



## **ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**

RECICLAJE DE LA CASCARILLA DE ALAMBRÓN COMO RESIDUO SÓLIDOS E  
INCORPORADO EN LOS REVESTIMIENTOS DE LOS ELECTRODOS BÁSICOS Y  
PARA MINIMIZAR LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN EN LAS PLANTAS  
SIDERÚRGICAS Y ELECTRODOS EN EL PERÚ

**Línea de investigación:**

**Tecnologías para residuos y pasivos ambientales, Biorremediación**

Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Gestión Ambiental

### **Autor**

Cáceres Linares, Luis César

### **Asesor**

Aroquipa Velásquez, Héctor

ORCID: 0000-0002-6502-5618

### **Jurado**

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

Zamora Talaverano, Noe Sabino

Mendoza García, José Tomas

**Lima - Perú**

**2024**

# RECICLAJE DE LA CASCARILLA DE ALAMBRÓN COMO RESIDUO SÓLIDOS E INCORPORADO EN LOS REVESTIMIENTOS DE LOS ELECTRODOS BÁSICOS Y PARA MINIMIZAR LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN EN LAS PLANTAS SIDERÚRGICAS Y EL

## INFORME DE ORIGINALIDAD

28%

INDICE DE SIMILITUD

26%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

14%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

|   |                                                                                        |    |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | <a href="http://cybertesis.uni.edu.pe">cybertesis.uni.edu.pe</a><br>Fuente de Internet | 4% |
| 2 | Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal<br>Trabajo del estudiante        | 2% |
| 3 | <a href="http://eur-lex.europa.eu">eur-lex.europa.eu</a><br>Fuente de Internet         | 1% |
| 4 | <a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a><br>Fuente de Internet               | 1% |
| 5 | <a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a><br>Fuente de Internet       | 1% |
| 6 | <a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a><br>Fuente de Internet                           | 1% |
| 7 | <a href="http://forpost-sz.ru">forpost-sz.ru</a><br>Fuente de Internet                 | 1% |

[repositorio.upao.edu.pe](http://repositorio.upao.edu.pe)



## **ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**

# **RECICLAJE DE LA CASCARILLA DE ALAMBRÓN COMO RESIDUO SÓLIDOS E INCORPORADO EN LOS REVESTIMIENTOS DE LOS ELECTRODOS BÁSICOS Y PARA MINIMIZAR LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN EN LAS PLANTAS SIDERÚRGICAS Y ELECTRODOS EN EL PERÚ**

### **Línea de investigación:**

**Tecnologías para residuos y pasivos ambientales, Biorremediación**

Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Gestión Ambiental

### **Autor**

Cáceres Linares, Luis César

### **Asesor**

Aroquipa Velásquez, Héctor

ORCID: 0000-0002-6502-5618

### **Jurado**

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

Zamora Talaverano, Noe Sabino

Mendoza García, José Tomas

**Lima – Perú**

**2025**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mi esposa e hijos por su apoyo y paciencia, debo dedicarlo a la amistad de Oscar, Gonzalo y Julio Uza que me ayudaron, aconsejaron en mis esfuerzos de investigación a lo largo de los años. Siempre me han ayudado a mantener la perspectiva sobre lo que es importante en la vida y me han mostrado cómo enfrentar la realidad y a mi hermano Eduardo por todo el apoyo incondicional brindado.

## **AGRADECIMIENTO**

Debo de agradecer a mis maestros de la escuela de Postgrado de la Universidad Nacional Federico Villarreal por su aliento y apoyo emocional durante mi formación, donde me enseñaron que en la universidad nacional podemos realizar investigación de alto nivel, también quiero expresar mi agradecimiento al Dr. Héctor Aroquipa por su ayuda en el desarrollo de mi investigación.

## ÍNDICE

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| RESUMEN .....                                 | XV  |
| ABSTRACT.....                                 | XVI |
| I. INTRODUCCIÓN.....                          | 1   |
| 1.1.Planteamiento del problema .....          | 1   |
| 1.2.Descripción del problema .....            | 6   |
| 1.3.Formulación del problema .....            | 2   |
| 1.3.1.Problema general.....                   | 2   |
| 1.3.2.Problemas específicos .....             | 2   |
| 1.4.Antecedentes .....                        | 2   |
| 1.4.1.Internacionales .....                   | 2   |
| 1.5.Justificación de la investigación.....    | 4   |
| 1.5.1.Justificación de la investigación ..... | 4   |
| 1.5.1.1.Justificación teórica. ....           | 4   |
| 1.5.1.2.Justificación práctica.....           | 5   |
| 1.5.1.3.Justificación social.....             | 7   |
| 1.5.2.Importancia de la investigación .....   | 8   |
| 1.5.3.Fundamento.....                         | 8   |
| 1.6.Limitaciones de la investigación.....     | 10  |
| 1.6.1.Espacial .....                          | 11  |
| 1.6.2.Temporal .....                          | 12  |
| 1.6.3.Conflicto de intereses.....             | 12  |
| 1.7.Objetivos de la investigación .....       | 13  |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.7.1.Objetivo general .....                                                         | 13 |
| 1.7.2.Objetivos específicos .....                                                    | 13 |
| 1.8.Hipótesis.....                                                                   | 14 |
| 1.8.1.Hipótesis principal .....                                                      | 14 |
| 1.8.2.Hipótesis secundarias .....                                                    | 14 |
| II. MARCO TEÓRICO .....                                                              | 15 |
| 2.1.Base teórica .....                                                               | 15 |
| 2.1.1.Aspectos metalúrgicos .....                                                    | 15 |
| 2.1.2.Cascarillas de laminación.....                                                 | 15 |
| 2.1.3.El hierro (el acero) y su aplicación .....                                     | 16 |
| 2.1.4.Residuo sólido.....                                                            | 17 |
| 2.1.5.Aspectos termodinámicos a altas temperaturas .....                             | 18 |
| 2.1.5.1. Mecanismo de formación según la ley de fick's .....                         | 18 |
| 2.1.5.2. Mecanismos de oxidación .....                                               | 20 |
| 2.1.5.3. Identificación de los óxidos.....                                           | 22 |
| 2.1.5.4. Termodinámica en la formación de la fase óxido de composición variable..... | 26 |
| 2.1.6.Marco conceptual de la calidad.....                                            | 30 |
| 2.1.6.1. Percepción de la calidad .....                                              | 30 |
| 2.1.6.2. Dimensiones de la calidad de garvin.....                                    | 32 |
| 2.1.6.3. Sistema iso 9000 / iso 14000 .....                                          | 34 |
| 2.1.6.4. Método cascada para el manejo de residuos solidos .....                     | 36 |
| 2.1.7.Marco conceptual de la soldadura.....                                          | 41 |
| 2.1.7.1. Electrodo arco eléctrico.....                                               | 41 |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.7.2. Electroodos de soldadura revestidas .....                                    | 44 |
| 2.1.7.3. Arco eléctrico para soldar .....                                             | 45 |
| 2.1.7.4. Mecánicas del comportamiento del revestimiento durante soldeo.....           | 46 |
| 2.1.7.5. Proceso de soldadura smaw: (soldadura de arco para electrodo revestido)..... | 48 |
| 2.1.7.6. Marco legal.....                                                             | 51 |
| III. MÉTODO .....                                                                     | 57 |
| 3.1.Tipo de investigación .....                                                       | 57 |
| 3.1.1.Tipo .....                                                                      | 57 |
| 3.1.2.Nivel.....                                                                      | 57 |
| 3.1.3.Códigos y nomenclaturas unesco .....                                            | 58 |
| 3.1.4.Diseño de la investigación .....                                                | 59 |
| 3.1.4.1. No experimental.....                                                         | 59 |
| 3.1.4.2. Transversal.....                                                             | 59 |
| 3.1.4.3. Mixto.....                                                                   | 59 |
| 3.1.5.Procedimiento .....                                                             | 60 |
| 3.1.5.1.Recolección de datos cuantitativos: .....                                     | 60 |
| 3.1.5.2.Recolección de datos cualitativos: .....                                      | 60 |
| 3.1.5.3.Análisis de datos: .....                                                      | 61 |
| 3.1.5.4.Interpretación y conclusiones: .....                                          | 61 |
| 3.2.Población y muestra .....                                                         | 61 |
| 3.2.1.Población.....                                                                  | 61 |
| 3.2.2.Tamaño de la muestra .....                                                      | 62 |
| 3.3.Operacionalización de variables .....                                             | 63 |

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.1.Estrategia de prueba de hipótesis .....                         | 63 |
| 3.3.1.1.Formulación de hipótesis. ....                                | 63 |
| 3.3.1.2.Recolección de datos.....                                     | 64 |
| 3.3.1.3.Análisis de datos .....                                       | 64 |
| 3.3.1.4.Validación cruzada.....                                       | 65 |
| 3.3.1.5.Conclusiones y recomendaciones. ....                          | 65 |
| 3.3.2.Variables e indicadores .....                                   | 66 |
| 3.4.Técnicas e instrumentos .....                                     | 68 |
| 3.4.1.Técnicas de procesamiento de datos. ....                        | 68 |
| 3.4.1.1.Limpieza y organización de datos.....                         | 68 |
| 3.4.1.2.Análisis estadístico.....                                     | 68 |
| 3.4.1.3.Análisis cualitativo.....                                     | 69 |
| 3.4.1.4.Software de análisis .....                                    | 69 |
| 3.4.2.Técnicas de análisis e interpretación de la información. ....   | 70 |
| 3.4.2.1.Análisis estadístico descriptivo.....                         | 70 |
| 3.4.2.2.Análisis inferencial .....                                    | 71 |
| 3.4.2.3.Análisis cualitativo.....                                     | 71 |
| 3.4.2.4.Triangulación de datos .....                                  | 72 |
| 3.4.2.5.Interpretación crítica .....                                  | 72 |
| 3.4.3.Instrumentos de recolección de datos según la metodología. .... | 72 |
| 3.5.Análisis de datos .....                                           | 73 |
| 3.6.Consideraciones éticas .....                                      | 74 |
| IV. RESULTADOS .....                                                  | 76 |

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1.Introducción. ....                                                    | 76  |
| 4.1.1.Proceso de fabricación del alambón de acero.....                    | 80  |
| 4.1.2.Composición química de la cascarilla.....                           | 82  |
| 4.1.3.Propiedades físicas de los óxidos de cascarilla.....                | 83  |
| 4.1.4.Acciones en la planta siderúrgica de aceros arequipa.....           | 86  |
| 4.1.5.Proceso de fabricación de electrodos revestidos.....                | 89  |
| 4.1.5.1.Preparación del núcleo- trefilado .....                           | 89  |
| 4.1.5.2.Decapado químico .....                                            | 90  |
| 4.1.5.3.Decapado mecánico .....                                           | 91  |
| 4.1.5.4.Distribución granulométrico .....                                 | 94  |
| 4.1.5.5.Índice de finura de la masa seca (if) .....                       | 98  |
| 4.1.5.6.Preparación de la mezcla seca.....                                | 102 |
| 4.1.5.7.Preparación de la mezcla húmeda.....                              | 102 |
| 4.1.6.Resultados finales .....                                            | 106 |
| 4.1.6.1.Resultados de ensayo químico .....                                | 106 |
| 4.1.6.2.Resultados de ensayo de tracción.....                             | 107 |
| 4.1.6.3.Resultado final de ensayo impacto.....                            | 108 |
| 4.1.6.4.Resultados de ensayo dureza rockwell a, metalografía y dobléz ... | 110 |
| 4.1.6.5.Dureza rockwell .....                                             | 110 |
| 4.1.6.6.Metalografía .....                                                | 111 |
| 4.1.6.7.Prueba de dobléz .....                                            | 112 |
| 4.1.7.Prueba de campo con los soldadores y usuarios finales.....          | 113 |
| 4.1.8.Encuesta de calidad de la soldadura.....                            | 113 |

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1.9.Tamaño de muestra y la validación de la hipótesis nula $h_0$ ..... | 118 |
| 4.1.9.1. Tamaño de muestra .....                                         | 118 |
| 4.1.10.Validación de la hipótesis nula $h_0$ .....                       | 122 |
| 4.1.11.Utilidad económica .....                                          | 123 |
| 4.1.12.Análisis económico en la planta de electrodos .....               | 127 |
| 4.1.13.Costo del uso del decapado químico.....                           | 128 |
| V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....                                         | 130 |
| VI. CONCLUSIONES.....                                                    | 132 |
| VII. RECOMENDACIONES .....                                               | 135 |
| VIII. REFERENCIAS .....                                                  | 136 |
| IX ANEXOS.....                                                           | 144 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1. Temperatura de difusión del óxido de hierro .....                                                                 | 20  |
| Tabla 2. Propiedades termo-físicas de los oxido hierro .....                                                               | 26  |
| Tabla 3. Sistema de Gestión ISO 9001-ISO 14000 .....                                                                       | 34  |
| Tabla 4. Patentes citadas por la patente US US4804818 perteneciente a Leonardo Andersen<br>.....                           | 45  |
| Tabla 5. Lista de algunos minerales Metálicos, No Metálicos y su importancia en el<br>revestimiento durante el soldeo..... | 50  |
| Tabla 6. Variables e indicadores – Operacionalización de variables: Análisis cuantitativa.                                 | 67  |
| Tabla 7. Porcentajes del tipo de cascarillas x 100 habituales .....                                                        | 81  |
| Tabla 8. Composición química de la cascarilla de Aceros Arequipa .....                                                     | 82  |
| Tabla 9. Propiedades físicas-químicas de los óxidos de hierro de la cascarilla.....                                        | 83  |
| Tabla 10 . Requerimientos de diámetro y longitudes del alambre para la fabricación de los<br>electrodos revestidos .....   | 93  |
| Tabla 11 . Distribución granulométrica de la cascarilla utilizado en laboratorio de prueba .                               | 94  |
| Tabla 12 . Relación entre el Índice de Finura y tamaño de la partícula.....                                                | 98  |
| Tabla 13 . Cálculo de índice finura (IF) según ASTM C136, Test Prueba 1.....                                               | 99  |
| Tabla 14 . Cálculo del índice de finura Test prueba 2 Rem (ASTM:C-136, 2005).....                                          | 100 |
| Tabla 15. Espesor de la pared del revestimiento del electrodo para prensado .....                                          | 103 |
| Tabla 16 . Resultado final de la composición química del depósito de soldadura .....                                       | 106 |
| Tabla 17. Resultado final de ensayo de tensión del depósito de soldadura .....                                             | 107 |

|                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 18. Encuesta de satisfacción del electrodo con cascarilla - producto final.....                                 | 115 |
| Tabla 19. Primera encuesta y evaluación de soldadores.....                                                            | 120 |
| Tabla 20. Tabla resumen calculado en Excel tamaño de muestra .....                                                    | 120 |
| Tabla 21. Segundo test de evaluación (tamaño muestra 20 soldadores).....                                              | 121 |
| Tabla 22. Total de cascarilla que se genera en la planta de electrodos en TM.....                                     | 123 |
| Tabla 23. Total de cascarilla generada en la planta siderúrgica de Aceros Arequipa .....                              | 124 |
| Tabla 24. Valorización en los diferentes niveles de producción de cascarilla.....                                     | 126 |
| Tabla 25. Rentabilidad del uso de la cascarilla en el proceso productivo de electrodos .....                          | 127 |
| Tabla 26. Cuadro de resumen de la capacidad de reutilización de la cascarilla en la producción<br>de electrodos. .... | 129 |
| Tabla 28 Matriz de consistencia para la investigación de la cascarilla de acero .....                                 | 146 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Proceso de formación de la capa oxido durante la solidificación en la fase<br>acero/oxígeno .....                                                                                                                                               | 21 |
| Figura 2. Esquema final de Cascarilla sobre la superficie de acero.....                                                                                                                                                                                   | 21 |
| Figura 3. (a) Mineral hematita Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (b) Cascarilla de oxido hierro, aumento 50X.....                                                                                                                                          | 22 |
| Figura 4. Aumentó 10X, superficie oxidada con presencia de óxidos de magnetita de color<br>amarillo y color azulado cascarilla de acero .....                                                                                                             | 22 |
| Figura 5. Análisis del espectro por difracción en la cascarilla de acero .....                                                                                                                                                                            | 23 |
| Figura 6. Diagrama Fe- C, para aceros de bajo y alto carbono, para los alambres usados en la<br>fabricación de electrodos clasificado como SAE1006/SAE1008 línea celeste ..                                                                               | 24 |
| Figura 7. Porcentaje de espesores de óxido en forma de hematita y magnetita a diferentes<br>temperaturas .....                                                                                                                                            | 25 |
| Figura 8. Gráfico que explica las energías libres de Gibbs de mezcla en el sistema M–O ...                                                                                                                                                                | 27 |
| Figura 9. Diagrama de fases del sistema FeO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> que muestra las posiciones de las isóbaras<br>de oxígeno (Patm), wustita (FeO), hematita (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) y magnetita (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) ..... | 30 |
| Figura 10. Diagrama del sistema de gestión ISO 9001 .....                                                                                                                                                                                                 | 35 |
| Figura 11. Diagrama del Sistema de Gestión ISO 14001 .....                                                                                                                                                                                                | 35 |
| Figura 12. Diagrama del Método Cascada.....                                                                                                                                                                                                               | 38 |
| Figura 13. Cascada un camino hacia el equilibrio .....                                                                                                                                                                                                    | 39 |
| Figura 14. Diagrama de la Cadena de Cascada.....                                                                                                                                                                                                          | 40 |
| Figura 15. Diagrama cascado de forma explícita con una cadena secundaria.....                                                                                                                                                                             | 41 |
| Figura 16. Patente US363,320 de Berardos & Olszewski .....                                                                                                                                                                                                | 43 |

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 17. Diagrama de cómo está conformado un electrodo revestido.....                                                 | 44 |
| Figura 18. Comportamiento del electrodo con y sin revestimiento .....                                                   | 47 |
| Figura 19. Esquema de la generación de arco Patente US2.909.648.....                                                    | 48 |
| Figura 20. Diagrama del proceso de soldeo SMAW .....                                                                    | 49 |
| Figura 21. Esquema de fabricación de alambón de acero en la planta de Pisco de Aceros<br>Arequipa en ICA .....          | 78 |
| Figura 22. Esquema de fabricación de electrodos revestidos .....                                                        | 79 |
| Figura 23. Resultados finales de FeO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> vs $\Delta O_2$ excedente - pruebas de campo ..... | 82 |
| Figura 24. Sección Transversal de un planchón de acero 1.25% Cr-0.5Mo.....                                              | 84 |
| Figura 25. Resultados finales del tiempo solidificación vs espesor FeO en $\mu m$ .....                                 | 84 |
| Figura 26. Test 1- Temperatura de enfriamiento vs. espesor de la capa FeO en micrones ...                               | 85 |
| Figura 27. Test 2- Temperatura de enfriamiento vs. espesor de la capa FeO en micrones ...                               | 85 |
| Figura 28. Línea de empaque y soldeo de los rollos.....                                                                 | 86 |
| Figura 29. Línea de empaque manual antes de las mejoras .....                                                           | 87 |
| Figura 30. Línea de empaque de prueba experimental antes de su automatización .....                                     | 87 |
| Figura 31. Línea de salida de las palanquillas del horno de colada continua .....                                       | 88 |
| Figura 32. Planta de fabricación de hierro esponja aglomeración con la cascarilla de acero                              | 88 |
| Figura 33. Línea automatizada de fabricación de alambres.....                                                           | 89 |
| Figura 34. Reacciones químicas con HCl (ac) con Cascarilla .....                                                        | 90 |
| Figura 35. Equipo para decapado mecánico a la entrada de la línea de trefilado .....                                    | 92 |
| Figura 36. Línea de trefilado en seco del alambre a un diametro 3.25 mm.....                                            | 93 |

|                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 37. Distribución normal de la data de la granulométrica de la cascarilla según R-R. 95                                                           |     |
| Figura 38. Esquema preparación de la muestra para análisis granulométrico para el cálculo $P_{50}$ de la cascarilla de acero usando molino Bond.....    | 97  |
| Figura 39. Resultados de varios test granulométricos, líneas en azul son los rangos máximos y mínimos requeridos para preparar la mezcla de prueba..... | 96  |
| Figura 40. Fotografía de superficie de cascarilla de alambón con un aumento 4X.....                                                                     | 101 |
| Figura 41. Fotografía de la Superficie de la cascarilla remolienda con aumento a 100X ...                                                               | 101 |
| Figura 42. Diagrama para la preparación de las probetas para ensayo mecánico según AWS: SFA5.1/5.1M.....                                                | 106 |
| Figura 43. Ensayo de tracción.....                                                                                                                      | 107 |
| Figura 44. Preparación para test de impacto .....                                                                                                       | 108 |
| Figura 45. Resultados finales del ensayo por impacto (Charpy-V).....                                                                                    | 109 |
| Figura 46. Resultados finales de los ensayos de impacto a diferentes temperaturas .....                                                                 | 109 |
| Figura 47. Equipo de Dureza Rockwell modelo Michigan.....                                                                                               | 110 |
| Figura 48. Cuadro de resultado finales de dureza Rockwell A (HRA-ASTM A370).....                                                                        | 111 |
| Figura 49. Macrografía vista con un aumento de 10 X.....                                                                                                | 111 |
| Figura 50. Test de Dobleza a 180° AWS, probeta soldada sometida a una carga de 5 ton ...                                                                | 112 |
| Figura 51. Resultado Test de Dobleza a 180° AWS de la probeta soldada.....                                                                              | 112 |
| Figura 52. Plano de Distribución de la zona industrial en el distrito de Villa el Salvador ..                                                           | 114 |
| Figura 53. Preferencia tipo de corriente que se usa en el taller, Trifásico (T) y Monofásico (M) .....                                                  | 115 |
| Figura 54. Mejoras que se esperan del nuevo electrodo .....                                                                                             | 116 |

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 55. Ventajas observadas en el nuevo electrodo .....                            | 116 |
| Figura 56. Diámetro de electrodo más frecuente de 3.25mm (1/8 in) .....               | 117 |
| Figura 57. Resultado final de la evaluación del electrodo .....                       | 117 |
| Figura 58. Resumen entre las mejoras y ventajas esperadas por el nuevo producto ..... | 118 |

## RESUMEN

**Objetivo:** Minimizar la contaminación de los residuos sólidos en la industria siderúrgica mediante una economía circular amigable al medio ambiente para su uso en cualquier industria siderúrgica en el ámbito mundial. **Método:** Se analizó y observó el contexto de la problemática en el manejo de la cascarilla de acero como residuo, las regulaciones actuales en el Perú y en la comunidad económica europea (UE) en la última década, obliga a la empresa Oerlikon Welding Ltd. a encontrar una solución que pueda ser replicada en todas sus unidades productivas alrededor del mundo. **Resultados:** El conocimiento de los aspectos físicos, químicos, físicos-químicos y termodinámicos de los materiales y su impacto en la cadena de producción industrial hacia el ámbito mundial es incipiente; las empresas fabricantes de soldaduras, en su mayoría, cuentan con adecuaciones ambientales que solo alcanzan soluciones superficiales y no de fondo; no se han encontrado soluciones con el proveedor de alambrones y la visión de una solución tipo cascada es desconocida; además, muchas de estas industrias optan por soluciones en el sitio y ofrecen resistencia para compartir información. La investigación aporta favorablemente a los resultados y permite una mayor cobertura de opciones sin límite, siendo más eficaz en la minimización de la cascarilla y su costo. **Conclusiones:** La gestión tecnológica ambiental y un manejo de las herramientas necesarias pueden ayudar a una gestión eficiente y eficaz en el proyecto como se logró con la cascarilla de acero cumpliendo con las exigencias de la Norma Técnica Peruana y la norma americana.

