecánico 2. Pruebas de análisis Químico del metal depositado 3. Pruebas de Impacto Charpy-V 4. Pruebas de Dureza Rockwell 5. Pruebas de ensayo por Ultrasonido 6. Análisis Metalográfico</p>

Nota: Fuente diseño propio

Tabla

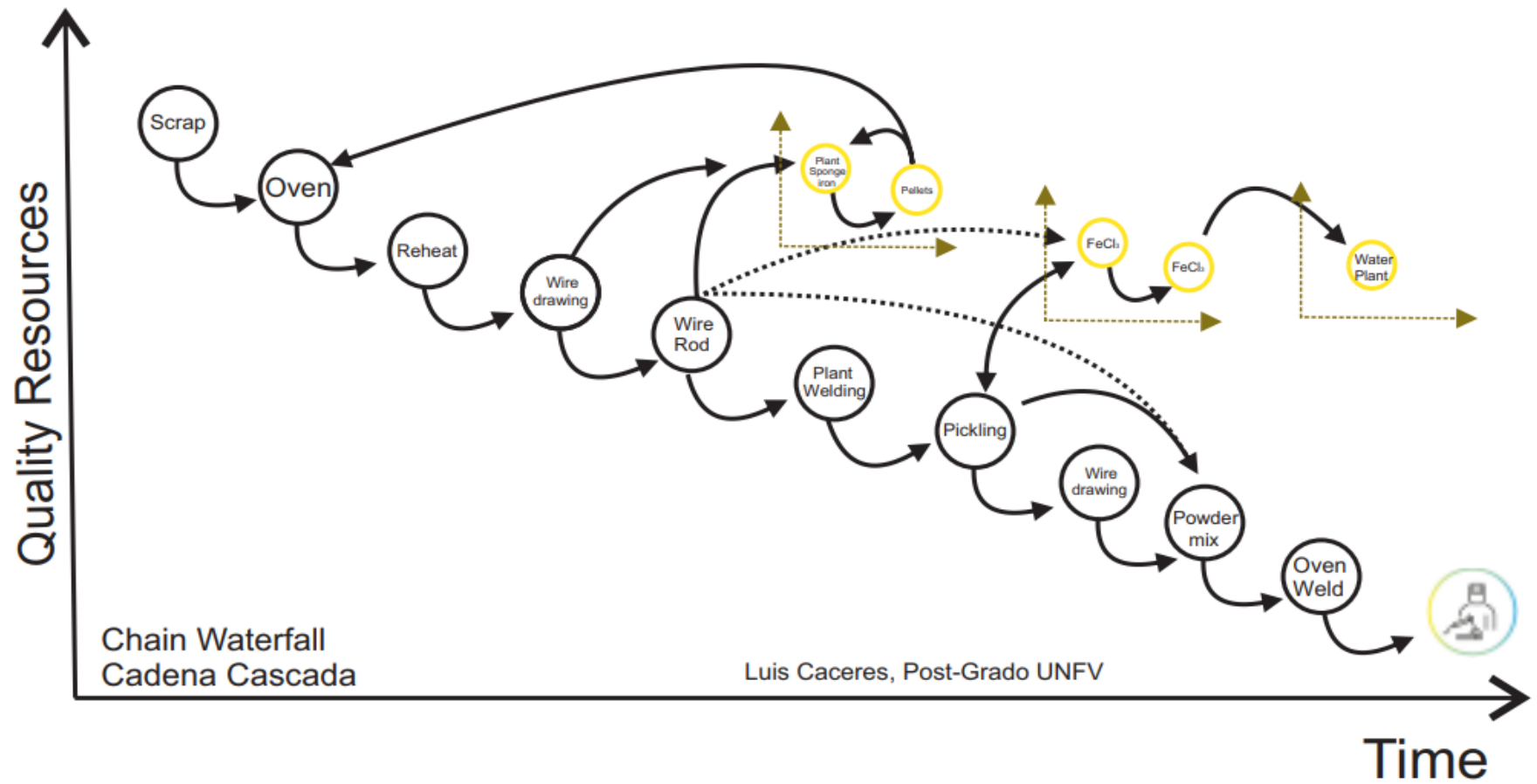
Diseño DOE para mezclas para revestimientos según diseño experimental tipo Factorial

<u>StdOrder</u>	<u>RunOrder</u>	<u>CenterPt</u>	<u>Blocks</u>	<u>1034</u>	<u>1041</u>	<u>2272</u>	<u>3427</u>	<u>2451</u>	<u>2454</u>	<u>2463</u>	<u>3113</u>	<u>3566</u>	<u>IF final</u>
17	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127.70
5	2	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	126.67
12	3	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	107.84
14	4	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	124.79
16	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	138.03
13	6	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	151.64
4	7	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	112.39
11	8	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	155.85
7	9	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	104.21
8	10	1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	142.69
9	11	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	99.17
6	12	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	139.52
1	13	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	99.20
2	14	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	160.91
10	15	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	122.91
15	16	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	145.19
3	17	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	102.03

Nota: Fuente diseño propio

Figura

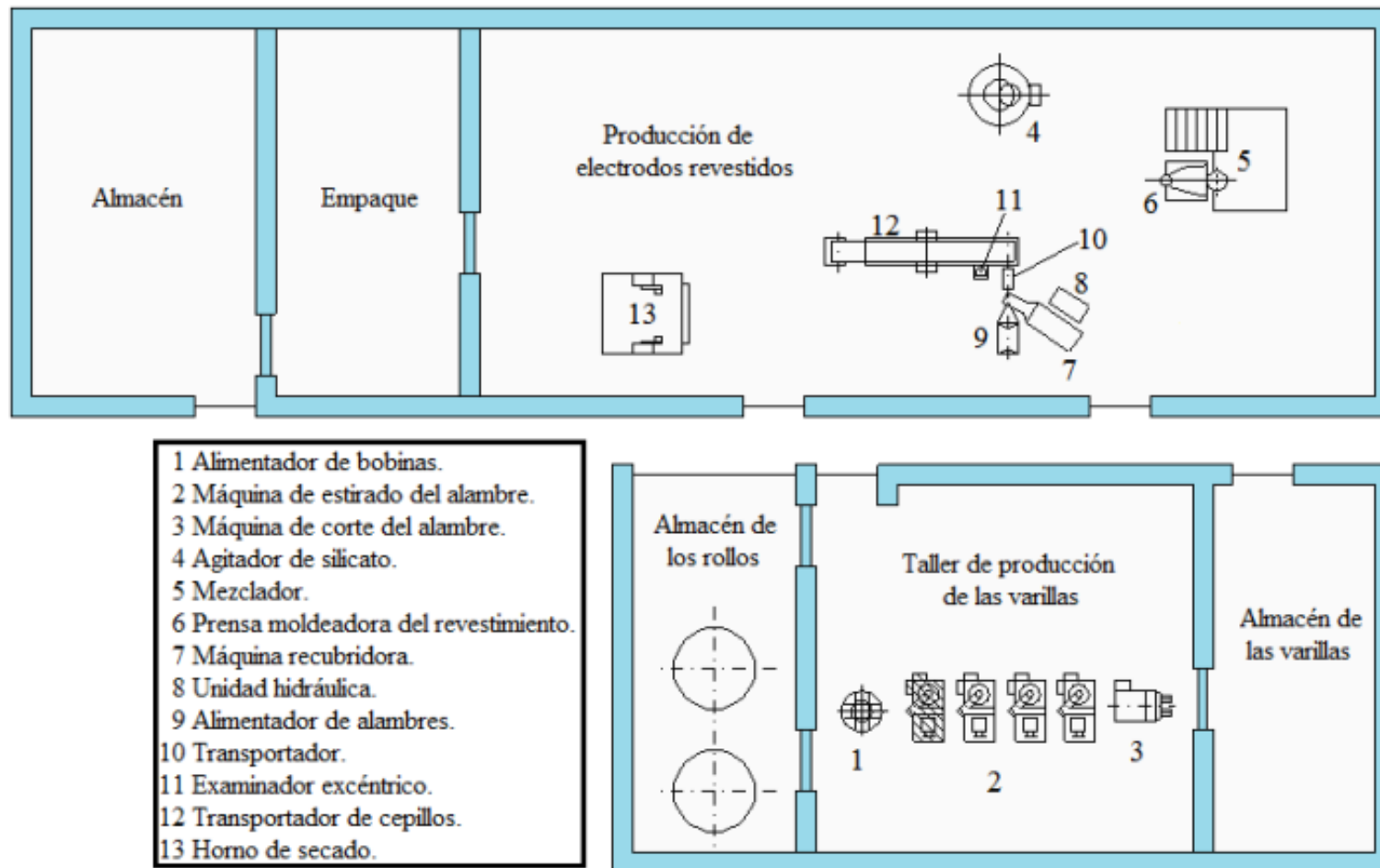
Modelo cascada propuesto para la cascarilla de acero en la fabricación de alambrones para la fabricación de electrodos de soldar