*Palabras clave:* residuo sólido, cascarilla de acero, siderúrgica, revestimiento para electrodos, masa seca de revestimiento y cascada.

## ABSTRACT

Objective: To minimize solid waste pollution in the steel industry through an environmentally friendly circular economy for use in any steel industry worldwide. Method: The context of the problem in the management of steel scale as waste was analyzed and observed. The current regulations in Peru and in the European Economic Community (EU) in the last decade, force the company Oerlikon Welding Ltd. to find a solution that can be replicated in all its production units around the world. Results: Knowledge of the physical, chemical, physical-chemical and thermodynamic aspects of materials and their impact on the industrial production chain to the global level is incipient; welding manufacturing companies, for the most part, have environmental adaptations that only reach superficial and not deep solutions; solutions have not been found with the wire rod sulier and the vision of a cascade-type solution is unknown; in addition, many of these industries opt for on-site solutions and offer resistance to sharing information. The research contributes favorably to the results and allows for a greater coverage of unlimited options, being more effective in minimizing the scale and its cost. Conclusions: Environmental technological management and the use of the necessary tools can help in efficient and effective management of the project, as was achieved with the steel scale, complying with the requirements of the Peruvian Technical Standard and the American standard.

*Keywords:* solid waste, steel scale, steel industry, electrode coating, dry coating mass, cascade.

## 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 alambres 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 desembobinado 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 afectar 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.

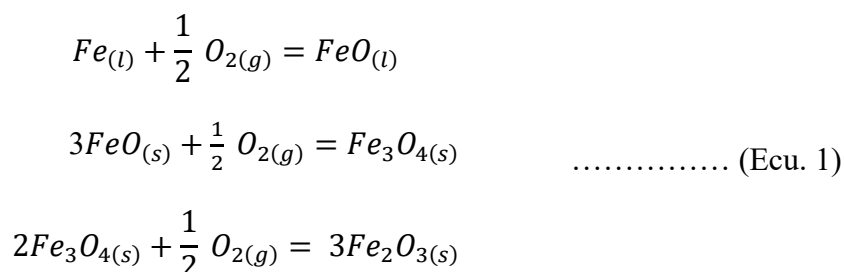
Esta dificultad en el manejo de la cascarilla de acero se presenta en empresas Siderúrgicas durante la fabricación del alambro de superficies lisas o varillas corrugadas para la construcción. En la actualidad en el Perú, la producción de acero se estima en aproximadamente de 1'150,000TM/año (Alacero, 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 alambión se ubica del valor mínimo o menos frente los productos precedencia occidental, USA y Japón, en este caso el factor puede centrarse 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 cita el autor 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, (Cuellar, 2005).

Reacciones químicas citado por el autor:



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 alambión 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 alambres de acero, cuyo diámetro 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 (identificado como 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) menciona el uso de 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  $\text{CaCO}_3$ ), esta modificación produjo un aumento de la basicidad de la escoria que causo un marcado incremento en la dureza.

Verthoeven (1998) y Sorian (2002) mencionan que la disminución en la penetración del arco de soldadura y aumento del ancho del cordón, citan que "El acero se vende en una gran variedad de formas y tamaños, como varillas, tubos, rieles de ferrocarril, rollos de alambres o perfil 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" (Chávez, 2022; Verthoeven, 1998; Surian, 2002).

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, 1999)

Wang (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 alambre 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.

**1.5.3.1. 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.

**1.5.3.2 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.

**1.5.3.2. 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.

**1.5.3.4. 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.” (James & Judy, 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 alambrón 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 Perú.

## **1.7. Objetivos de la investigación**

### ***1.7.1. Objetivo general***

- Evaluar el impacto ambiental de la cascarilla del alambrón 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 alambrón 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, alambrones, 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 Rojas en su investigación establece “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” (Chávez, 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. (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 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 Antónío Gutiérrez publicado por la ONU el 30 marzo 2023 (ONU, 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, 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  $\text{m}^2 / \text{s}$ ,  $\frac{\partial C}{\partial x}$ : 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 “ $D_o$ ” así como las energías de activación para la difusión del oxígeno y del hierro. (Kofstad, 1987)

**Tabla 1.***Temperatura de difusión del óxido de hierro*

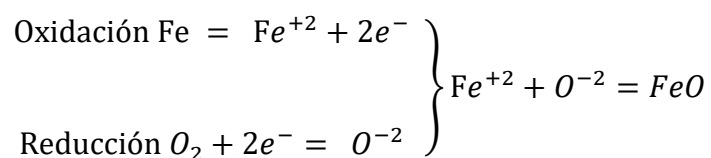
| Óxido<br>Metálicos                               | Temperatura (°C) | Do (cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ) | Activation energy for<br>diffusion |         |
|--------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------|
|                                                  |                  |                                       | Q (KJ mol <sup>-1</sup> )          | BTU/mol |
| O <sub>2</sub> en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1150 - 1250      | 10 <sup>11</sup>                      | 611                                | 577     |
| Fe en Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>             | 750 - 1000       | 5.2                                   | 230                                | 218     |
| Fe en FeO                                        | 690 - 1010       | 0.014                                 | 126.4                              | 120     |

*Fuente:* Los valores *Do* y *Q* son datos de difusión seleccionados en óxidos metálicos (Kofstad, 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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<sub>(s)</sub> + Fe<sub>o</sub><sub>(M)</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (s).

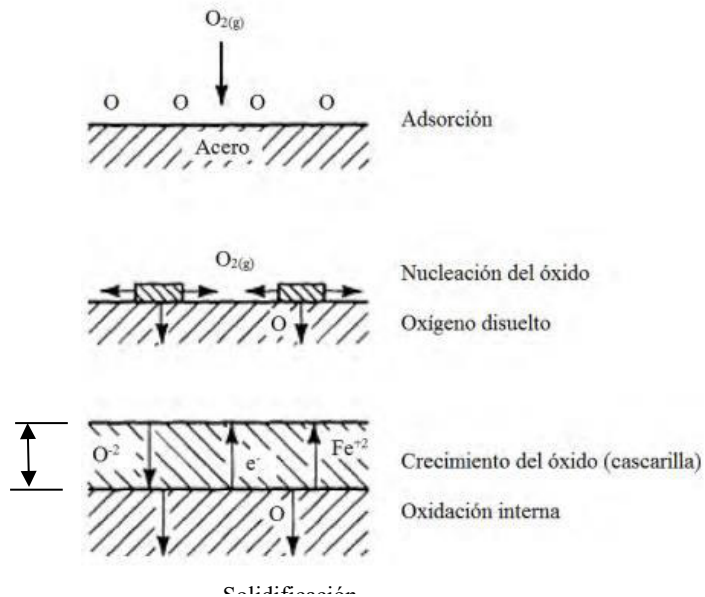
Las reacciones de oxidación siguen produciéndose en la superficie de acero como sigue:



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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y el proceso de oxidación continuara hasta la formación de óxidos del tipo magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), (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<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) o hierro metálico en presencia de agentes reductores característico del color amarillo.

**Figura 1**

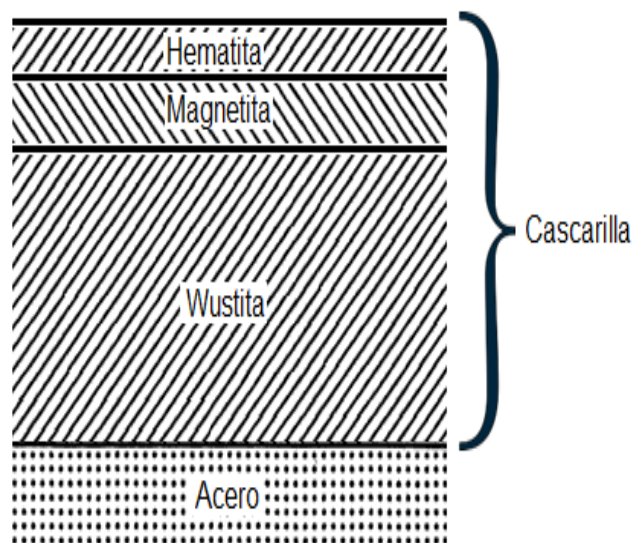
*Proceso de formación de la capa oxido durante la solidificación en la fase acero/oxigeno*



*Fuente:* Tomado (Schwerdtfeger k., 1998)

**Figura 2**

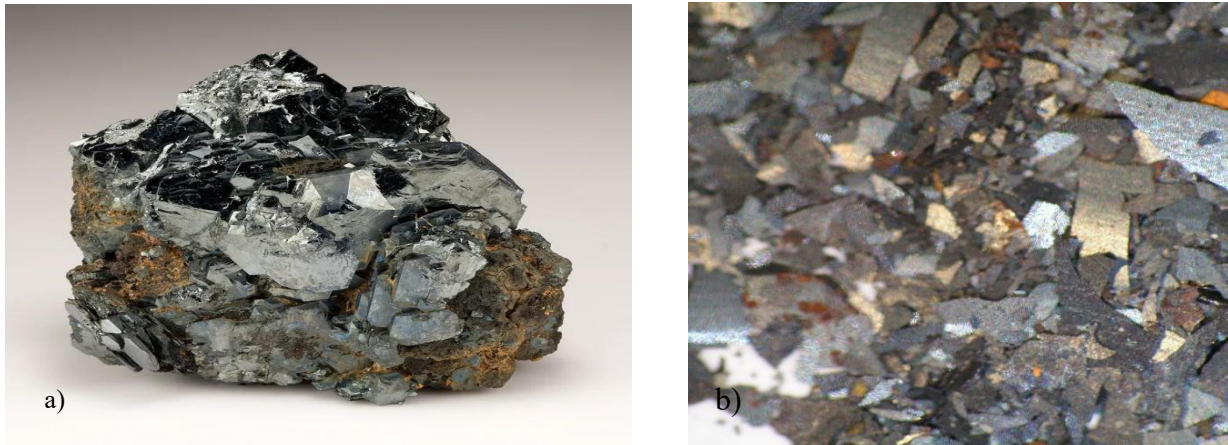
*Esquema final de Cascarilla sobre la superficie de acero*



*Fuente:* Tomado (Schwerdtfeger-P, 1998)

**Figura 3**

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



*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*

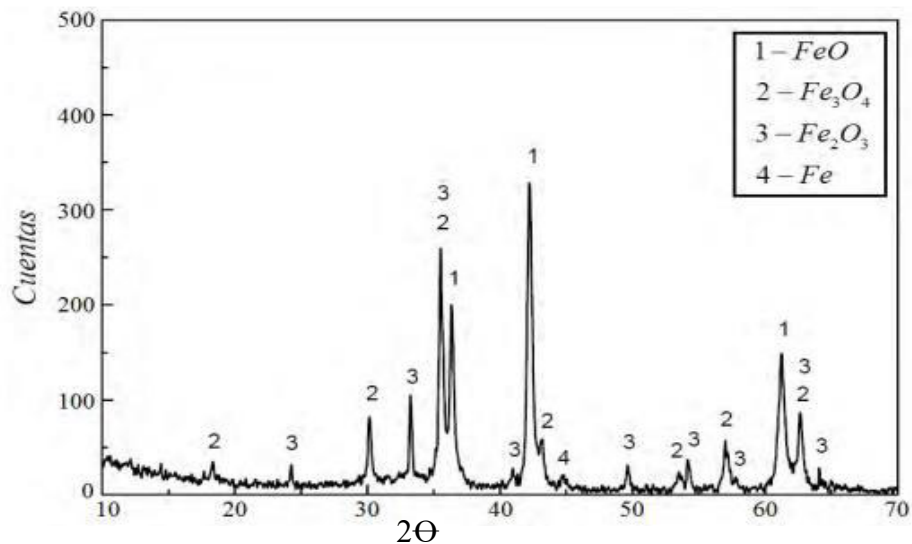
#### **2.1.5.3. Identificación de los óxidos**

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*



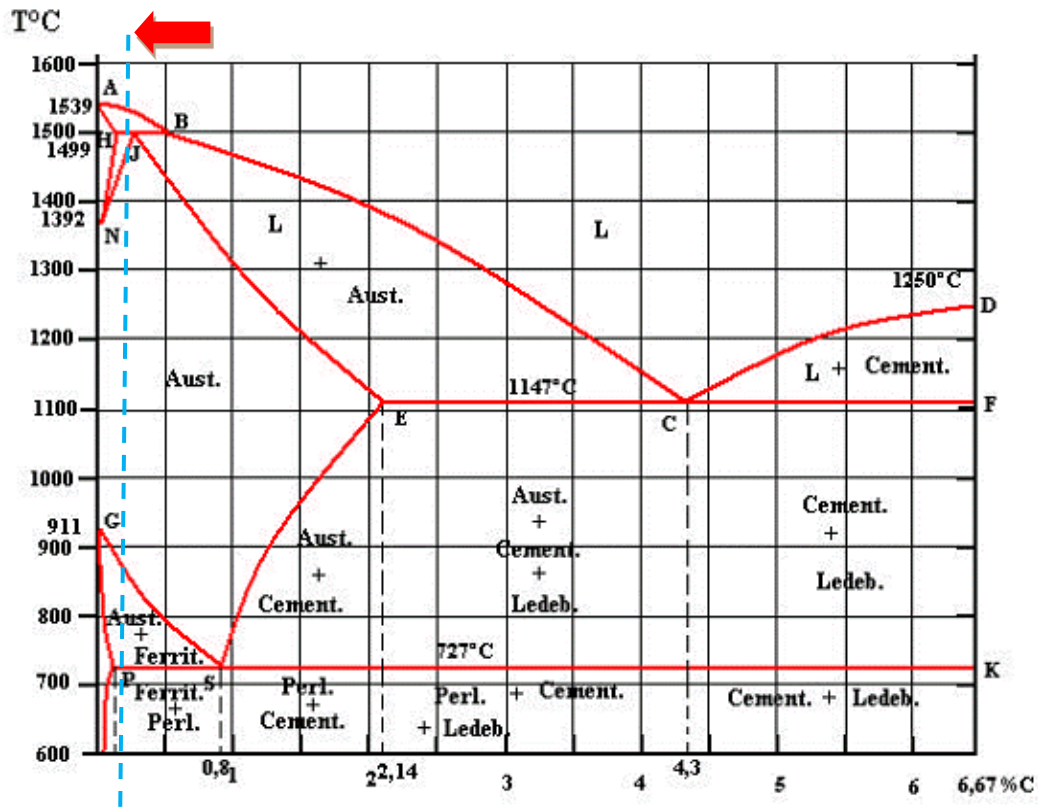
*Fuente:* Tomado de Schwerdtfeger-P (1998)

En el estudio para la fabricación de alambres de acero, la composición química está agrupada por dos tipos de materiales clasificados como alambres 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  $2\theta$  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*

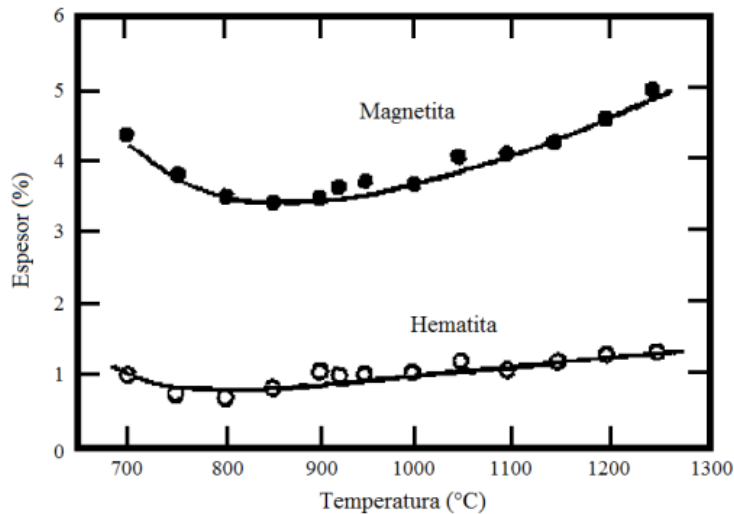


*Fuente:* Tomado de Gaskell (2003)

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 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 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  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  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 ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

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  $\text{O}^{2-}$  en contacto con los iones  $\text{Fe}^{+2}$  reacciona y forman un óxido en la cara interna y permanecen inmóviles.

La magnetita también llamada óxido ferroso-diférrico ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 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  $500^\circ\text{C}$ . Durante su crecimiento, tanto los iones  $\text{Fe}^{+2}$  como los iones  $\text{O}^{2-}$  se difunden a través de la capa de óxido. (Cabrera, 1949; 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 ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) | $0.2 - 3.0 \times 10^6$ | $0.2 - 3.0 \times 10^6$ |
| Calor específico (J / mol K)               | 200                     | 150                     |

Fuente: Tomado de 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  $\text{M}_3\text{O}_4$  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  $p_{\text{O}_2} = p_{\text{O}_2}(\text{M/MO})$ , el metal se satura con oxígeno. Apareciendo la fase MO de la composición  $\text{M}_b\text{M}_a$ . Si se eligen como estados

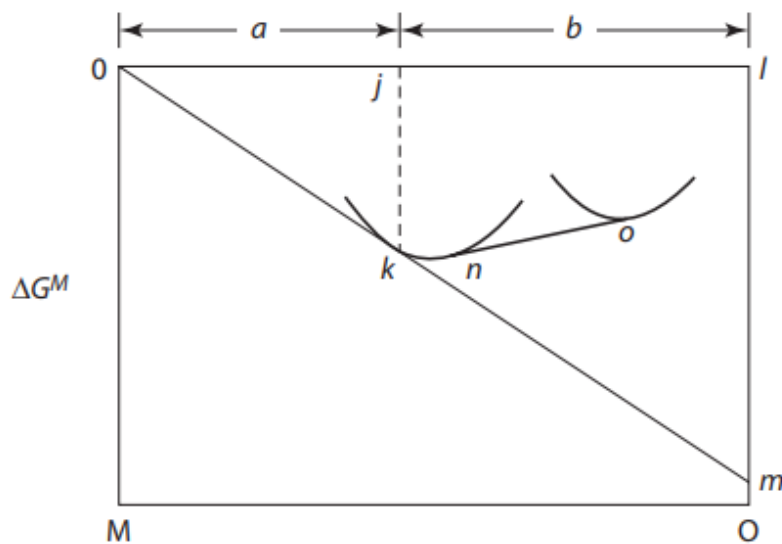
estándar el metal puro M y el oxígeno gaseoso a 1 atm de presión y temperatura T, entonces, si se elige como estado estándar el óxido saturado de metal, es idéntico a la expresión siguiente:

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

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

**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 extrae la siguiente fórmula:

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

Se define la reacción de la siguiente manera:

$$y M_s + \frac{1}{2} O_{2(g)} = M_y O_{(s)}$$

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.