Nota: Fuente diseño propio

Figura

Distribución de la planta piloto de NEXSOL para las pruebas de fabricación de electrodos



Nota. Fuente: Nexsol

Figura

Pruebas de campo en Soldador en distrito de Villa el Salvador

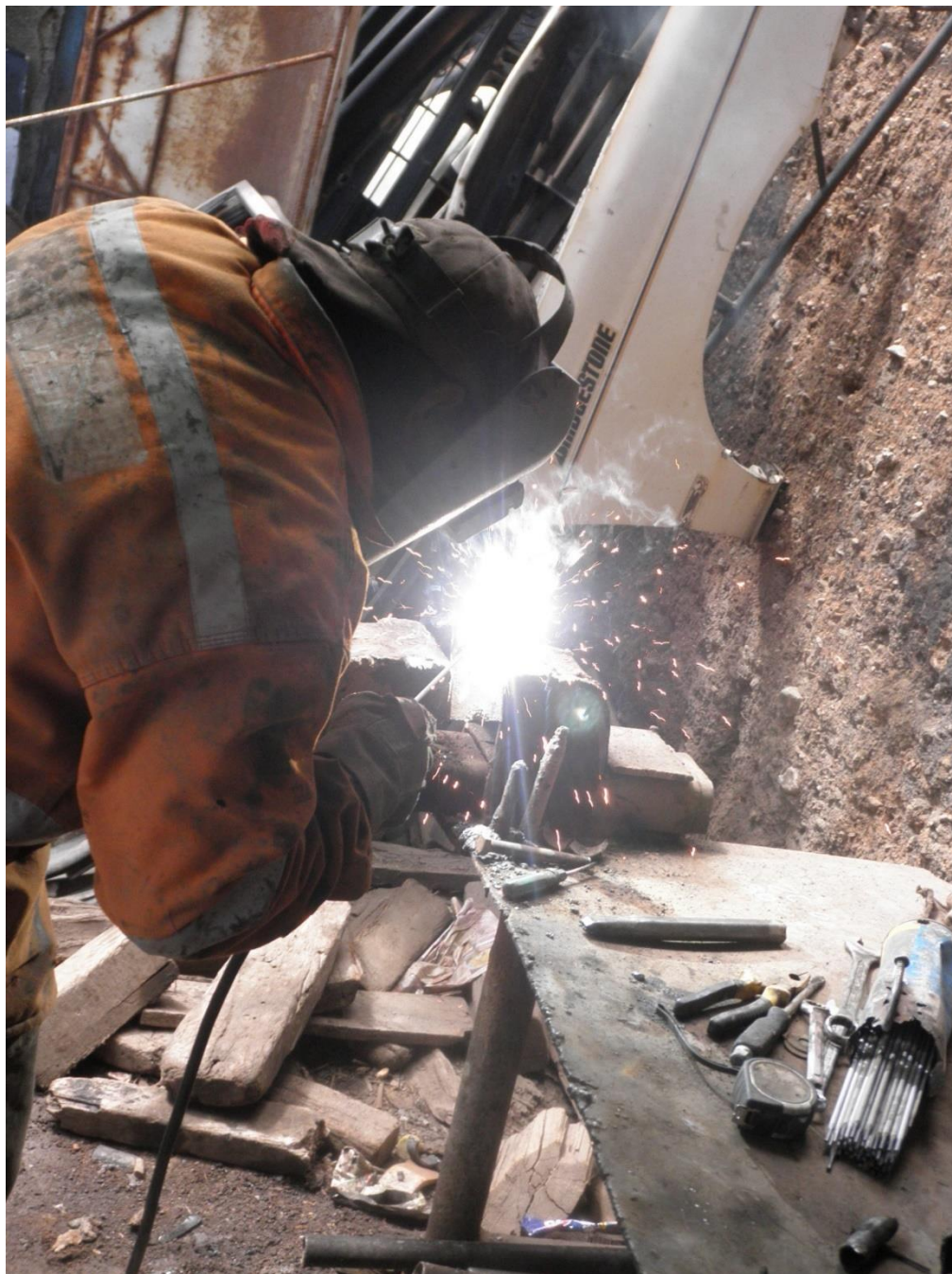
**Figura**

Soldador en Instituto Promae de Villa Salvador



Figura

Pruebas de Campo del electrodo E6011 en un Talle en la ciudad de la Oroya



Figura

Clasificación de electrodos AWS, ASME Sección II Part C SFA5.1/5.1M

SFA-5.1/SFA-5.1M

2007 SECTION II, PART C

TABLE 1
ELECTRODE CLASSIFICATION

AWS Classification		Type of Covering	Welding Position ⁽¹⁾	Type of Current ⁽²⁾
A5.1	A5.1M			
E6010	E4310	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E6011	E4311	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E6012	E4312	High titania sodium	F, V, OH, H	ac or dcen
E6013	E4313	High titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep or dcen
E6018 ⁽³⁾	E4318 ⁽³⁾	Low-hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H	ac or dcep
E6019	E4319	Iron oxide titania potassium	F, V, OH, H	ac dcep or dcen
E6020	E4320	High iron oxide	H-fillet F	ac or dcen ac, dcep or dcen
E6022 ⁽⁴⁾	E4322 ⁽⁴⁾	High iron oxide	F, H-fillet	ac or dcen
E6027	E4327	High iron oxide, iron powder	H-fillet F	ac or dcen ac, dcep or dcen
E7014	E4914	Iron powder, titania	F, V, OH, H	ac, dcep or dcen
E7015	E4915	Low-hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep
E7016 ⁽³⁾	E4916 ⁽³⁾	Low hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E7018 ⁽³⁾	E4918 ⁽³⁾	Low-hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H	ac or dcep
E7018M	E4918M	Low-hydrogen iron powder	F, V, OH, H	dcep