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

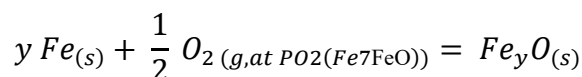
Donde  $\rho_{O_2}(M/MO)$ , es la presión de oxígeno necesaria para el equilibrio entre los metales M y el óxido saturado de metal MO, dado por  $lm = RT \ln \rho_{O_2} \left( \frac{M}{MO} \right)$ , Si la presión de oxígeno aumenta a un valor mayor que  $\rho_{O_2}(M/MO)$ , la fase metálica desaparece, 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 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 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, 1945; Gaskell, 2003)

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

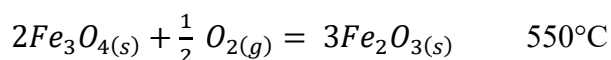
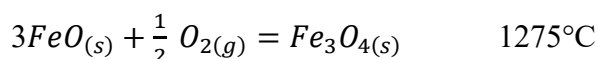
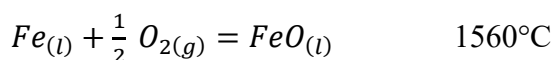
Entonces integrando

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

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 Darken and 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, 1946). Tomando como referencia:

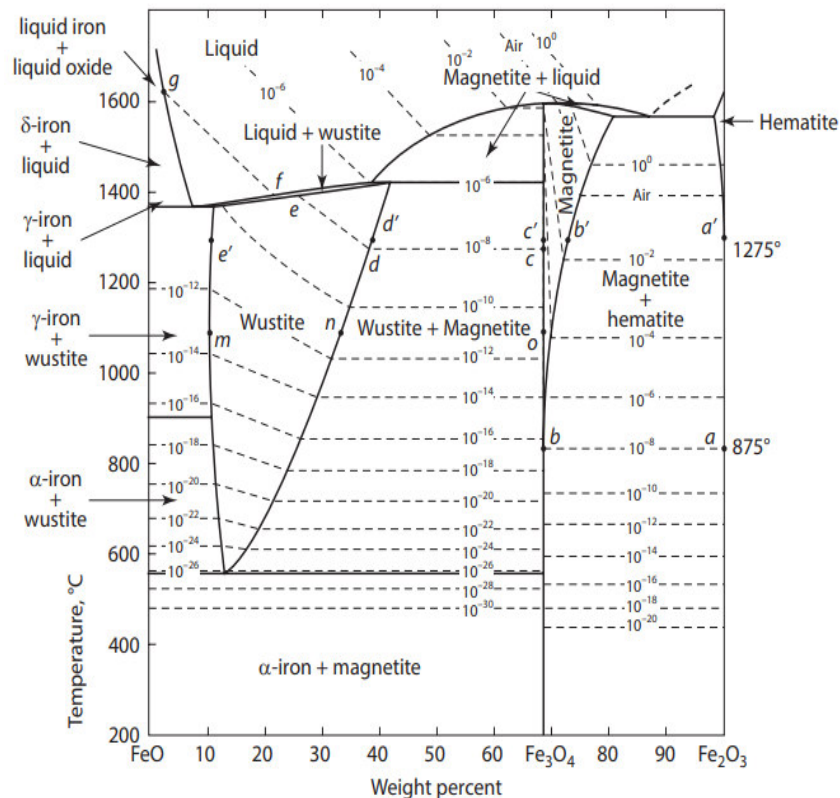


Se puede establecer las siguientes reacciones químicas que puede ocurrir durante el enfriamiento de la capa de oxido estableciendo los siguientes cambios de estados mineralógicos que se formarán:



**Figura 9**

*Diagrama de fases del sistema  $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3$  que muestra las posiciones de las isóbaras de oxígeno ( $P_{\text{atm}}$ ), wustita ( $\text{FeO}$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )*



*Fuente:* Tomado de Gurry (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, ¿Cómo 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 Garvin (1984) de Harvard Business School, sugiere que “la calidad es un concepto complejo y de facetas múltiples” que puede describirse desde varios puntos de vista, (Garvin, 1984). Desde un punto de vista trascendental cita el autor Persig (1988) quien establece “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. (DeMarco, 1988)

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

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

En última instancia, cita Glass (1998) sostiene “que la calidad es importante, pero si el usuario no está satisfecho, nada de lo demás importa”. Así mismo este concepto 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, 1998)

#### **2.1.6.2. Dimensiones de la calidad de Garvin**

Con las premisas antes mencionada por Garvin (1987) 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 a seguir. (Garvin, 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 acuñó 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) identificada como ASME-SFA5.1.

### **2.1.6.3. Sistema ISO 9000 / ISO 14000**

La Organización Internacional de Normalización (ISO, 2015) 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."

**Tabla 3.**

*Sistema de Gestión ISO 9001-ISO 14000*

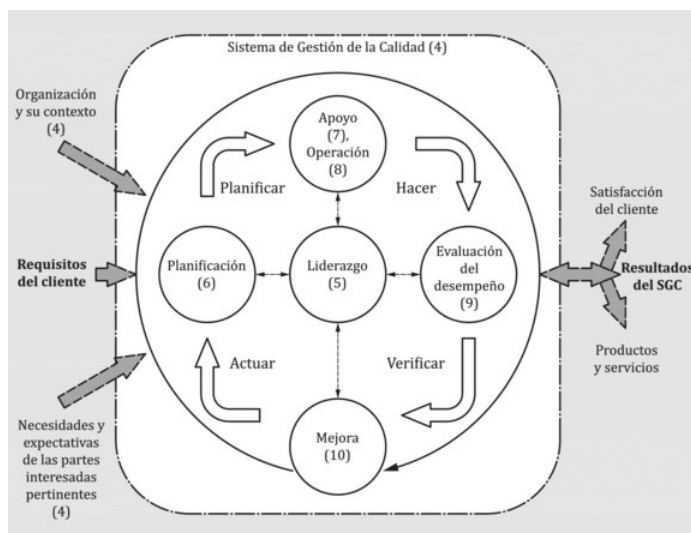
| ISO 9001                                                                                                                                                                                                                                                                                                  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

*Fuente:* Tomado de ISO (2015).

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

**Figura 10**

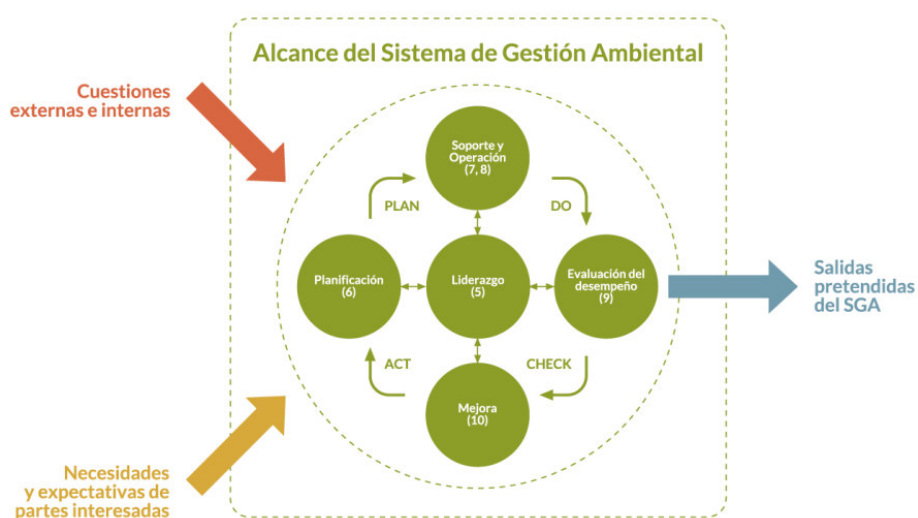
*Diagrama del sistema de gestión ISO 9001*



*Fuente:* Tomado de Heinke (1996) e ISO (2015)

**Figura 11**

*Diagrama del Sistema de Gestión ISO 14001*



*Fuente:* Tomado de Heinke (1996) e ISO (2015)

El **ciclo PHVA** (**p**lanificas, **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.” (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 Arnol (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

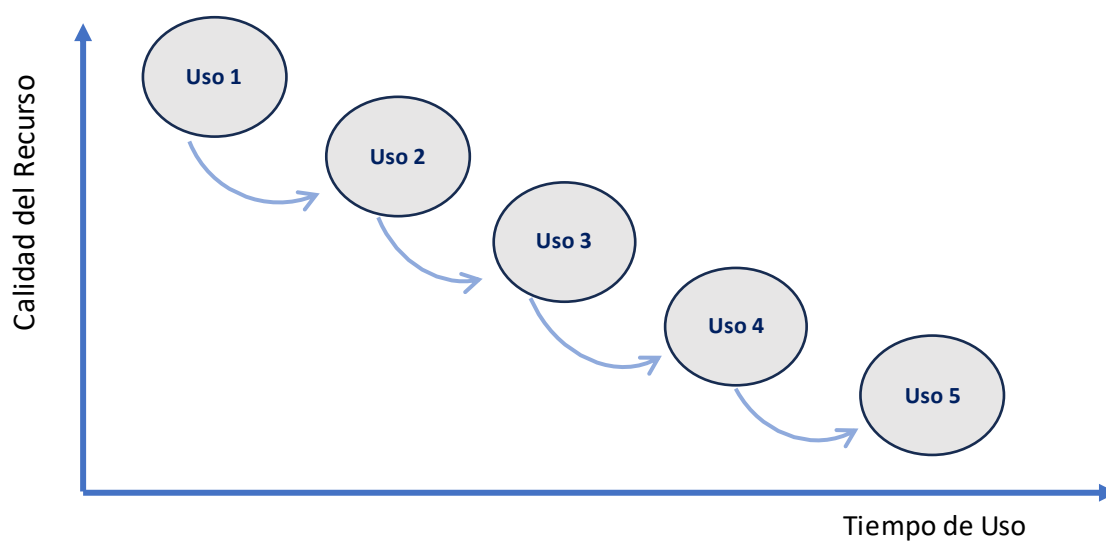
como estantería del sótano. Luego termina en los residuos voluminosos y la empresa lo reprocesa y lo descompone en partes individuales y lo recicla o lo quema parcialmente.” (Arnold, 2009)

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*

**Concepto de cascada, el uso repetido de un recurso de calidad decreciente**



*Fuente:* Tomado de Gibernau (2005)

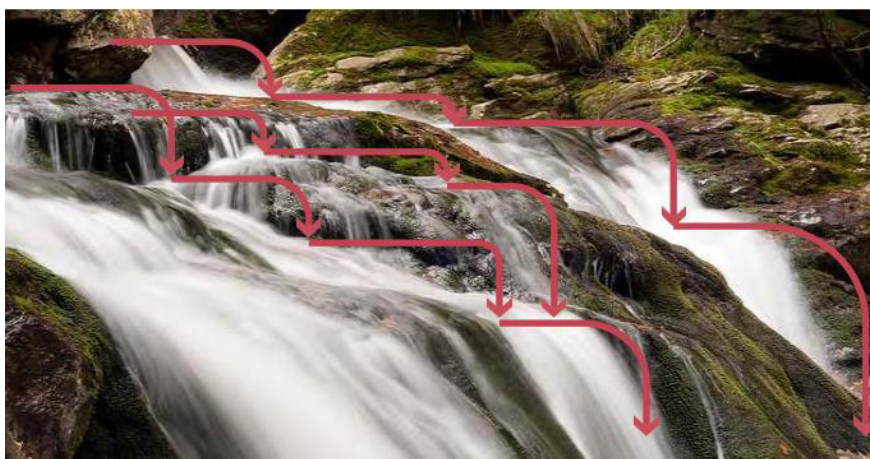
Para el estudio, se consideran dos posibilidades de uso del residuo “Cascarilla”, pero se debe destacar que una variable crítica será el tiempo: Utilización como subproductos y/o en forma conjunto con otras materias primas. Utilizados en otras actividades industriales separadamente.

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 basa en la tesis Doctoral de Domburg (2004) donde se define como el uso secuencial de materias primas biogénicas para aplicaciones materiales y energéticas, la definición que es utilizada en la presente investigación.

### **Figura 13**

*Cascada un camino hacia el equilibrio*



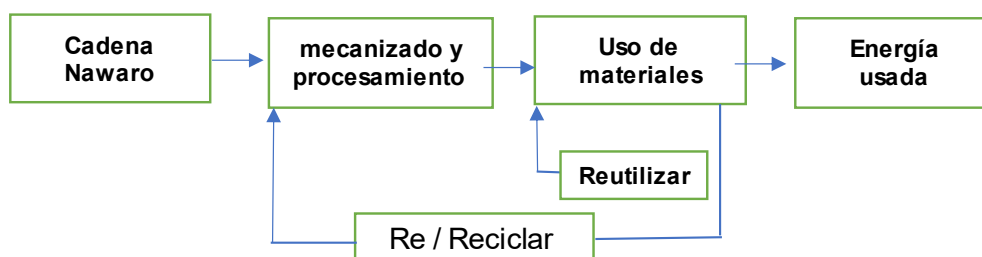
*Fuente:* Tomado imagen Skoeber (2015)

También se presenta diferentes posibilidades para el método cascadas. Un ejemplo cita el autor Janicki (1992) utiliza 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)

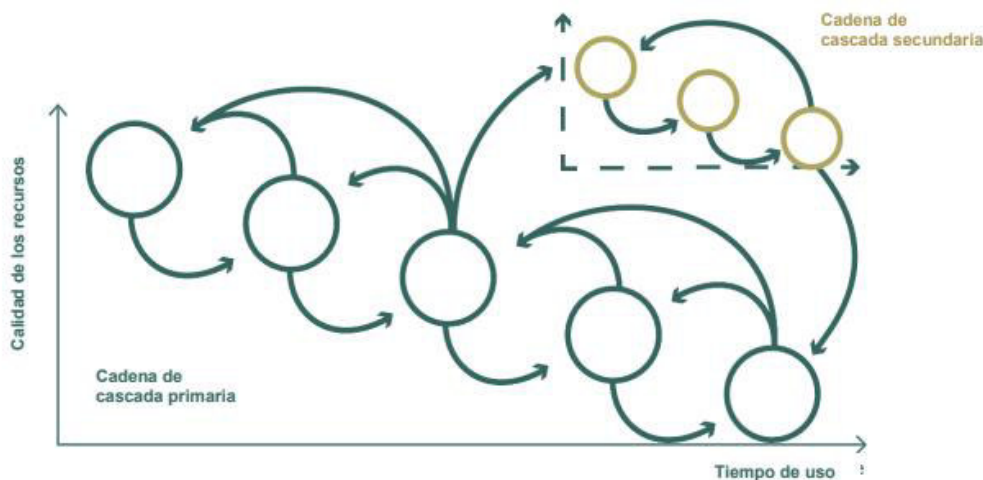
El diagrama propuesto por Darstellung (1994) donde Nawaro establece la utilización inicialmente de los materiales en una o más fases de uso llamada como una cascada secundaria.

Los autores Sirkin y Houten (1994) 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. (Ted, 1994)

**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 (1881) 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)

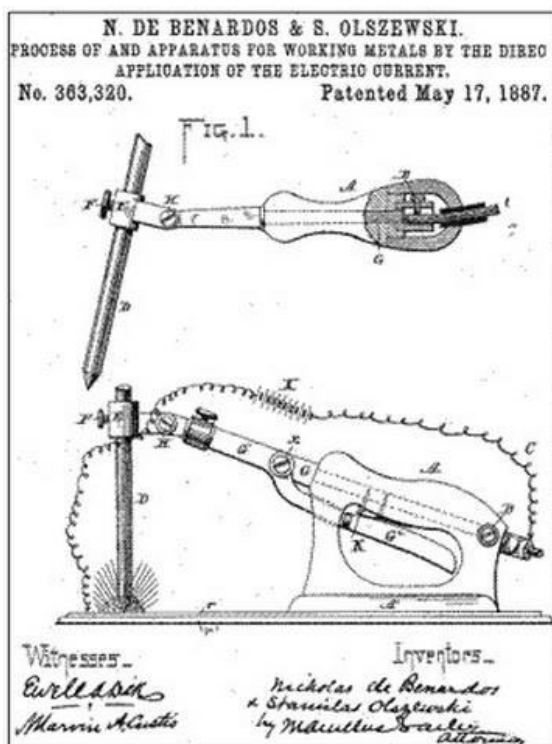
El proceso de soldeo usando gas acetileno se descubrió en 1836 por Edmund Davy, pero su uso en la soldadura no fue relevante hasta cerca del inicio del siglo XX, hasta que se logró un desarrollo de un soplete conveniente apropiado. Al principio, la soldadura de gas fue uno de los más populares métodos debido a su portabilidad y costo relativamente bajo que es usado hasta nuestros días la cual lo llamamos 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, 2021)

- Durante la Primera Guerra Mundial el uso de la soldadura se hizo 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 observó otras aplicaciones en algunas partes de los fuselajes de sus aeroplanos. (Electric, 1994, pp. 8-9)

### Figura 16

*Patente US363,320 de Berardos & Olszewski*



Fuente: 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 máquinas se han desarrollado adecuados 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 subdividirse 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. Electrodo 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.

Los inventores Langstroth y Wunder (1927) de la empresa A. O. Smith Company, desarrollaron 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, 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 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 ( $>2000^{\circ}\text{C}$ ) 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 CO<sub>2</sub> 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.

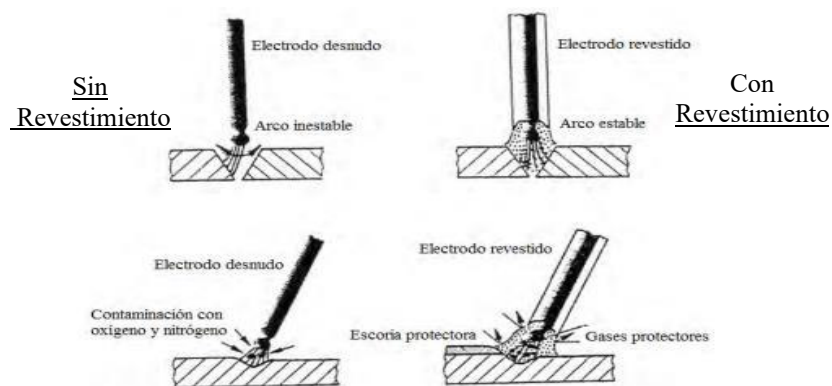
#### **2.1.7.4.        *Mecánicas del comportamiento del Revestimiento durante soldeo***

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 permitirá 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**

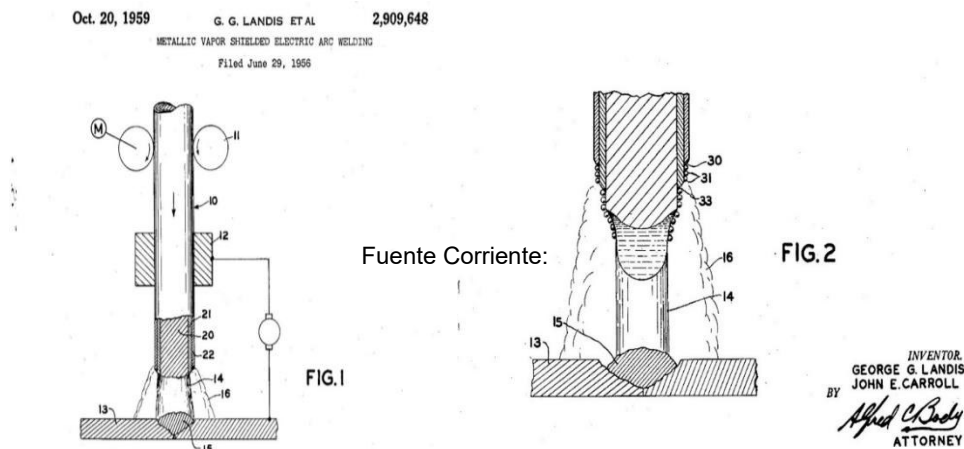
*Comportamiento del electrodo con y sin revestimiento*



*Fuente:* Tomado de Kearns (1978)

## Figura 19

*Esquema de la generación de arco Patente US2.909.648*



*Fuente:* EEUU Patents No. 2.909.648, Oct 20,1959

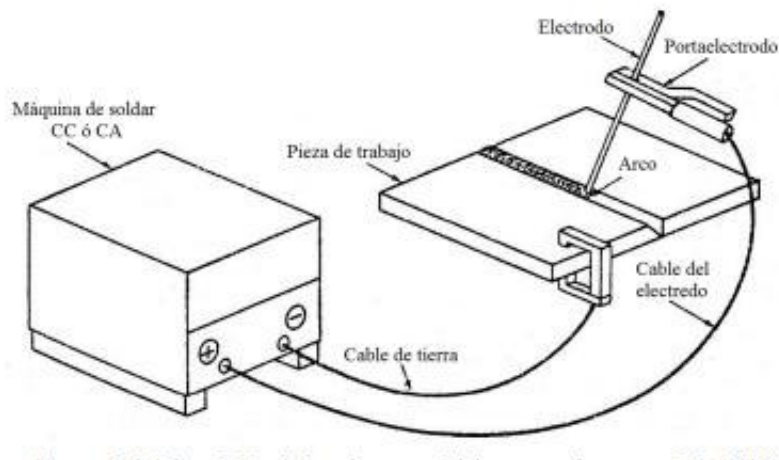
### 2.1.7.5. *Proceso de Soldadura SMAW: (Soldadura de Arco para electrodo revestido)*

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, 1997). Para desarrollar esta etapa 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                   |                      |
|-------------------------|---------------------------|----------------------|
|                         | Función del Constituyente |                      |
|                         | Primaria                  | Secundaria           |
| <b>Alumina</b>          | Formación Escoria         |                      |
| <b>Asbesto</b>          | Formación Escoria         | Extrucción           |
| <b>Carbonato Calcio</b> | gas protector             | Fundente como agente |
| <b>Celulosa</b>         | gas protector             |                      |
| <b>Clay</b>             | Extrucción                | Formación Escoria    |
| <b>Dolomita</b>         | gas protector             | Fundente como agente |
| <b>Feldespatos</b>      | Formación Escoria         | Estabilización Arco  |
| <b>Ferromanganeso</b>   | Aleación                  | Desoxidante          |
| <b>Ferrosilicio</b>     | Desoxidante               |                      |
| <b>Glicerina</b>        | Extrucción                |                      |
| <b>Oxido Hierro</b>     | Formación Escoria         |                      |

|                            |                     |                      |
|----------------------------|---------------------|----------------------|
| <b>Hierro Polvo</b>        | Deposito            | Soldadura Contacto   |
| <b>Oxido Magnesio</b>      | Formación Escoria   |                      |
| <b>Dióxido Manganeso</b>   | Formación Escoria   | Aleación             |
| <b>Mica</b>                | Extrucción          | Estabilización Arco  |
| <b>Silicato Potasio</b>    | Estabilización Arco | Binder               |
| <b>Titanato de Potasio</b> | Estabilización Arco | Formación Escoria    |
| <b>Silica</b>              | Formación Escoria   |                      |
| <b>Silicato Sodio</b>      | Binder              | Fundente como agente |
| <b>Talco</b>               | Extrucción          | Binder               |
| <b>Dióxido Titanio</b>     | Formación Escoria   | Estabilización Arco  |
| <b>Zirconio</b>            | Formación Escoria   | Estabilización Arco  |
| <b>oxido Zirconio</b>      | Formación Escoria   | Estabilización Arco  |

*Fuente:* Tomado (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. (Tribunal Constitucional [TC], 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 dirigido 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. (Ley DL-1278, 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 afin 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.*” (Ley DL-1278, 2016).