E7024 ⁽³⁾	E4924 ⁽³⁾	Iron powder, titania	H-fillet, F	ac, dcep or dcen
E7027	E4927	High iron oxide, iron powder	H-fillet F	ac or dcen ac, dcep or dcen
E7028 ⁽³⁾	E4928 ⁽³⁾	Low-hydrogen potassium, iron powder	H-fillet, F	ac or dcep
E7048	E4948	Low-hydrogen potassium, iron powder	F, OH, H, V-down	ac or dcep

NOTES:

- (1) The abbreviations, F, H, H-fillet, V, V-down, and OH indicate the welding positions as follows: F = Flat, H = Horizontal, H-fillet = Horizontal fillet, V = Vertical, progression upwards (for electrodes $\frac{3}{16}$ in. [5.0 mm] and under, except $\frac{5}{32}$ in. [4.0 mm] and under for classifications E6018 [E4318], E7014 [E4914], E7015 [E4915], E7016 [E4916], E7018 [E4918], E7018M [E4918M], E7048 [E4948]). V-down = Vertical, progression downwards (for electrodes $\frac{3}{16}$ in. [5.0 mm] and under, except $\frac{5}{32}$ in. [4.0 mm] and under for classifications E6018 [E4318], E7014 [E4914], E7015 [E4915], E7016 [E4916], E7018 [E4918], E7018M [E4918M], E7048 [E4948]), OH = Overhead (for electrodes $\frac{3}{16}$ in. [5.0 mm] and under, except $\frac{5}{32}$ in. [4.0 mm] and under for classifications E6018 [E4318], E7014 [E4914], E7015 [E4915], E7016 [E4916], E7018 [E4918], E7018M [E4918M], E7048 [E4948]).
- (2) The term "dcep" refers to direct current electrode positive (dc, reverse polarity). The term "dcen" refers to direct current electrode negative (dc, straight polarity).
- (3) Electrodes with supplemental elongation, notch toughness, absorbed moisture, and diffusible hydrogen requirements may be further identified as shown in Tables 2, 3, 10, and 11.
- (4) Electrodes of the E6022 [E4322] classification are intended for single-pass welds only.