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 (UE-Comite, 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.”

El Comité Unión Europea sobre gestión de residuo (2018) actualiza 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, (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2023).

Así mismo la misma directiva establece los objetivos que todos los estados miembros deberán adecuarse como se cita en la Directiva (UE) 2018/851. Unión Europea (UE, 2023):

“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.” (Comite de la Unión Europea sobre Gestión de Residuo [UE-Comité], 2008)

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” (UE, 2018).

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 como lo cita (Córdoba, 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 cita el autor Hernández (2010) el diseño de la investigación es **no experimental, transversal y mixto**.

**3.1.4.1. 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.

**3.1.4.2. 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.

**3.1.4.3. 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.

### **3.1.5. Procedimiento**

#### **3.1.5.1. 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.

#### **3.1.5.2. 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.

#### **3.1.5.3.      *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.

#### **3.1.5.4.      *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 (Hector, 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, 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:

**3.3.1.1. 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

#### **3.3.1.2.      *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.

#### **3.3.1.3.      *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.

**3.3.1.4. 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.

**3.3.1.5. 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 (véase anexo B) como matriz complementaria.

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 alambrón trefilado.                 | Cuantitativa - Productiva    | Intervalo    | Descriptivo |
|                                   | Frecuencia de generación de residuos                         | Número de veces que se generan residuos en un periodo determinado.                                           | Cuantitativa - Temporal      | Nominal      |             |
| Contaminación ambiental           | Concentración de óxidos en aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | Medición de la concentración 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)                      | Evaluación 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 concentración de metales. |                              |              |             |
| Salud pública                     | Incidencia de enfermedades respiratorias (%)                 | Porcentaje de población cercana a la planta que reporta enfermedades respiratorias.                          | Cuantitativa - Sanitaria     | Proporcional | Descriptivo |
|                                   | Percepción de salud por la comunidad                         | Opinión de la comunidad sobre su estado de salud en relación a la operación de la planta.                    | Cualitativa - Social         | Ordinal      |             |
| Gestión de residuos               | Existencia de políticas de gestión de residuos               | Revisión de la existencia y aplicación de políticas internas de gestión de residuos sólidos.                 | Cualitativa - Administrativa | Nominal      |             |
|                                   | Implementación de tecnologías de reciclaje                   | Nivel de aplicación de tecnologías para la reutilización 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 gestión de residuos sólidos.              | Cuantitativa - Económica     | Intervalo    | Explicativo |
|                                   | Eficiencia productiva (%)                                    | Relación entre la producción total de electrodos y la cantidad de residuos generados.                        | Cuantitativa - Productiva    | Proporcional |             |

*Fuente:* Elaboración 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:

##### 3.4.1.1. *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.

##### 3.4.1.2. *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.

#### **3.4.1.3.      *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.

#### **3.4.1.4.      *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:

#### ***3.4.2.1. 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.

#### **3.4.2.2.      *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.

#### **3.4.2.3.      *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.

#### **3.4.2.4. *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.

#### **3.4.2.5. *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. 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 alambrón que a la vez es la zona donde se apilan los rollos de alambrón 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. (Morales et al., 2016)

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 alambrón 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 refileado. 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 refileado pasa por un sistema de poleas que permite quebrar el alambrón 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,

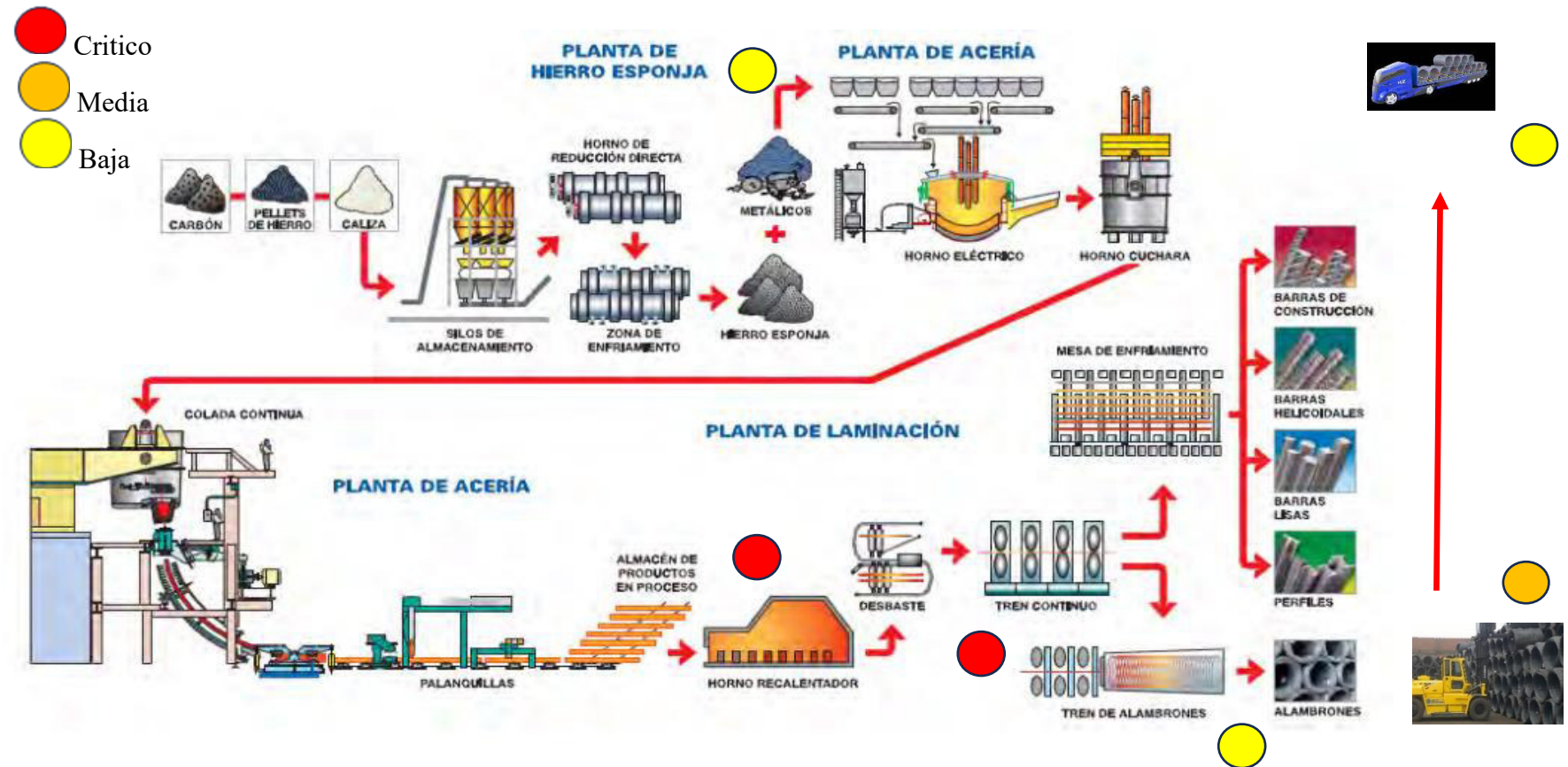
ciertamente en la planta de aceros Arequipa la zona donde se apilan las palanquillas y despachos es considerado como uno de los puntos críticos, así mismo la presencia de la cascarilla se detecta en varias zonas de la planta de producción como se indica en la Figura 21.

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 alambres de superficie lisas y usados en la planta de electrodos que son fabricados de acuerdo con las especificaciones de la norma AISI/SAE 1008 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.

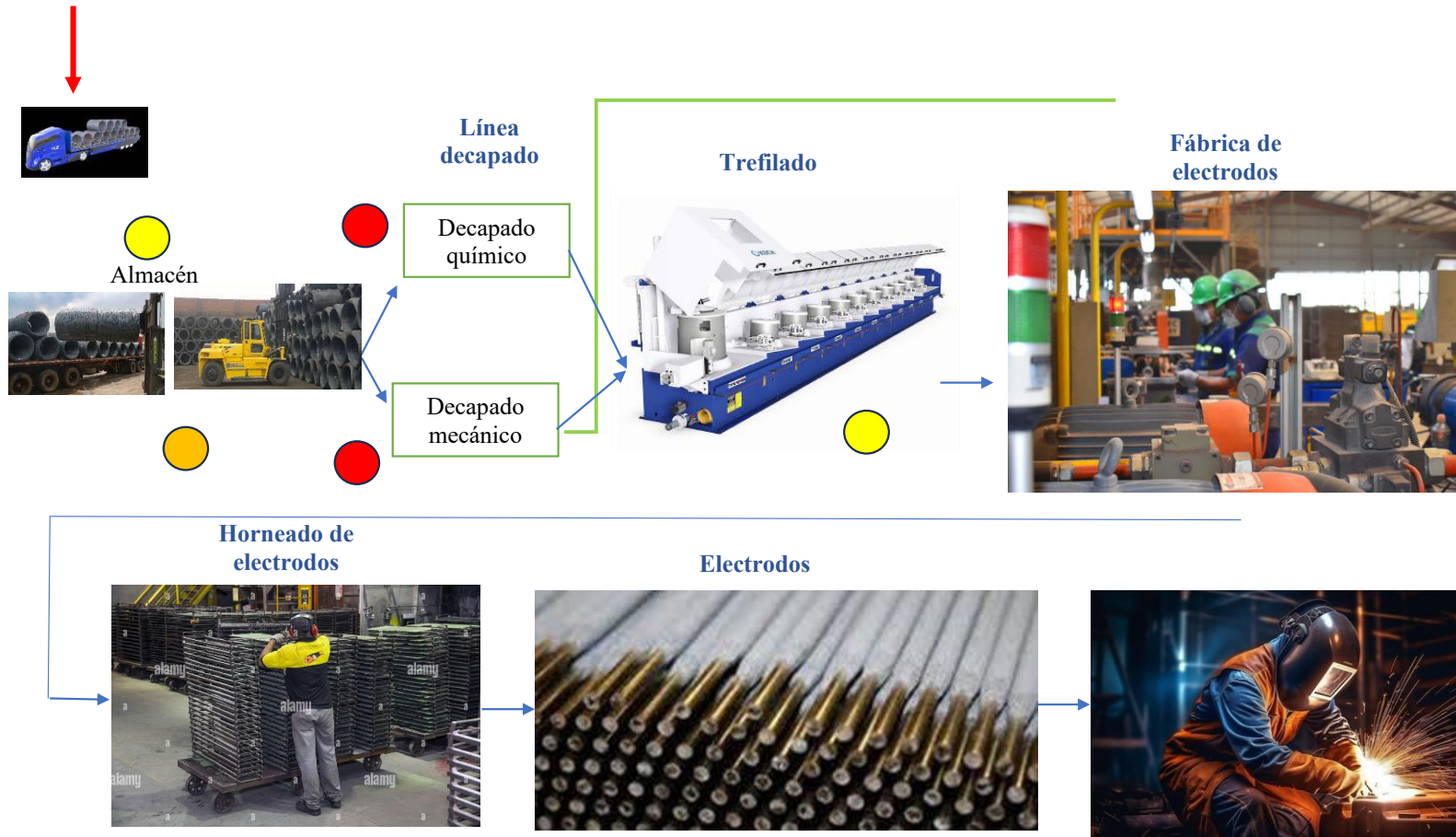
En la Figura 22, se establece los pasos para transformar el alambón hasta convertirse electrodo para soldar, desde la recepción de los alambres de acero cuya calidad es SAE1008, estos rollos son apilados para su posterior uso, así mismo se identificó los puntos críticos donde la presencia de la cascarilla 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 alambre de acero***

El proceso de fabricación de los alambres empieza con la fabricación por colada continua con la producción de las planchillas de acero cumpliendo con las características físicas y 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 varía de 6 a 12m, todos estos productos son requeridos en el mercado nacional e internacional, para nuestro caso nos concentraremos en el producto final alambre de acero SAE-1008 de diámetro 5.5 mm embalado en paquete de 2.5 a 3 Ton.

El proceso de fabricación del alambre se inicia seleccionando las planchillas requeridas para fabricar alambre, se transportan en una faja hacia un horno recalentador a razón de producción aprox. 45 TM/h, las planchillas 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 planchilla este proceso toma varios minutos predefinido según la naturaleza del producto final, hay que destacar que la planchilla debe tener una temperatura necesaria para su deformación plástica del acero, la atmósfera dentro del horno recalentador es enteramente oxidante y tiende a formarse una escoria del tipo  $Fe_3O_{4(s)} + Fe_2O_{3(s)} + FeO$  sobre la superficie de la planchilla 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 varias 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 superficie redonda lisa o este proceso también se emplea para la fabricación del alambre

(véase anexo H), 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-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (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*

| <b>FeO % T</b> | <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % T</b> | <b>Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> % T</b> |
|----------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>0.1</b>     | 0.58                                   | 0.32                                   |
| <b>0.12</b>    | 0.56                                   | 0.32                                   |
| <b>0.25</b>    | 0.43                                   | 0.32                                   |
| <b>0.3</b>     | 0.38                                   | 0.32                                   |
| <b>0.35</b>    | 0.5                                    | 0.15                                   |

*Fuente:* 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*

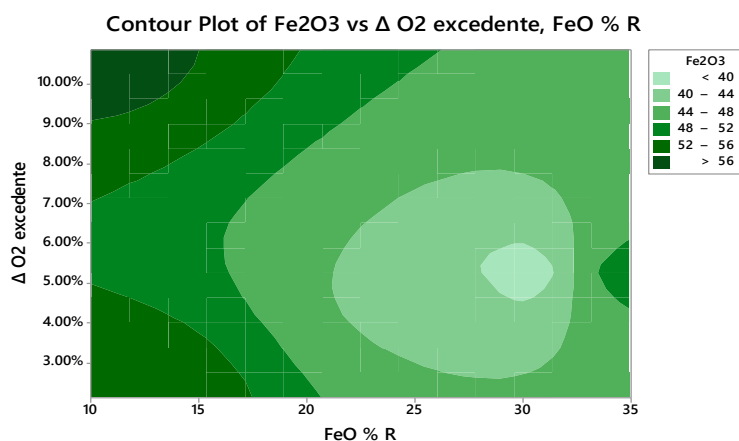
| Elemento         | %      |
|------------------|--------|
| Fe               | 68.21% |
| Al               | 0.24%  |
| Ca               | 0.24%  |
| Cu               | 0.04%  |
| Mn               | 0.54%  |
| Si               | 0.04%  |
| V                | 0.29%  |
| Co               | 0.01%  |
| As               | 0.04%  |
| C                | 0.01%  |
| S                | 0.01%  |
| * O <sub>2</sub> | 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, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vs ΔO<sub>2</sub> 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 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mayor a 56% y los contenidos Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 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*

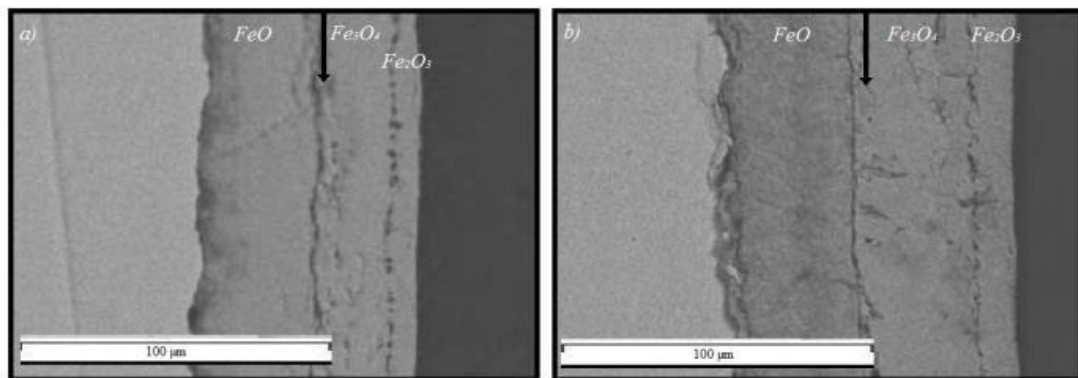
| <b>Propiedades</b>  | <b>Unidades</b>                     | <b>Wustita</b>         | <b>Magnetita</b>             | <b>Hematita</b>              |
|---------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Densidad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

*Fuente:* elaboración propia

En la investigación realizada por Yliana et al. (2010) confirman 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*



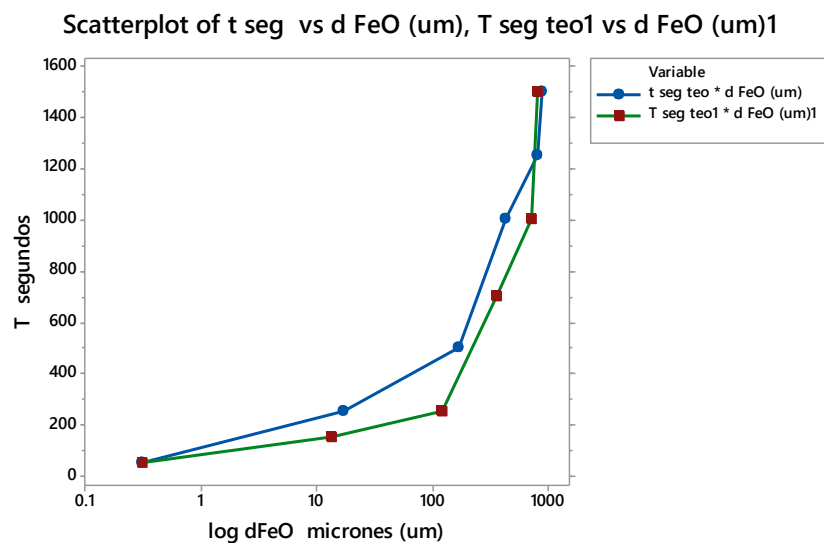
*Fuente:* Muestra a) superficie expuesta a 20 hr. Muestra b) superficie expuesta a 40 hr.

(Yliana, 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 alambρόn 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*

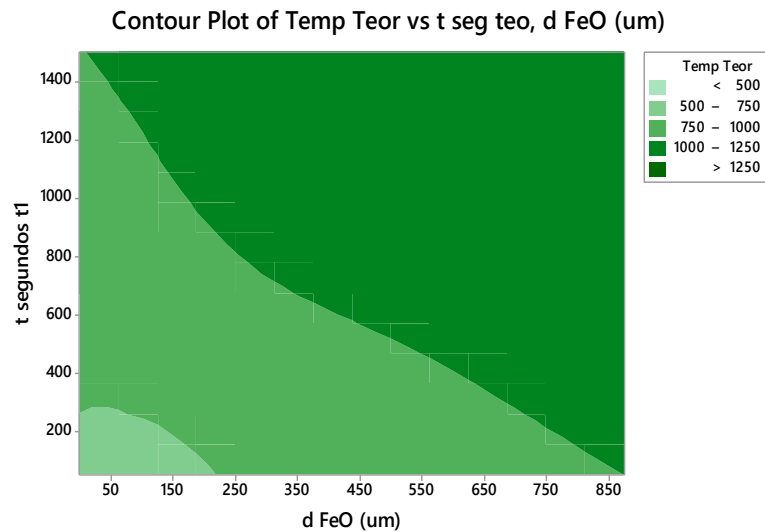


*Fuente:* Elaboración propia

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**

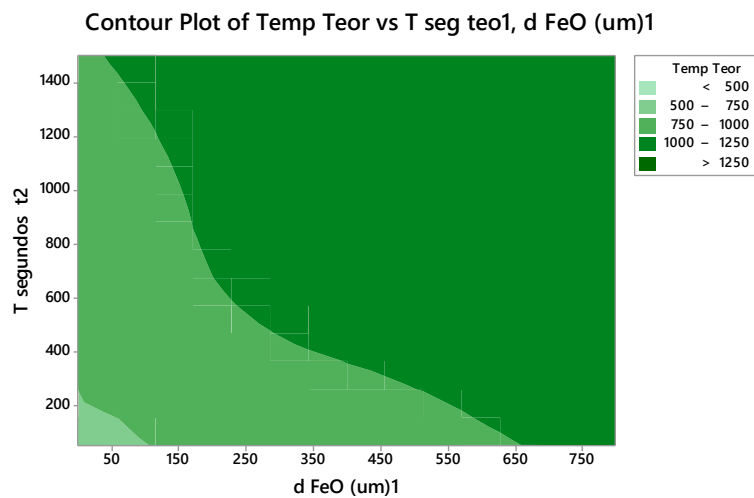
*Test 1- Temperatura de enfriamiento vs. espesor de la capa FeO en micrones*



*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*



Primeras etapas de mejora

*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 a la fecha

#### **4.1.5. *Proceso de fabricación de electrodos revestidos***

##### **4.1.5.1. *Preparación del núcleo- trefilado***

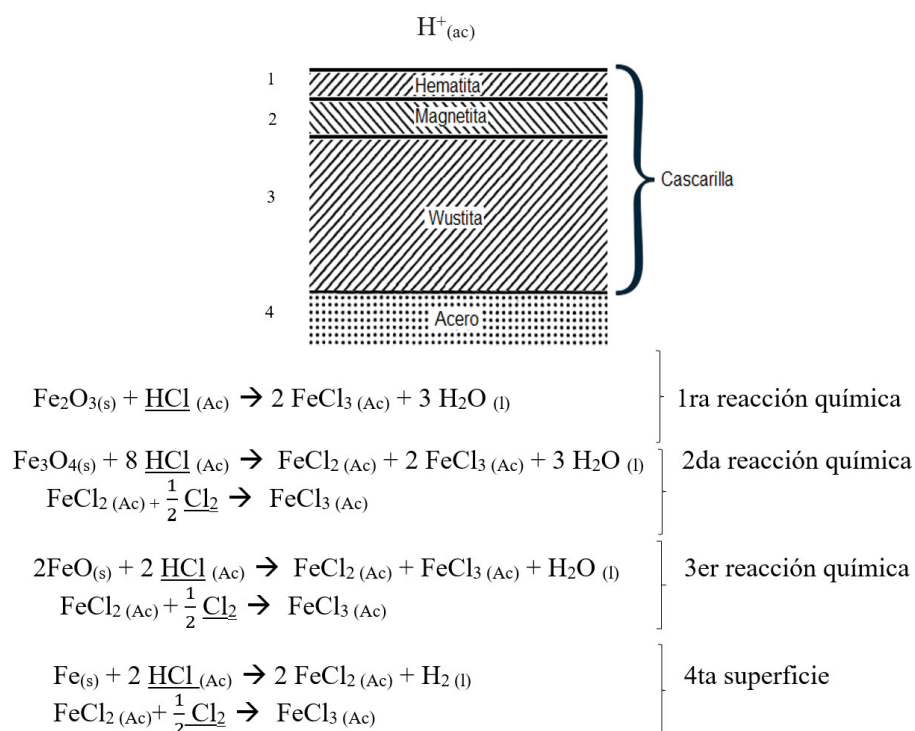
El alambón que proviene de la empresa Corporación Aceros Arequipa planta de Pisco se encuentra en paquetes en forma de bobinas cuyo peso varían de 2 a 3 Ton/paquete, estos paquetes son enviados sobre plataforma desde la ciudad de Pisco hacia la planta en la ciudad de Lurín en Lima, seguidamente es descargado 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 frío 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 decapado químico, consistete en sumergir el rollo sobres tinas conteniendo una solución altamente concentrada de ácido clorhídrico necesaria para disolver la cascarilla de oxido adherida en la superficie del alambre para luego ser trefilado en frio.

**Figura 34**

*Reacciones químicas con HCl (ac) con Cascarilla*



*Fuente:* Elaboración propia

Se comprueba que la solución acida después de un periodo de tiempo largo adquiere un color marrón oscuro y el producto final es una solución acida 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 (2018) 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.”

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  $\text{FeCl}_3$ ?

**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 alambrón e ingresar a un proceso de limpieza de escobillas rotativas antes de ingresar al proceso de trefilado en frio 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 alambrón 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 diametro 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 <sup>(1)</sup> |                           | Lengths <sup>(1,2)</sup> |                   |
|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------|
| A5.1 (in.)                        | A5.1M <sup>(3)</sup> (mm) | A5.1 (in.)               | A5.1M (mm)        |
| $\frac{1}{16}$                    | 1.6                       | 9                        | 225               |
| $\frac{5}{64}$                    | 2.0                       | 9 or 12                  | 225 or 300        |
| $\frac{3}{32}$                    | —                         | 12 or 14                 | —                 |
| —                                 | 2.5                       | —                        | 300 or 350        |
| $\frac{1}{8}$                     | 3.2                       | 14                       | 350               |
| $\frac{5}{32}$                    | 4.0                       | 14 or 18                 | 350 or 450        |
| $\frac{3}{16}$                    | —                         | 14 or 18                 | —                 |
| —                                 | 5.0                       | —                        | 350 or 450        |
| $\frac{7}{32}$                    | —                         | 14 or 18 or 28           | —                 |
| —                                 | 6.0                       | —                        | 350 or 450 or 700 |
| $\frac{1}{4}$                     | —                         | 18 or 28                 | —                 |
| $\frac{5}{16}$                    | 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*

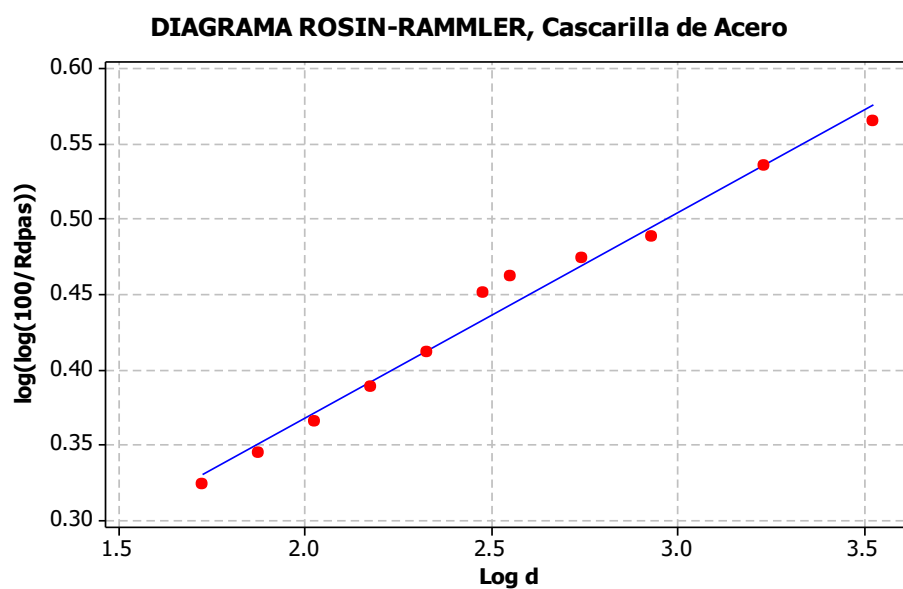
| <b>Malla ASTM</b> | <b>Tamaño Micrones (um)</b> | <b>Fx</b> | <b>Rx</b> | <b>F(x)</b> |
|-------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-------------|
| 5/8'              | 16000                       | 2.6       | 2.6       | 97.4        |
| 1/2'              | 12700                       | 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   | -    |
| <b>Total</b> |     | <b>100</b> |       |      |

*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:  $\log(\log(100/R_d))$  versus  $\log d$ 

The regression equation is

$$\log(\log(100/R_d)) = 0.0946 + 0.137 \log d$$

| 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%

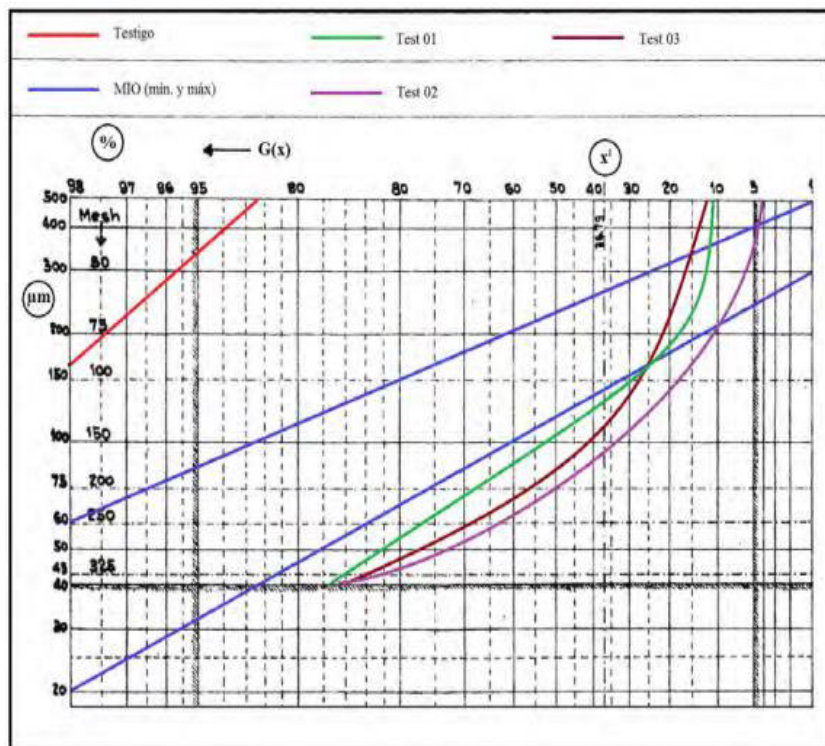
## Analysis of Variance

| 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**

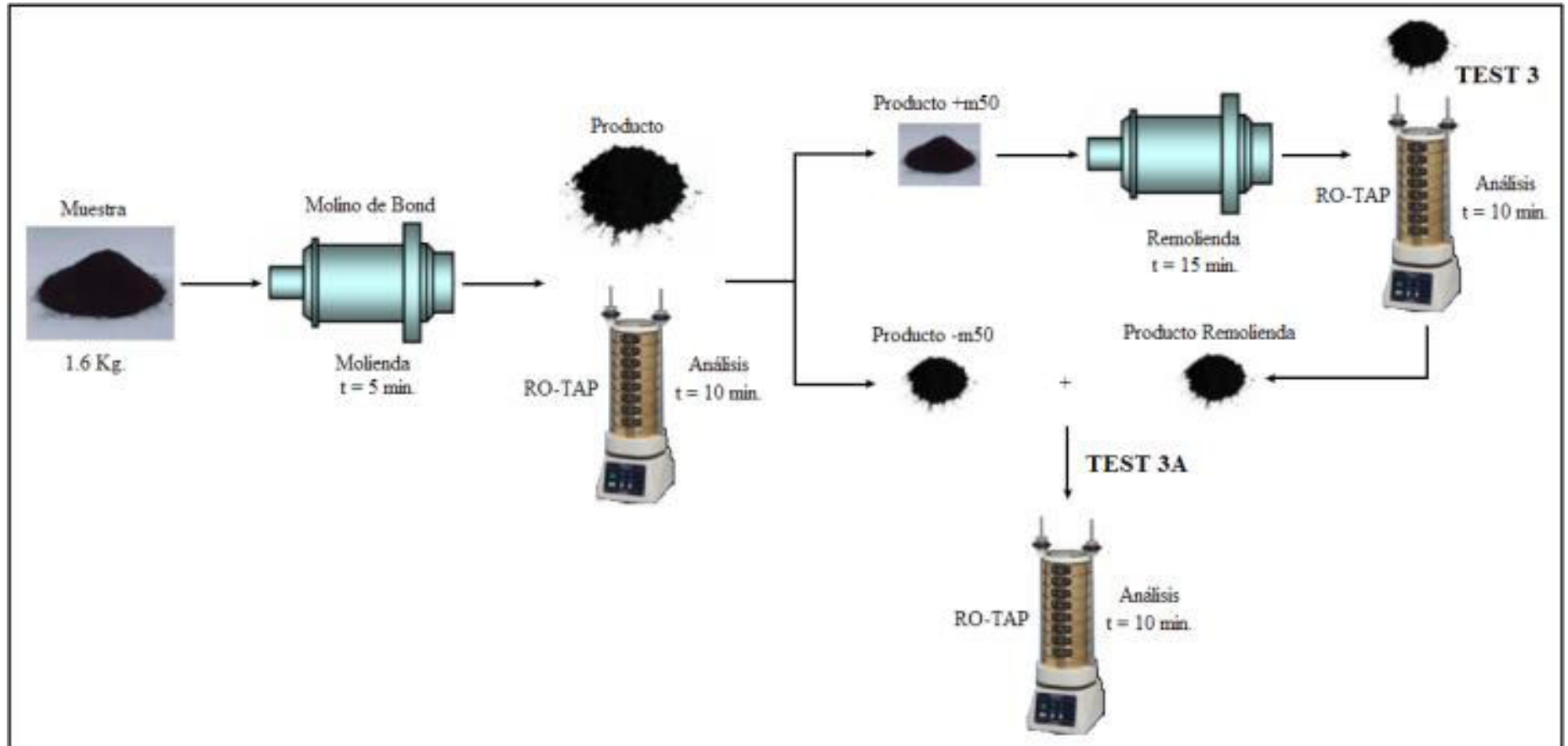
*Resultados de varios test granulométricos, líneas en azul son los rangos máximos y mínimos requeridos para preparar la mezcla de prueba.*



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<br>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-C136, 2005).

**Tabla 13**

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

| Malla        | $\alpha i$ | $f(x) i$ | $\alpha i . f(x) i$ |
|--------------|------------|----------|---------------------|
| 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              |
| <b>Total</b> |            | 100      | <b>14723.603</b>    |

*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

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

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)*

| <b>Malla</b> | $\propto i$ | <b>f (x) i</b> | $\propto i . f (x) i$ |
|--------------|-------------|----------------|-----------------------|
| 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                |
| <b>Total</b> |             | <b>100</b>     | <b>14499.778</b>      |

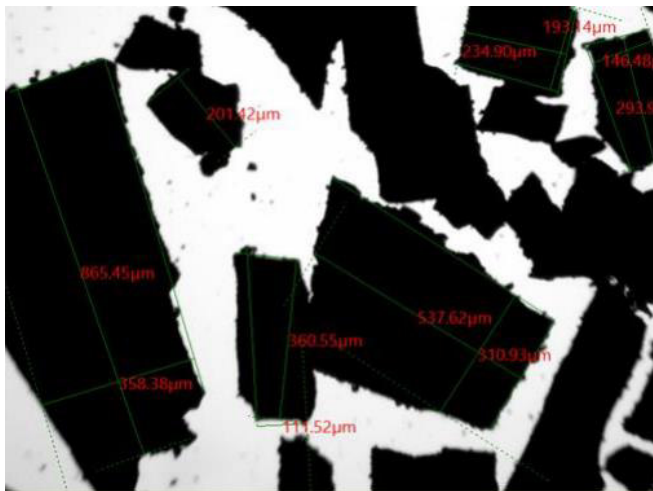
*Fuente:* Elaboración propia

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**

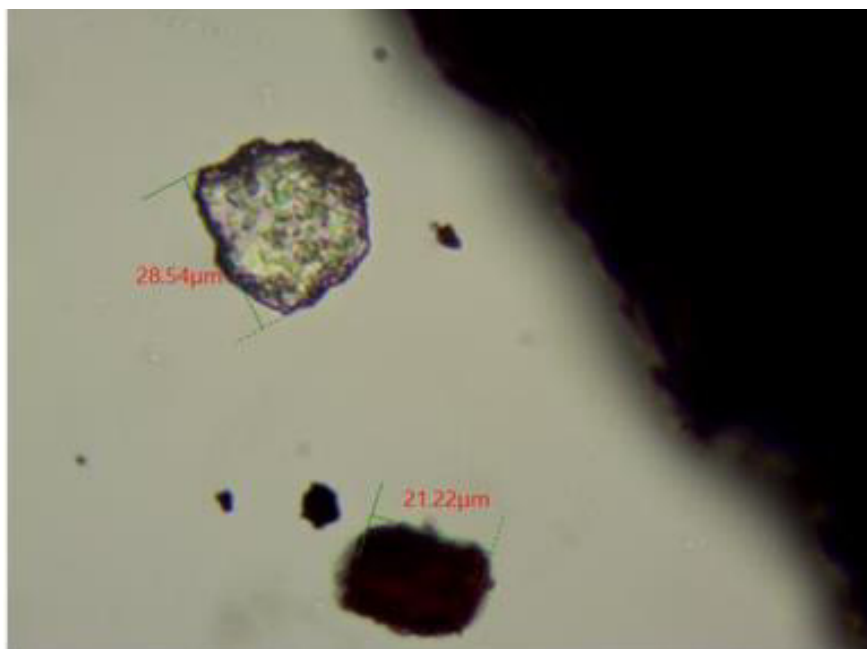
*Fotografía de superficie de cascarilla de alambrón con un aumento 4X*



*Fuente:* Efectuado en laboratorio Metalográfico, Univ. Nacional Ingeniería, FIGMM

#### **Figura 41**

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



*Fuente:* Fabian Godoy, Universidad de 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 (véase anexo C).

#### **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

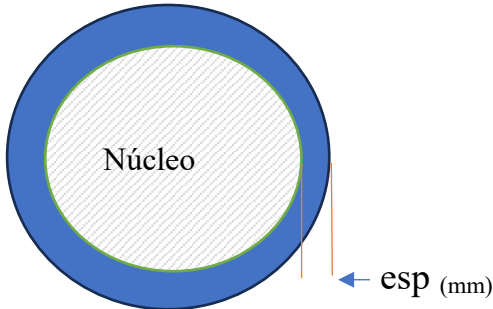
electrodos que son rechazados son enviados a la máquina de extracción de revestimiento, para reutilizar la varilla de alambre y el revestimiento.

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 embala finalmente (véase anexo E).