Figura

Resumen por tipo de electrodo, ASME Sección II Part C SFA5.1/5.1M

SFA-5.1/SFA-5.1M

2007 SECTION II, PART C

TABLE 4 (CONT'D)
REQUIRED TESTS

AWS Classification		Current and Polarity ⁽¹⁾	Electrode Size		Welding Position for Test Assembly ⁽²⁾				
A5.1	A5.1M		A5.1 (in.)	A5.1M (mm)	Chemical ⁽³⁾ Analysis	Radiographic Test ⁽⁴⁾ All-Weld-Metal Tension Test ⁽⁵⁾	Impact Test ⁽⁶⁾	Fillet Weld Test ⁽⁷⁾	Moisture Test ⁽⁸⁾
E7014	E4914	ac, dcep, and dcen	$\frac{3}{32}, \frac{1}{8}$	2.4, 2.5, 3.2	NR	NR	NR	NR	NR
			$\frac{5}{32}$	4.0	F ⁽¹¹⁾	F ⁽¹¹⁾	NR	V & DH	NR
			$\frac{3}{16}$	4.8, 5.0	NR	F ⁽¹¹⁾	NR	H-fillet	NR
			$\frac{7}{32}$	5.6	NR	NR	NR	NR	NR
			$\frac{1}{4}$	6.0, 6.4	F ⁽¹¹⁾	F ⁽¹¹⁾	NR	H-fillet	NR
$\frac{5}{16}$	8.0	NR	F ⁽¹¹⁾	NR	NR	H-fillet	NR		
E7015	E4915	dcep	$\frac{3}{32}, \frac{1}{8}$	2.4, 2.5, 3.2	NR	NR	NR	NR	NR
			$\frac{5}{32}$	4.0	F	F	F	V & DH	Reqd.
			$\frac{3}{16}$	4.8, 5.0	NR	F	F	H-fillet	NR
			$\frac{7}{32}$	5.6	NR	NR	NR	NR	NR
			$\frac{1}{4}$	6.0, 6.4	F	F	F	H-fillet	Reqd.
$\frac{5}{16}$	8.0	NR	F	NR	NR	NR			
E7016	E4916	ac and dcep	$\frac{3}{32}, \frac{1}{8}$	2.4, 2.5, 3.2	NR	NR	NR	NR	NR
			$\frac{5}{32}$	4.0	F	F	F	V & DH	Reqd.
			$\frac{3}{16}$	4.8, 5.0	NR	F	F	H-fillet	NR
			$\frac{7}{32}$	5.6	NR	NR	NR	NR	NR
			$\frac{1}{4}$	6.0, 6.4	F	F	F	H-fillet	Reqd.
$\frac{5}{16}$	8.0	NR	F	NR	NR	NR			
E7018	E4918	ac and dcep	$\frac{3}{32}, \frac{1}{8}$	2.4, 2.5, 3.2	NR	NR	NR	NR	NR
			$\frac{5}{32}$	4.0	F	F	F	V & DH	Reqd.
			$\frac{3}{16}$	4.8, 5.0	NR	F	F	H-fillet	NR
			$\frac{7}{32}$	5.6	NR	NR	NR	NR	NR
			$\frac{1}{4}$	6.0, 6.4	F	F	F	H-fillet	Reqd.
$\frac{5}{16}$	8.0	NR	F	NR	NR	NR			
E7018M ⁽¹³⁾	E4918M ⁽¹³⁾	dcep	$\frac{3}{32}$ to $\frac{5}{32}$ inc. $\frac{3}{16}$ to $\frac{5}{16}$ inc.	2.4 to 4.0 inc. 4.8 to 8.0 inc.	F F	V F	V F	NR NR	Reqd. Reqd.
E7024	E4924	ac, dcep, and dcn	$\frac{3}{32}, \frac{1}{8}$	2.4, 2.5, 3.2	NR	NR	NR ⁽¹⁴⁾	NR	NR
			$\frac{5}{32}$	4.0	F ⁽¹²⁾	F ^(11,12)	F ⁽¹⁴⁾	H-fillet	NR
			$\frac{3}{16}$	4.8, 5.0	NR	F ^(11,12)	F ⁽¹⁴⁾	H-fillet	NR
			$\frac{7}{32}$	5.6	NR	NR	NR ⁽¹⁴⁾	NR	NR
			$\frac{1}{4}$	6.0, 6.4	F ⁽¹²⁾	F ^(11,12)	F ⁽¹⁴⁾	H-fillet	NR
$\frac{5}{16}$	8.0	NR	F ^(11,12)	NR ⁽¹⁴⁾	NR	NR			
E7027	E4927	For H-fillet, ac and dcn; For flat position ac, dcep, and dcn	$\frac{1}{8}$	3.2	NR	NR	NR	NR	NR
			$\frac{5}{32}$	4.0	F ⁽¹²⁾	F ^(11,12)	F ⁽¹²⁾	H-fillet	NR
			$\frac{3}{16}$	4.8, 5.0	NR	F ^(11,12)	F ⁽¹²⁾	H-fillet	NR
			$\frac{7}{32}$	5.6	NR	NR	NR	NR	NR
			$\frac{1}{4}$	6.0, 6.4	F ⁽¹²⁾	F ^(11,12)	F ⁽¹²⁾	H-fillet	NR
$\frac{5}{16}$	8.0	NR	F ^(11,12)	NR	NR	NR			
E7028	E4928	ac and dcep	$\frac{1}{8}$	3.2	NR	NR	NR	NR	NR
			$\frac{5}{32}$	4.0	F	F ⁽¹²⁾	F	H-fillet	Reqd.
			$\frac{3}{16}$	4.8, 5.0	NR	F ⁽¹²⁾	F	H-fillet	NR
			$\frac{7}{32}$	5.6	NR	NR	NR	NR	NR
			$\frac{1}{4}$	6.0, 6.4	F	F ⁽¹²⁾	F	H-fillet	Reqd.
$\frac{5}{16}$	8.0	NR	F ⁽¹²⁾	NR	NR	NR			