**Tabla 15**

*Espesor de la pared del revestimiento del electrodo para prensado*



| <b>Diámetro<br/>Núcleo mm</b> | <b>Diámetro final<br/>Rev mm</b> | <b>Espesor pared<br/>mm</b> |
|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 1.6                           | 2.7                              | 0.55                        |
| 2.0                           | 3.3                              | 0.65                        |
| 2.5                           | 3.85                             | 0.675                       |
| 3.2                           | 4.9                              | 0.85                        |
| 4.0                           | 5.75                             | 0.875                       |
| 5.0                           | 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, cita el autor Montgomery que “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.” (Douglas, 2013)

Para la presente investigación, se muestra el esquema general para el análisis granulométrico sobre Índice 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:

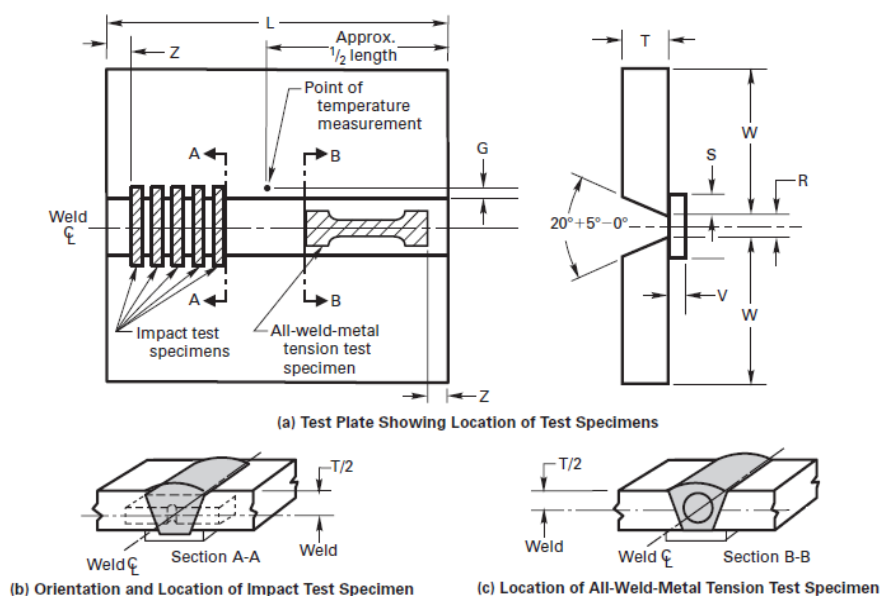
- a) Clasificación del tipo de electrodo de acuerdo a su naturaleza del revestimiento, el cual va desde tipo celulósicos con alto contenido de sodio o potasio.
- b) Clasificación de otros tipos de revestimientos de alto contenido de rutilo con sodio o potasio para el tipo de corriente CA o DC.
- a) Clasificación 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                |
| <b>ASME</b>    |            |            |            |            |            |             |          |                      |
| <b>SFA5.1.</b> |            |            |            |            |            |             |          |                      |
| <b>E6010</b>   |            |            |            |            |            |             |          |                      |
| <b>E6011</b>   | <b>0.2</b> | <b>1.2</b> | <b>0.3</b> | <b>0.2</b> | <b>0.3</b> | <b>0.08</b> | <b>1</b> | <b>No específica</b> |
| <b>E6012</b>   |            |            |            |            |            |             |          |                      |
| <b>E6013</b>   |            |            |            |            |            |             |          |                      |

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<br>(MPa) | R. Máxima<br>(MPa) | Elongación<br>(%) |
|--------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| M12-test                 | 479               | 567                | 22                |
| M14-test                 | 473               | 540                | 29                |
| M10-test                 | 479               | 567                | 24                |
| M15-test                 | 468               | 574                | 31                |
| <b>ASME SFA5.1 E6010</b> |                   |                    |                   |
| <b>E6011</b>             | <b>330</b>        | <b>430</b>         | <b>22</b>         |
| <b>E6012</b>             |                   |                    |                   |
| <b>E6013</b>             |                   |                    |                   |

*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  $-30^{\circ}\text{C}$ ], para efectos de nuestra investigación se ensayaron a diferentes temperaturas  $20^{\circ}\text{C}$  a  $-45^{\circ}\text{C}$  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*



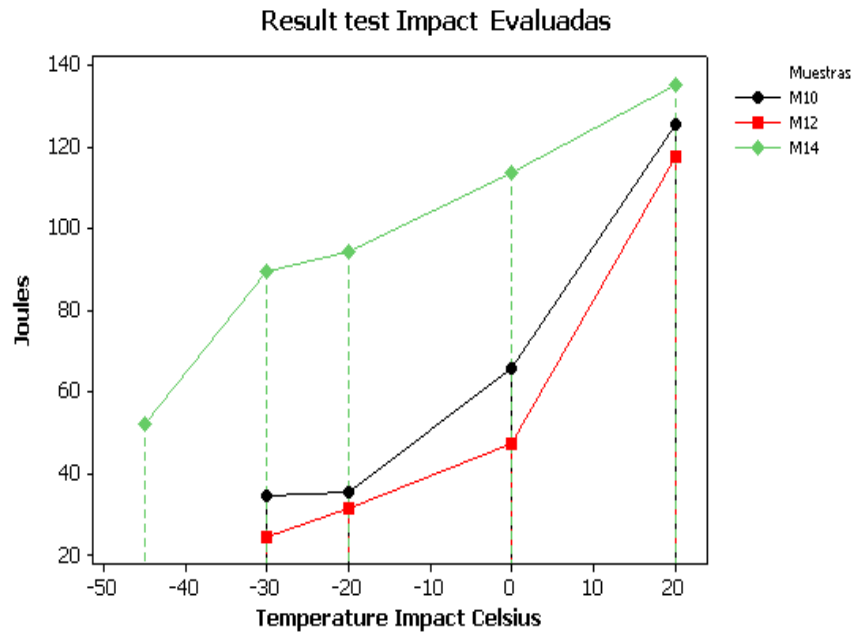
*Fuente:* Elaboración propia. Laboratorio de FIGMM

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  $20^{\circ}\text{C}$  en color verde hasta temperaturas a  $-40^{\circ}\text{C}$  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**

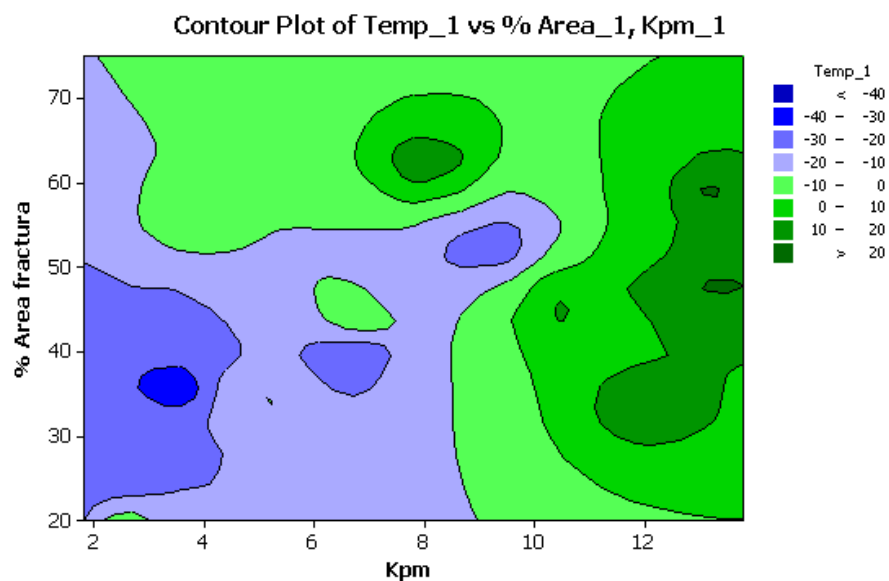
*Resultados finales del ensayo por impacto (Charpy-V)*



*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 Doble***

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, 1997).

#### **4.1.6.5.        *Dureza Rockwell***

##### **Figura 47**

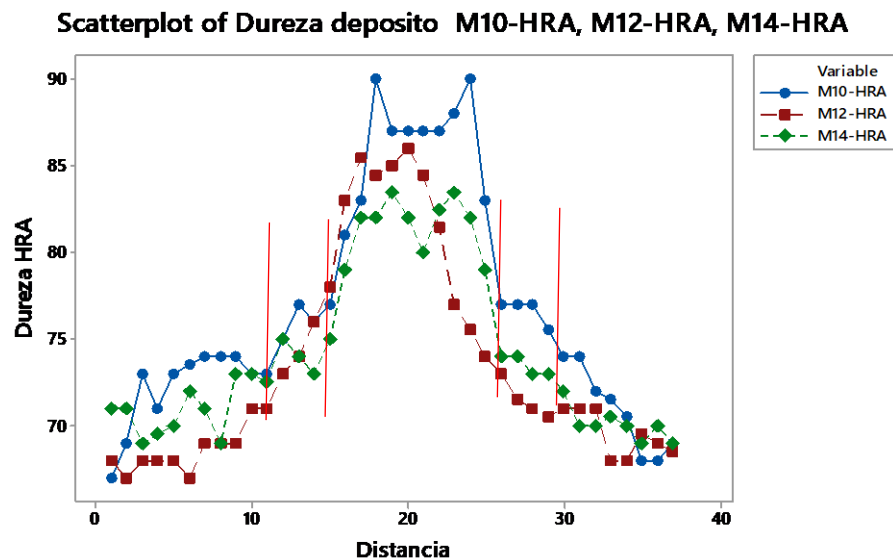
*Equipo de Dureza Rockwell modelo Michigan*



*Fuente:* Elaboración propia, Laboratorio END, FIGMM

**Figura 48**

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

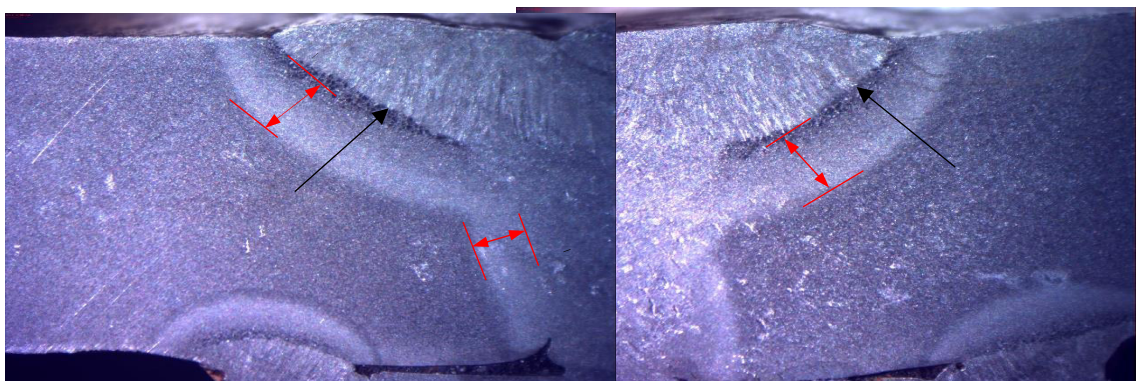


*Fuente:* Elaboración propia, se observa las zonas ZAC “Zona afectada por el calor”, medido transversal al cordón soldadura.

#### 4.1.6.6. Metalografía

**Figura 49**

*Macrografía vista con un aumento de 10X*



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

#### 4.1.6.7. *Prueba de Doble*

**Figura 50**

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



*Fuente:* Elaboración Propia. Laboratorio 4 FIM-Universidad Nacional de Ingeniería

**Figura 51**

*Resultado Test de Doble a 180° AWS de la probeta soldada*



*Fuente:* Elaboración propia. Laboratorio 4 FIM -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, (véase anexo F).

#### ***4.1.8. Encuesta de calidad de la soldadura***

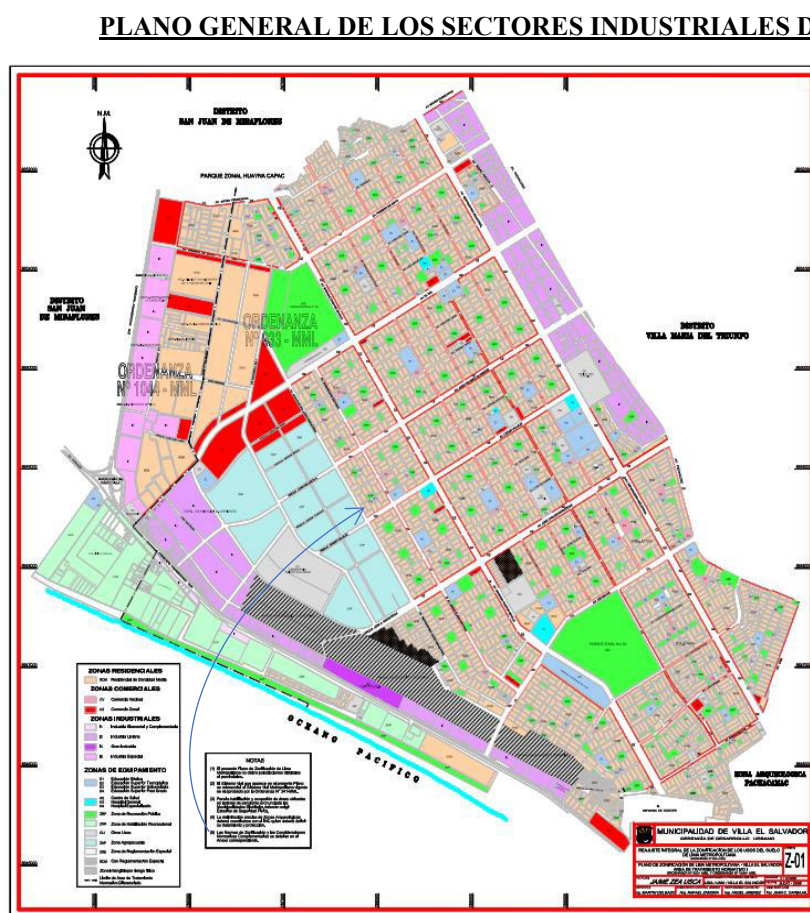
La investigación efectuada en el proyecto logra con éxito incorporar la cascarilla de acero en el revestimiento de electrodos de arco eléctrico, permitiendo determinar otras bondades del producto que puede satisfacer las necesidades de otros tipos de electrodos pero nos enfocamos en al producto estándar 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 cita el autor que el concepto que la calidad propuesto por Garvin y Glass corresponde

a “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, (véase el anexo F, fotos de los lugares validación en campo)

**Figura 52**

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



*Fuente:* Municipalidad Villa el Salvador. La zona en color morado corresponde sector cerrajero (talleres pequeños a medianos).

**Tabla 18.**

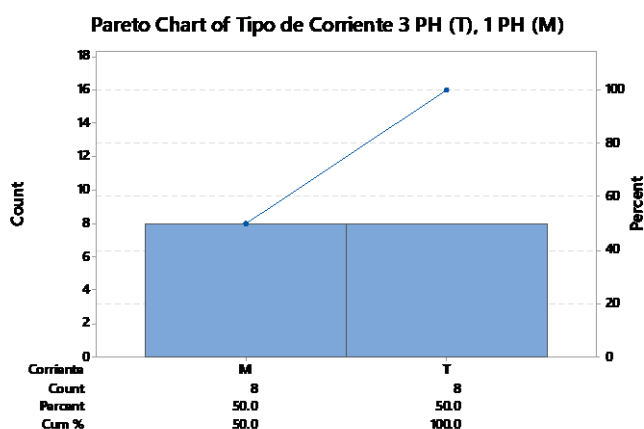
*Encuesta de satisfacción del electrodo con cascarilla - producto final*

| Soldador | Corriente | tipo<br>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**

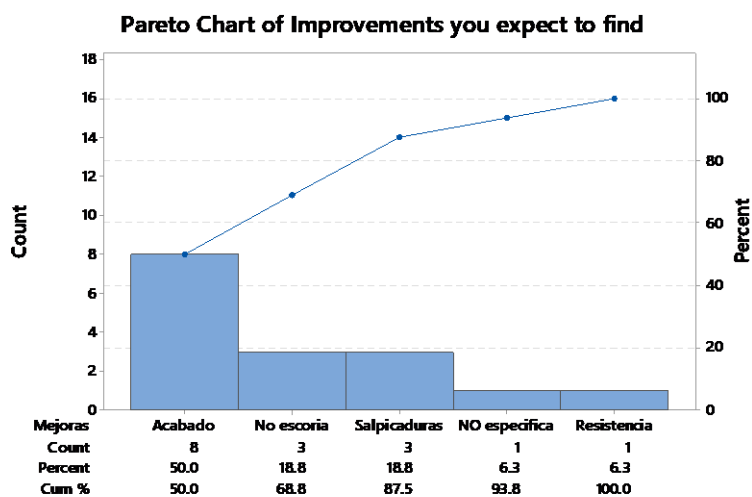
*Preferencia tipo de corriente que se usa en el taller, Trifásico (T) y Monofásico (M)*



*Fuente:* Elaboración propia. Tomado de Nexsol

**Figura 54**

*Mejoras que se esperan del nuevo electrodo*

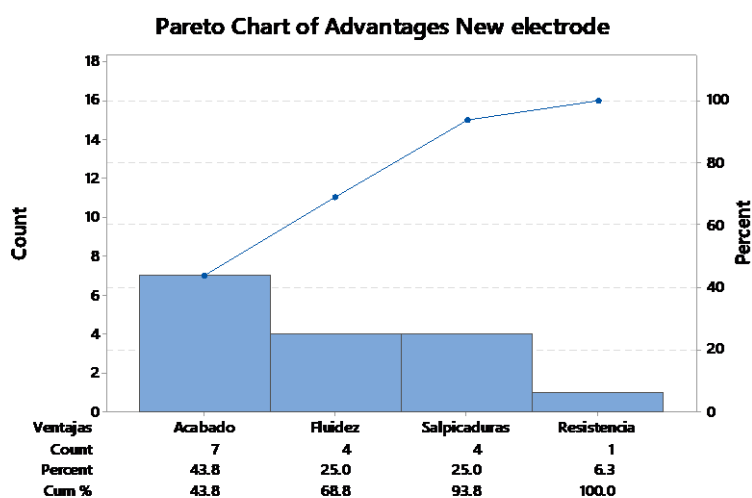


*Fuente:* Elaboración propia.

*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*

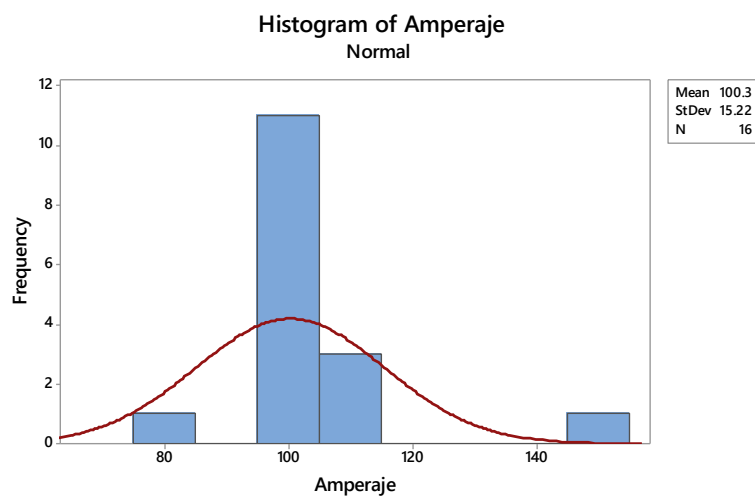


*Fuente:* Elaboración Propia

*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)*

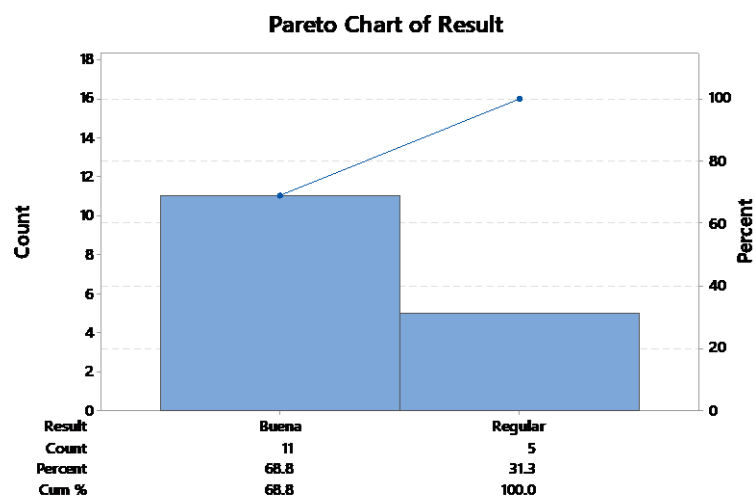


*Fuente:* Elaboración propia

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

**Figura 57**

*Resultado final de la evaluación del electrodo*

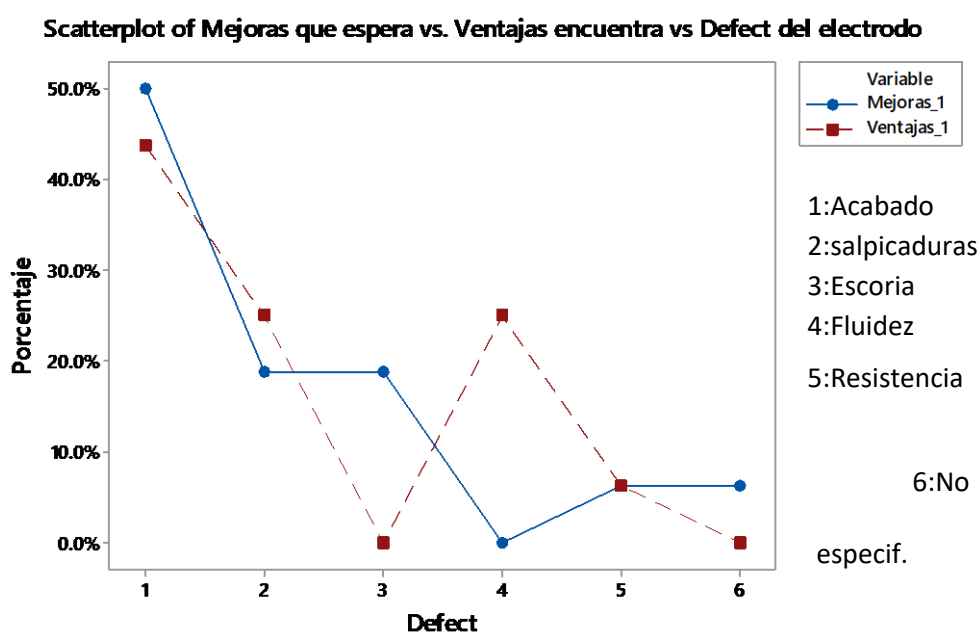


*Fuente:* Elaboración Propia

*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 en este caso tomamos como referencia los soldadores de Villa el Salvador, ubicados en el distrito al Sur en Lima donde se concentra la mayor cantidad de talleres y soldadores. (Torre & Salazar, 2002)

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 recalculo 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:

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

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

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

$n = 20$  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              |
| <b>Total</b> | <b>16</b>   |              |                |

*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             | <b>1.95996</b> | Unidad           |
| <b># n muestras</b> calculado | <b>n*</b>     | <b>20</b>      | <b>Encuestas</b> |

*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 Fluidéz | 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. Nota: 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 $H_0$

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  $H_0$  con la siguiente pregunta: el nuevo electrodo con cascarilla incorporada con revestimiento es semejante al producto estándar sin cascarilla. Asimismo, la hipótesis alternativa  $H_a$  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  $\neq$  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  $H_0$ , 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  $\neq$  0): Z = 0.32 P-Value = 0.749  
 Fisher's exact test: P-Value = 1.000.

Se acepta la hipótesis nula  $H_0$ , 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 alambón 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 (Morales, Nakama, & Valencia, 2016). En la valorización, el valor de la producción anual de alambón 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 alambón para trefilería del tipo AISI-SAE1008.

**Tabla 22**

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

| Consumption<br>Wire Steel<br>TM/month | Cascarilla<br>TM/Month<br><br>$\bar{x}$ : 45 | Wire Steel<br>TM/year | Total Cascarilla x<br>(TM/year) |                      |
|---------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------|
|                                       |                                              |                       | Total                           | Total <sub>(a)</sub> |
|                                       |                                              |                       | 0.50%                           | 1.00%                |
| 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

*Fuente:* Elaboración propia

**Tabla 23***Total de cascarilla generada en la planta siderúrgica de Aceros Arequipa*

| <b>Production Wire Steel TM/month</b> | <b>Cascarilla TM/month <math>\bar{x}</math> 0.75%,</b> | <b>Production Wire Steel TM/year</b> | <b>Cascarilla Total<sub>(b)</sub> (TM/year)</b> | <b>Total that remains Siderurgica (TM/year) Total<sub>(b)</sub> – Total<sub>(a)</sub></b> |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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                                                                                      |

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

*Fuente:* Elaboración propia

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<sub>(b)</sub> (Tabla 22) - Total<sub>(a)</sub> (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 perdida 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 alambrón 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 alambrón 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 Oyarzun (1994) señala 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.”

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. (Morales et al., 2016)

**Tabla 24**

*Valorización en los diferentes niveles de producción de cascarilla*

| Production Wire Rod<br>TM/year | Cascarilla $\pm 0.05\%$<br>TM/year |              |              | Reducing<br>thickness<br>(TM/Year)<br>0.5% | Plant Hierro<br>Esponja<br>(TM/year)<br><del>R. Cascarilla</del><br>25% | (a) - <del>R. Cascarilla</del><br>Total<br>Cascarilla<br>0.5%<br>(TM/year) | (b) - <del>R. Cascarilla</del> <sup>25%</sup><br>Total<br>Cascarilla<br>0.3%<br>(TM/year) | Utility<br>0.5%<br>US/year |
|--------------------------------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
|                                | (a)<br>0.50%                       | (b)<br>0.30% | (c)<br>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 Electrodo

Al inicio del desarrollo del proyecto, la planta pasó por un programa de ampliaciones y mejoras de la línea de producción de electrodos, 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 electrodos, 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 electrodos*

| Cascarilla<br>kg/TM Wire<br>Rod | Loss x<br>Cascarilla<br>(%) | Total Steel<br>Additional<br>kg/TM Wire Rod | 1000x12month<br>TM <sub>wire rod</sub><br>/year | \$/year<br>FOB:580<br>\$/TM (a) | Welding to be<br>manufactured<br>TM/year *** | Cascarilla<br>MP<br>\$/year (b) | Utility<br>US/year     |
|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| 7.5 *                           | 0.75%                       | 0.00                                        | 0.0                                             | \$ 0.0                          | 0                                            | \$0.00                          | <b>(-\$14 687.72)*</b> |
| 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

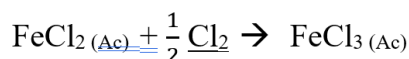
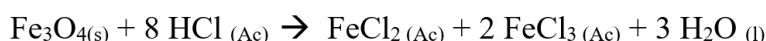
*Fuente:* Elaboración Propia

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 electrodos, se genera una utilidad de aproximadamente de 99,036 USD, si los niveles de cascarilla se reducen a valores entre un rango de 0.3% a 0.19% la utilidad puede presentar un incremento de su rentabilidad 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<sub>AC</sub> 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/cm<sup>3</sup>, a un precio 295.00 US/TM<sub>ac</sub>. Valor 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 alambIÓN a un precio 295 US/TM<sub>ac</sub>

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

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

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 producción 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 reutilización de la cascarilla en la producción de electrodos.*

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

*Fuente:* Elaboración Propia

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

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A comparación de otras investigaciones que tratan de mitigar los efectos del residuo solido de una empresa, este trabajo busca incorporar este residuo dentro de una economía circular que genere un impacto positivo en la industria fabril de electrodos en el Perú o cualquier empresa fabricante de electrodos alrededor del continente sudamericano o el mundo, este capítulo se llevó a cabo con referencia a los resultados obtenidos en esta investigación, debo destacar que un factor que deberán considerar en la etapa inicial de su implementación es el tiempo.

- 5.1. Sobre los aspectos en el proceso de fabricación de los alambres de acero un aspecto que debemos de considerar que todo proceso de fusión metalúrgico cuando cualquier metal se encuentre en estado líquido e inicie su proceso de solidificación siempre se va producirá una capa de oxido en la superficie del metal adherida a esta, para efectos de la presente investigación queda establecido en la tabla No 7, teniendo en cuenta la ley de Fick's descrita en el marco teórico.
- 5.2. Sobre la característica del oxido formado para la presente investigación queda establecido de tres tipos mineralógico, siendo el de tipo wustita- magnetita-hematita, el porcentaje de cada uno de cada compuesto estará definido por la velocidad de enfriamiento de la superficie del alambre, ver figuras 23 y 24.
- 5.3. Una de las maneras de eliminar esta cascarilla de acero de la superficie del alambre antes del proceso de trefilado en seco, que estos rollos se acondiciona la superficie del alambón empaquetado, sumergiendo luego en tinas con una solución de ácido clorhídrico para su decapado químico y posterior pasivado, siendo el tiempo de permanencia establecido por el usuario en función de sus necesidades.

- 5.4. Otra opción es que dicho rollo se someta a un decapado mecánico mediante el uso de poleas al menos 3 a 5 pasos para quebrar la cascarilla adherida en la superficie de alambre.
- 5.5. La cascarilla acumula puede someterse a una molienda en seco separándolo los polvos a través de zarandas o hidrociclones para su uso en la reincorporación como sub productos de las formulaciones de electrodos con IF en el rango  $99 < IF < 130$ , siendo necesario el empleo del análisis granulométrico de los polvos finos se recomienda el uso el análisis de las ecuaciones Rosin Rammler, (véase el anexo C).
- 5.6. Todas soluciones acidas utilizadas en el decapado químico contenido en tinas donde se sumergen los rollos de alambón el tiempo está definido hasta disolver la cascarilla de la superficie del alambre, el tiempo de uso se efectuara hasta agotar el HCl libre y el contenido de  $FeCl_3$  sea mayor a 75%, posteriormente puede ser dispuesto para su uso en cualquier planta de tratamiento de agua alrededor del mundo y en el presente proyecto se dispuso su uso en Sedapal-Lima -Perú.
- 5.7. Cualquier fabricante de Cloruro férrico podría emplear este residuo de las siderúrgicas en vez de emplear chatarra de acero debido que este residuo que se encuentra libre de metales pesados, condición crítica cuando se emplea la chatarra de acero que si contiene metales pesados en su composición química.
- 5.8. Sobre los aspectos físicos químicos del electrodo revestido convencional, es necesario destacar que durante el desarrollo de la presente investigación se validó de acuerdo a la norma AWS ASME sección II part C: SFA5.1/5.1M, tomando como referencia los requerimientos necesarios a cumplir con los electrodos revestido convencional de la clase E6010, E6011, E6013, E7018, con respecto al soldeo se empleó un soldador calificado, por la AWS internacional de EEUU AWS D1.1 para efectos de este proyecto (véase anexo G, tablas de validación).

## VI. CONCLUSIONES

- 6.1. 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.
- 6.2. 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.
- 6.3. 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.

- 6.4. 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.
- 6.5. 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.
- 6.6. 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.
- 6.7. Se concluye que la solución ácida obtenida en el decapado químico que se emplea para la limpieza del alambra en las tinas con ácido clorhídrico, dicha solución ácida lo llamaremos subproducto como “solución ácida de cloruro férrico  $\text{FeCl}_3$  (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.

- 6.8. 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 (véase el anexo G, fotos de lugares de pruebas).
- 6.9. 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, véase el modelo cascada propuesto para la presente investigación (véase en el anexo D).

## VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. 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.
- 7.2. 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.
- 7.3. 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.

## VIII. REFERENCIAS

Adams, D. (1993), *Mostly Harmless*, Macmillan. Trafalgar Square.

Alacero. (2022). *Reporte Sustentabilidad Alacero 2022*.

[https://cms.alacero.org/uploads/Reporte\\_Sustentabilidad\\_Alacero\\_2022\\_2\\_ee311f667b.pdf](https://cms.alacero.org/uploads/Reporte_Sustentabilidad_Alacero_2022_2_ee311f667b.pdf)

Antonio, G. (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.* Naciones Unidas.

<https://webtv.un.org/es/asset/k17/k17rs8cqdl>

Arnold, K. B. (2009). *Klimaschutz und optimierter Ausbau erneuerbarer Energien durch Kaskadennutzung von Biomasseprodukten, Report Nr. 5.* Wuerthal Institut für Klima, Umwelt, Energie.

ASTM-C136. (2005). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.* The American Society for Testing and Materials ASTM.

ASTM-C702. (1998). *Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size.* The American Society for Testing and Materials ASTM.

AWS. (2015). *Norma ASME seccion II part C SFA5.1 / 5.1M, Specification for Carbon Steel Electrodes.* Houston: ASME International.

Cabrera, N. (1949). Theory of oxidation of metals. *Rep Prog Phys.*, 12, 163-184.

Caceres, 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.* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geologica Minera y Metalurgica.]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/1927>,

- Chávez, R. (2022). *Analisis de la industria Siderurgica en el Peru enfocado en las barras de construccion*. [Tesis de grado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional de la Universidad de Piura. <https://hdl.handle.net/11042/5899>
- Comite de la Unión Europea sobre Gestión de Residuo [UE-Comité]. (2008). *Legislación de la Unión Europea sobre gestión de residuo Directiva 2008/98/CE*. <https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/eu-waste-management-law.html>
- Córdoba M, M. C. (2013). *Niveles de investigación: Predictiva, proyectiva, interactiva, confirmatoria y evaluativa*. Scrib. <http://www.scribd.com/doc/2561176/Algunos-tipos-de-investigacion-abordaje-holistico>.
- 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*. [Trabajo de grado (Doctorado en Ingeniería de Materiales), Universidad Autónoma de Nuevo Leon. Division de estudios de Tesis Doctoral Facultad de Ingenieria Macanica Electrica]. <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020150362/1020150362.html>
- D’Onofrio, D. I. (2010). *Modelos de desarrollo de software: Cascada vs V*. <https://doi.org/10.21009/jtp.v25i3.44418>
- Darken. (1945). The System Iron– Oxygen, I: The Wustite Field and Related Equilibria,”. En D. L. R.W., *Introduction to the Thermodynamics of Materials*, J. Am Chem Soc., 1398.
- 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*., 113S – 124S.
- DeMarco, T. &. (1988). *Peopleware productive Projects an Teams*. (2a. ed.). Dorset House publishing Co.

- Dornburg, V. (01 de December de 2004). Dissertation an der Universität Utrecht: Multifunctional Biomass Systems. *Ter Verkrijging Van De Graad Van Doctor Aan De Universiteit Utrecht Op Gezag Van De Rector Magnificus*. 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 Experiment*. John Wiley & Sons.
- Edmundo, D. (2021). proceso oxiacetileno. En J. WISNIAK, *Educ. quím* (pp. 144-155). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.4.72934>
- Electric, L. (1994). History of the Welding. En L. E. Company, *The Procedure Handbook of Arc Welding*. (14th Ed.). Lincoln Electric Company. Lincoln.
- Garvin, D. (1987). Harvard Business Review. En *Competing on the Eight Dimensions of Quality*. McGraw-Hill. [www.acm.org/crossroads/xrds6-4/software.html](http://www.acm.org/crossroads/xrds6-4/software.html)
- Garvin, D. (1984). What Does 'Product Quality' Really Mean?". *Sloan Management Review*, 25- 45.
- Gaskell, D. (2003). Diagrama Hierro Carbono. En *Introduction to Metallurgical Thermodynamics*. (4th Ed.). Academic Book, Materials Sciences, & Chemical Engineering. <https://www.researchgate.net/publication/265258489>,
- Gaskell, D. (2003a). Binary Systems Containing Compounds. En *Introduction to Metallurgical Thermodynamics*. (6th Ed.; pp. 530-532). Purdue University, School of Materials Engineers.
- Gibernau, M. (2005). Usabilidad en sistemas de información. *Departament de Ciències Polítiques, La Segunda jornada de usabilidad en sistemas de información*, 415-432.
- Gibernau, M. M. (2005). Usabilidad en sistemas de información. *La Segunda jornada de usabilidad en sistemas de información*. Universitat Pompeu Fabra. Departament de Ciències Polítiques..

- Glass, R. (1998). Defining Quality Intuitively. *IEEE Software*, 107, 103-104.
- Gleick, P. (1993). *Water in Crisis*. Oxford University Press.
- González, F. M. (2018). *Estudio Experimental De Un Proceso De Producción de Cloruro Férrico a partir de desechos de la industria del Acero*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Química, Biotecnología y Materiales.
- Gurry, L. a. (1946). The system Iron-Oxygen. En *Equilibria and Thermodynamic of Liquid Oxide and Other Phases*. (vol 68, pp. 798). J. Am. Chem. Soc.
- Gurry, L., & W., D. R. (1945). 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. New York: J. Am. Chem Soc, En D. RW, *Introduction thermodynamic* ( Vol 67-pp. 1398 / Vol 68- pp.798).
- Hanna, M. (1995). Farewell to Waterfalls. *Software Magazine*, 38-46.
- Hector, A. (2014). *Procesos constructivos de edificaciones y sus impactos ambientales con relación a una producción limpia y sostenible*. [Trabajo de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional de la Universidad del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/277>.
- Heinke, J. (1996.). *Ingeniería Ambiental*. (2da ed.). Environmental Science and Engineering.
- Hernández-S, R. F. (2010). *Metodología de la Investigación: Apuntes de Metodología de La Investigación Científica*. (5ta ed.). Editorial McGraw Hill.
- Horwitz., H. (1997). *Soldadura Aplicaciones y Práctica*. Alfaomega.
- James, P. & Judy, M. (2004). Research Limitations and the Necessity of Reporting Them. *American Journal of Health Education*, 35(2), 66-67. <https://doi.org/10.1080/19325037.2004.10603611>

- Janicki, S.G. (1992). The Material Cascade: An Alternative Form of Remrind Utilization, *Plastics: Shaping the Future. ISWA LAC(Antec'92)*.
- Kearns, W. (1978). Welding processes – arc and gas welding and cutting, brazing and soldering. En A. W. Society, *Welding Handbook* (vol. 2, 7th ed., pp. 43-76). J. C. Fallick et al..
- Kofstad, P. (1987). *ASME Handbook Corrosion*. Bradford S.A.
- Ley DL-1278. (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>
- Love, L. C. ( 1987). *Soldadura : procedimientos y aplicaciones: Soldadura, Soldadura electrica, Control de Calidad*. Diana. [www.ipn.mx/assets/files/cecyl4/docs/estudiantes/aulas/guias/cuarto/vespertino/procesos/procesos-de-soldadura.pdf](http://www.ipn.mx/assets/files/cecyl4/docs/estudiantes/aulas/guias/cuarto/vespertino/procesos/procesos-de-soldadura.pdf)
- Medina, A. B.–8. (2014). Investigación holística y Desarrollo Instruccional en la comprensión del discurso escrito para estudiantes de educación media de la UEN José Félix Blanco. *Revista de Investigación*, 38(81), 69-88.
- Morales, Nakama, & Valencia, R. (2016). *Valorización de la Corporación Aceros Arequipa S.A.* [Tesis de grado, Universidad del Pacífico]. Repositorio Institucional Universidad del Pacífico. <https://hdl.handle.net/11354/3309>
- NHM (1993.). *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality*. (5a ed.). Ottawa Canada Communication Group.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2023). *Dia Internacional Cero Desechos la ONU aboga hacia una Economia Circular*. <https://news.un.org/es/story/2023/03/1519822>

- Organización Internacional de Normalización [ISO]. (2015). Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario. <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:es>.
- Oyarzun, D. (1994). *Valorización Económica de la calidad Ambiental*. McGraw-Hill.
- 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* WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. pp. 569.
- Pressman, R. (1995). *Ingeniería del Software*. (3ª ed.). McGraw-Hill.
- Richman, G. (1956). *Trabaja sobre física de soldadura*. Editorial de la Academia de Ciencias de la URSS. <http://www.biografia.ru/arhiv/benardos02.html>.
- Rinc, I. B. (2011). *Investigación científica e investigación tecnológica como componentes para la innovación: consideraciones técnicas y metodológicas*. Eumed. [www.eumed.net/rev/cccss/13/](http://www.eumed.net/rev/cccss/13/)
- Roos, J. (1996). *The F,Poised Organization: Navigating Effectively on Knowledge Landscapes*. [www.imd.ch/fac/roos/paper\\_po.html](http://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., pp. 1057 - 1068). Institute of Metallurgy.
- Schwerdtfeger-P, M. S. (1998). The Stability of the Oxidation State +4 in Group 14 Compounds from Carbon to Element 114. *Journal of the German Chemical Society*, 2493-2496.
- 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*. Asociación Internacional de Residuos Sólidos.
- Skoerber. (2015). Ciclos Cascada. Technische Universität Wien. ISWA. [www.iswa.org](http://www.iswa.org)

- Soto I., B. R. (2011). Investigación científica e investigación tecnológica como componentes para la innovación: consideraciones técnicas y metodológicas. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales. CII ECS*, 221.
- Struve, V. (1985). *Histoy of Ancient Greecer*. The Great Courses.
- Sundman, B. (1999). Computer alications in the development of steels. *Mrs. Bulletin*, 32-36.
- Surian, E. (2002). ANSI/AWS A5.1.E6013 Rutile Electrode: The effect of calcite. *Welding Journal AWS*, 113-124.
- Tribunal Constitucional [TC]. (06 de Noviembre de 2001). *Transcripción de la Sentencia del Tribunal Constitucional en el Expediente N° 0018-2001-AI/TC*. Tribunal Contritucional del Peru: <http://www.tc.gob.pe/jurisprudencia/2003/00018-2001-AI.html>.
- Ted, S. (1994). The cascade chain. *Resour Resour Conserv Recycl.* 10(3), 213-276. [https://doi.org/10.1016/0921-3449\(94\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0921-3449(94)90016-7).
- Torre, M., & Salazar, F. (2002). *Tamaño de una muestra para una investigacion de mercados*. Universidad Rafael Landívar. [http://moodlelandivar.url.edu.gt/url/oa/fi/ProbabilidadEstadistica/URL\\_02\\_BAS02%20DE](http://moodlelandivar.url.edu.gt/url/oa/fi/ProbabilidadEstadistica/URL_02_BAS02%20DE)
- Unión Europea [UE]. (2018). *Diario Oficial de la Unión Europea*. Directiva (UE) 2018/851 del Paralamento Europeo y del Conejo: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851>
- Verthoeven, J. (1998). The Role of impurities in ancient damascus steel blades. *JOM*, 50(9), pp. 58-64.
- Viteri, N. C. (2012). La investigación mixta, estrategia andragógica fundamental para fortalecer las capacidades intelectuales superiores. *RES NON VERBA, Revista Científica*, 2012, 93-99.

- Wang, B. &. (2020). Intelligent Welding System Technologies: State-of-the-Art Review and Perspectives. *Journal of Manufacturing Systems*(56), 81-91.
- Weman, K. (2003). *Welding processes handbook*. Woodhead Publishing Limited.  
<https://joanbonetm.wordpress.com/2019/06/18/historia-de-la-soldadura/>
- Yarovchuk, A. V. (1997). Special features of using slightly enriched ilmenite concentrate in the coating of welding electrodes for general applications. *Avt. Svarka (11)*, 46-56.
- Yliana S, B. (2010). Mecanismo de oxidación de un acero 1,25 Cr – 0,5 Mo wt% en aire a 600 °C. *Rev. LatinAm. Metal. Mater*, 30(1), 40-45.