Nota. Obtenido de AWS (2015)

Figura

Resumen por tipo de electrodo, ASME Sección II Part C SFA5.1/5.1M

TABLE 4 (CONT'D)
REQUIRED TESTS

AWS Classification		Current and Polarity ⁽¹⁾	Electrode Size		Chemical ⁽³⁾ Analysis	Welding Position for Test Assembly ⁽²⁾			
A5.1	A5.1M		A5.1 (in.)	A5.1M (mm)		Radiographic Test ⁽⁴⁾ All-Weld-Metal Tension Test ⁽⁵⁾	Impact Test ⁽⁶⁾	Fillet Weld Test ⁽⁷⁾	Moisture Test ⁽⁹⁾
E7048	E4948	ac and dcep	$\frac{3}{8}$	3.2	NR	NR	NR	NR	NR
			$\frac{5}{32}$	4.0	F	F	F	V-down & OH	NR Reqd.
			$\frac{3}{16}$	4.8, 5.0	NR	F	F	V-down & H-fillet	NR

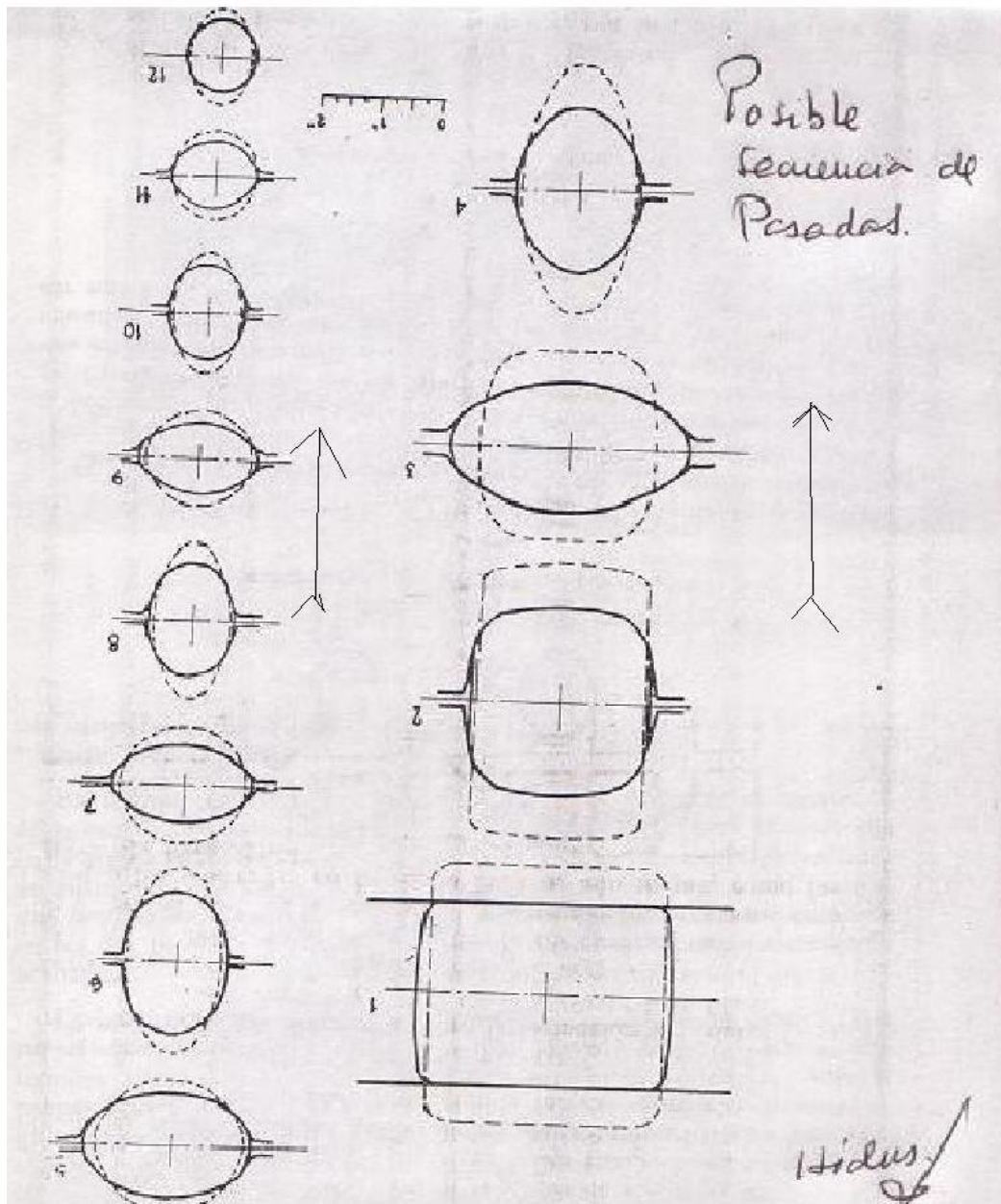
NOTES:

- (1) NR means "not required". The abbreviations F, H-fillet, V-down, V, and OH, are defined in Note (1) of Table 1. The terms "dcep" and "dcen", are defined in Note (2) of Table 1.
- (2) Standard electrode sizes not requiring this specific test can be classified provided at least two other sizes of that classification have passed the tests required for them, or the size to be classified meets specification requirements by having been tested in accordance with Fig. 1, 2, and 3 and Table 6.
- (3) See Section 10.
- (4) See Section 11.
- (5) See Section 12.
- (6) See Section 14.
- (7) See Section 15.
- (8) A radiographic test is not required for this classification.
- (9) The moisture test given in Section 16 is the required test for moisture content of the covering. In Sections 17 and 18 are supplemental tests required only when their corresponding optional supplemental designators are to be used with the classification designators.
- (10) An all-weld-metal tension test is not required for E6022 [E4322] electrodes. Instead, a transverse tension test (see 12.5) and a longitudinal guided bend test (see Section 13) are required for classification of $\frac{5}{32}$ in., $\frac{3}{16}$ in., and $\frac{3}{32}$ in. [4.0 mm, 5.0 mm, and 6.0 mm] E6022 [E4322] electrodes.
- (11) When dcep and dcen are shown, only dcen need be tested.
- (12) Electrodes longer than 18 in. [450 mm] will require a double length test assembly in accordance with Note (1) of Fig. 2, to ensure uniformity of the entire electrode.
- (13) Tests in Section 17 and in Section 18, are required for all sizes of E7018M [E4918M].
- (14) Electrodes identified as E7024-1 [E4924-1] shall be impact tested [see Note (2) of Table 3].

Nota. Obtenido de AWS (2015)

Figura

Esquema de deformación de palanquillas de acero de cuadra a redondo, información,



Nota: obtenido https://es.wikipedia.org/wiki/Tren_de_alambr%C3%B3n