## IX. ANEXOS

### ANEXO A:

### GLOSARIO

|                             |                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ABS</b>                  | : American Bureau of Shiing (USA)                                                                                                                                                             |
| <b>ASME</b>                 | : American Society of Mechanical Engineers (USA)                                                                                                                                              |
| <b>ASTM</b>                 | : American Society for Testing and Materials (USA)                                                                                                                                            |
| <b>AWS</b>                  | : American Welding Society (USA)                                                                                                                                                              |
| <b>Berthollides</b>         | : Base de la moderna nomenclatura química.                                                                                                                                                    |
| <b>BS</b>                   | : Shiing Laws and Regulations United Kingdom                                                                                                                                                  |
| <b>Cascarilla</b>           | : Capa en forma de lámina de óxido de hierro que protege la superficie del acero                                                                                                              |
| <b>Celulósicos</b>          | : Clasificación de los electrodos básicos con un alto contenido en su revestimiento de un material a base de celulosa                                                                         |
| <b>Consumibles</b>          | : Este término muy usado por los soldadores para establecer un electrodo de soldadura utilizado para los diferentes procesos de soldadura y materiales.                                       |
| <b>Deformación Plástica</b> | : 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.                     |
| <b>Difusibilidad:</b>       | : Proceso mediante el cual los átomos de un elemento se introducen o difunden en la estructura de un compuesto químico o metal.                                                               |
| <b>DIN</b>                  | : Deutsches Institut für Normung (Germany)                                                                                                                                                    |
| <b>Energía libre</b>        | : 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 |
| <b>Extrusión</b>            | : 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.                    |
| <b>GL</b>                   | : Germanischer Lloyd (Germany)                                                                                                                                                                |
| <b>GMAW (MIGMAG)</b>        | : Gas Shield Metal Arc Welding, soldadura de metal por arco protegido por gas Argón o gas CO <sub>2</sub> o la combinación de ambos gases.                                                    |

|                         |                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>GTAW / (TIG)</b>     | : Shield Tungsten Arc Welding, se hace circular la corriente eléctrica a entre el electrodo tungsteno no consumible y el metal base                                                                                            |
| <b>IF</b>               | : Índice de finura granulométrico de masa seca                                                                                                                                                                                 |
| <b>Innovate Perú</b>    | : Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación                                                                                                                                                                     |
| <b>ISO</b>              | : Organización Internacional de Normalización                                                                                                                                                                                  |
| <b>IWS</b>              | : Intelligent Warning System                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Macrografía</b>      | : 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. |
| <b>Oligisco</b>         | : Es una variedad de la hematita de forma laminar y brillante, su color puede variar en distintos tonos de pardo a negro                                                                                                       |
| <b>Palanquilla:</b>     | : 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                               |
| <b>PHVA</b>             | : Planificas, hacer, verificar, actuar                                                                                                                                                                                         |
| <b>Residuos solidos</b> | : Materiales o sustancias inservibles que no tienen un “valor de uso directo” para los generadores                                                                                                                             |
| <b>SAE</b>              | : Society of Automotive Engineers (USA) norma para la clasificación de aceros                                                                                                                                                  |
| <b>Salpicaduras</b>     | : Se genera durante el soldeo las gotas que se esparcen alrededor del charco de soldadura                                                                                                                                      |
| <b>SGC</b>              | : Sistema de gestión de la calidad                                                                                                                                                                                             |
| <b>Sinterizados:</b>    | : 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                                                            |
| <b>SMAW / (MMA)</b>     | : Shielded metal arc welding, soldadura manual por arco con electrodo revestido.                                                                                                                                               |
| <b>Trefilado</b>        | : 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)                                                                     |
| <b>UE:</b>              | : Unión Europea                                                                                                                                                                                                                |

**ANEXO B : 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><b>Problema específico</b></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</p> <p>Controlar y mitigar la contaminación en las plantas de electrodos mediante el reciclaje de la cascarilla de alambrón.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>A. Evaluar los diferentes tipos de óxidos de hierro presente en la cascarilla de alambrón.</p> <p>B. Optimizar el proceso de decapado mediante el tratamiento térmico de la palanquilla de trefilado</p> <p>C. Analizar el grado de contaminación del suelo, de los trabajadores e identificar los metales pesados y su forma química presente.</p> <p>D. Proponer a la organización el uso de la cascarilla en el proceso fabril de electrodos celulósicos.</p> <p>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</p> <p>B. permite establecer una economía circular</p> <p>C. permite aplicarlo en forma de cascada secundaria en otras industrias fabriles.</p> <p>D. Este nuevo procedimiento de reproceso mejora los niveles de rentabilidad</p> <p>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 alambrón 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 alambrón de acero como residuos sólidos no logran mejorar minimizar, entonces, los niveles de contaminación en las plantas de electrodos y siderúrgicas seguirán</p> | <p><b><u>Variables independientes</u></b></p> <p>NUEVO SISTEMA DE CASCADA EN EL REPROCESO SIDERURGICO Y FABRIL DE ELECTRODOS</p> <p><b><u>Variable dependiente</u></b></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</p> <p>a.2. Clasificación</p> <p>a.3. Estimación IF.</p> <p>a.4. Materiales e insumos</p> <p>b.1. Determinar variables mezclado</p> <p>b.2. Diseño de Mezclas</p> <p>b.3. Extrusión.</p> <p>b.4. Secado</p> <p>c.1. calibración</p> <p>c.2. ciclos horneados</p> <p>c.3. humedad</p> <p>d.1. Norma ASME</p> <p>A5.1 AWS</p> <p>d.2. Soldeo</p> <p>d.3. Piloto</p> | <p>1. Pruebas de ensayo Mecánico</p> <p>2. Pruebas de análisis Químico del metal depositado</p> <p>3. Pruebas de Impacto Charpy-V</p> <p>4. Pruebas de Dureza Rockwell</p> <p>5. Pruebas de ensayo por Ultrasonido</p> <p>6. Análisis Metalográfico</p> |

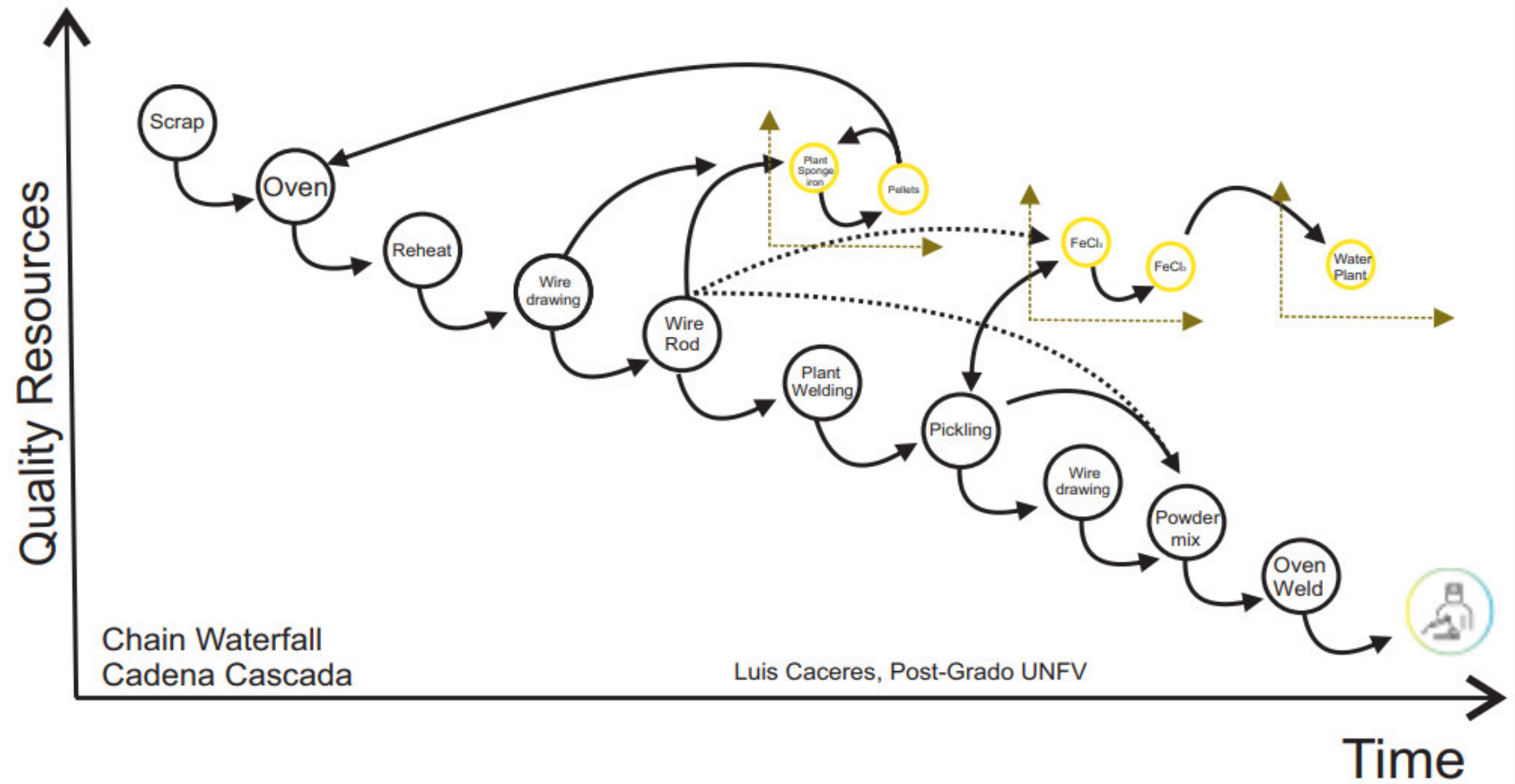
*Fuente:* Diseño propio

**ANEXO C : 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          |

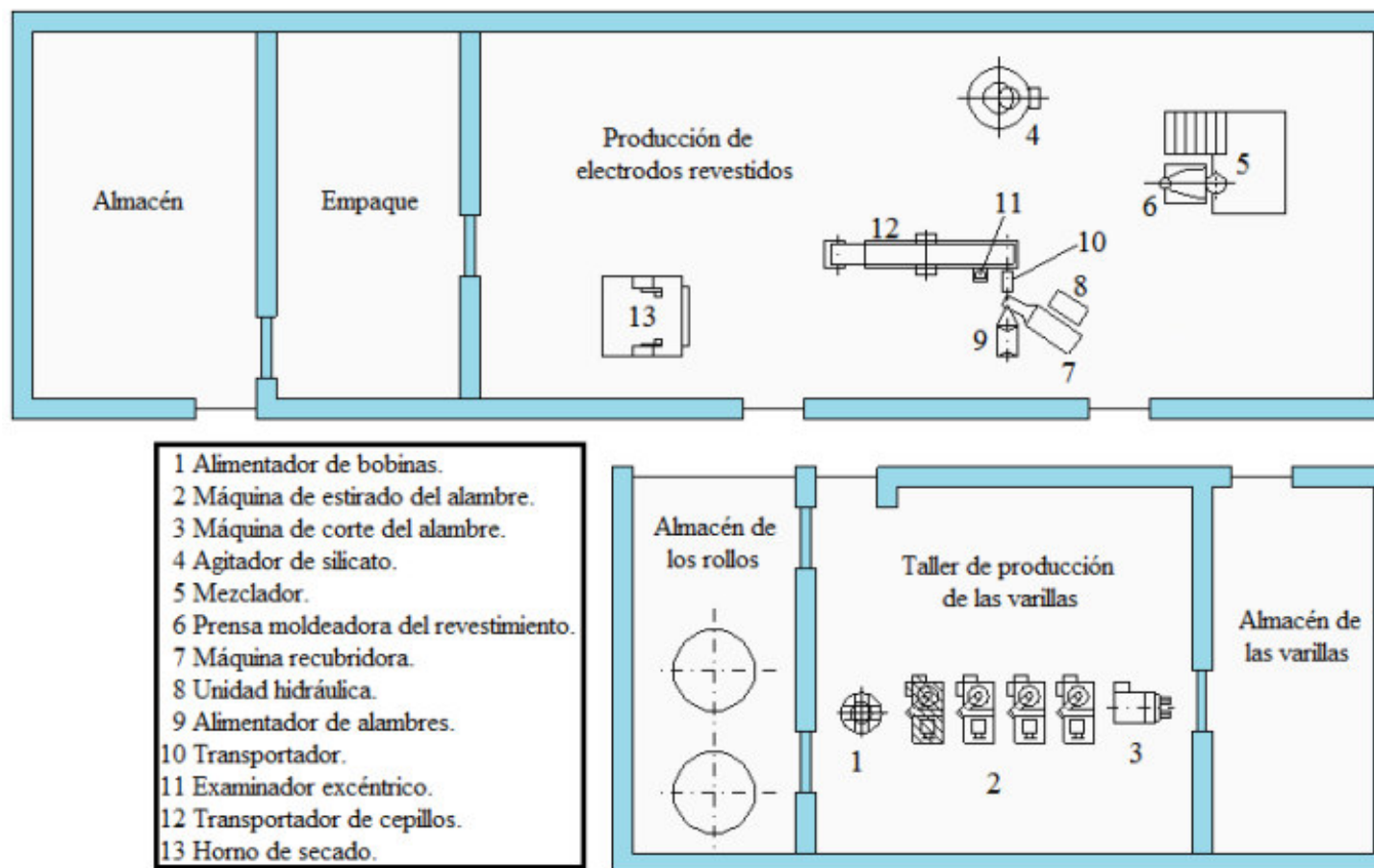
*Fuente:* Diseño propio

**ANEXO D : Modelo cascada propuesto para la cascarilla de acero para la fabricación de electrodos de soldar**



Fuente: Diseño propio

**ANEXO E :** *Distribución de la planta piloto de NEXSOL para las pruebas de fabricación de electrodos*



*Fuente:* Nexsol

**ANEXO F : Pruebas de campo en Soldador en distrito de Villa el Salvador**



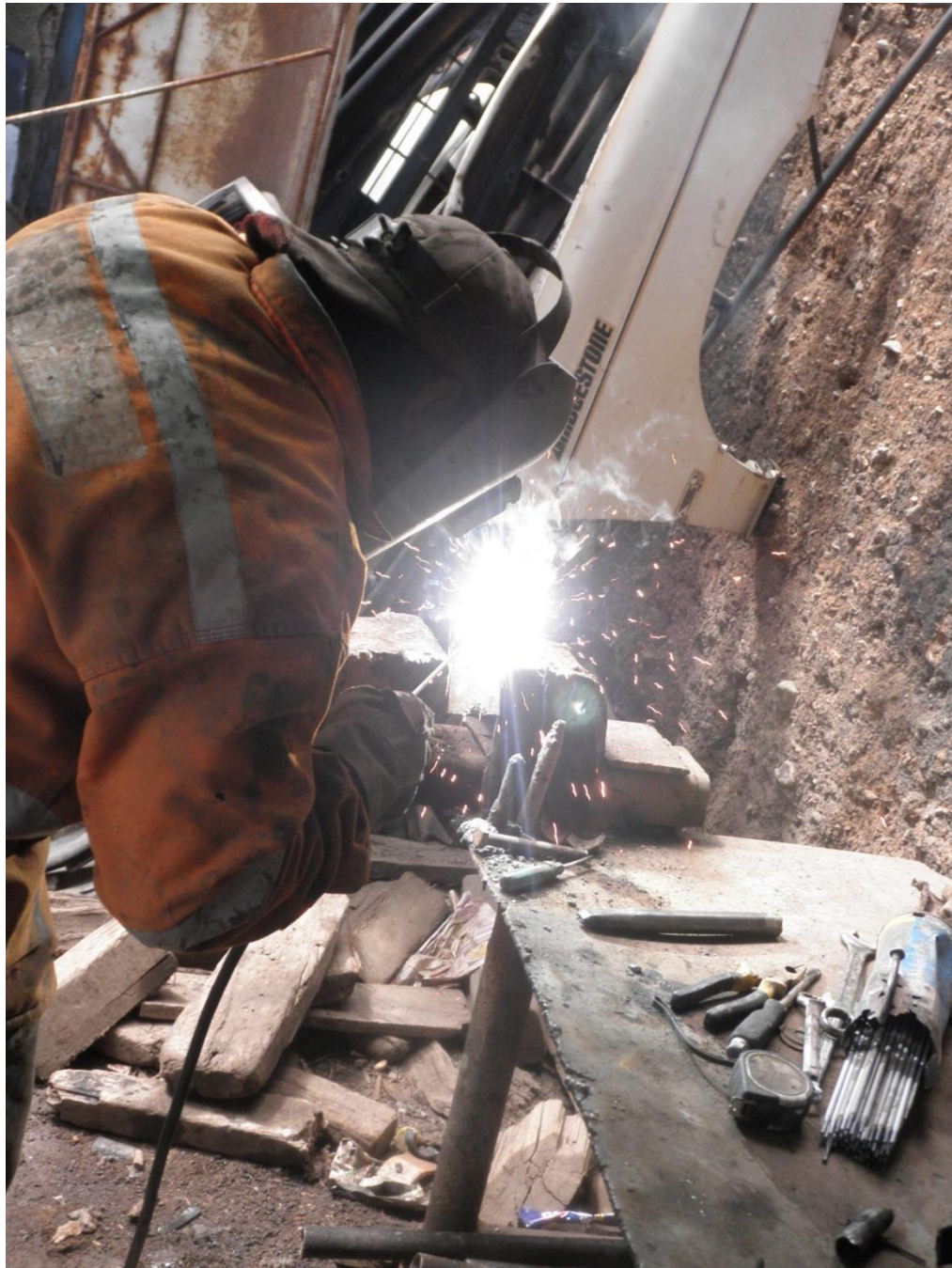
*Fuente:* Diseño propio, Tomado de Nexsol

*Test de evaluación con soldadores en Instituto Promae de Villa Salvador*



*Fuente:* Diseño propio, Tomado de Nexsol

*Pruebas de Campo del electrodo E6011, taller en la ciudad de la Oroya*



*Fuente:* Diseño propio, Tomado de Nexsol

# ANEXO G : Rules validación para la 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 <sup>(1)</sup> | Type of Current <sup>(2)</sup> |
|----------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 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 <sup>(3)</sup> | E4318 <sup>(3)</sup> | 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<br>F                   | ac or dcen<br>ac, dcep or dcen |
| E6022 <sup>(4)</sup> | E4322 <sup>(4)</sup> | High iron oxide                     | F, H-fillet                     | ac or dcen                     |
| E6027                | E4327                | High iron oxide, iron powder        | H-fillet<br>F                   | ac or dcen<br>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 <sup>(3)</sup> | E4916 <sup>(3)</sup> | Low hydrogen potassium              | F, V, OH, H                     | ac or dcep                     |
| E7018 <sup>(3)</sup> | E4918 <sup>(3)</sup> | Low-hydrogen potassium, iron powder | F, V, OH, H                     | ac or dcep                     |
| E7018M               | E4918M               | Low-hydrogen iron powder            | F, V, OH, H                     | dcep                           |
| E7024 <sup>(3)</sup> | E4924 <sup>(3)</sup> | Iron powder, titania                | H-fillet, F                     | ac, dcep or dcen               |
| E7027                | E4927                | High iron oxide, iron powder        | H-fillet<br>F                   | ac or dcen<br>ac, dcep or dcen |
| E7028 <sup>(3)</sup> | E4928 <sup>(3)</sup> | 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.

Fuente: Tomada Norma AWS SFA5.1 Tabla 1 (2015)

*Rules Test de resumen de requerimientos según el 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 <sup>(1)</sup>                                | Electrode Size                                                                 |                                    | Chemical <sup>(3)</sup> Analysis | Welding Position for Test Assembly <sup>(2)</sup>                           |                            |                                 |                              |
|------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| A5.1                   | A5.1M                  |                                                                    | A5.1 (in.)                                                                     | A5.1M (mm)                         |                                  | Radiographic Test <sup>(4)</sup> All-Weld-Metal Tension Test <sup>(5)</sup> | Impact Test <sup>(6)</sup> | Fillet Weld Test <sup>(7)</sup> | Moisture Test <sup>(9)</sup> |
| 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 <sup>(11)</sup>                | F <sup>(11)</sup>                                                           | NR                         | V & DH                          | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{3}{16}$                                                                 | 4.8, 5.0                           | NR                               | F <sup>(11)</sup>                                                           | NR                         | H-fillet                        | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{7}{32}$                                                                 | 5.6                                | NR                               | NR                                                                          | NR                         | NR                              | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{1}{4}$                                                                  | 6.0, 6.4                           | F <sup>(11)</sup>                | F <sup>(11)</sup>                                                           | NR                         | H-fillet                        | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{5}{16}$                                                                 | 8.0                                | NR                               | F <sup>(11)</sup>                                                           | 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 <sup>(13)</sup> | E4918M <sup>(13)</sup> | dcep                                                               | $\frac{3}{32}$ to $\frac{5}{32}$ inc.<br>$\frac{3}{16}$ to $\frac{5}{16}$ inc. | 2.4 to 4.0 inc.<br>4.8 to 8.0 inc. | F<br>F                           | V<br>F                                                                      | V<br>F                     | NR<br>NR                        | Reqd.<br>Reqd.               |
| E7024                  | E4924                  | ac, dcep, and dcen                                                 | $\frac{3}{32}, \frac{1}{8}$                                                    | 2.4, 2.5, 3.2                      | NR                               | NR                                                                          | NR <sup>(14)</sup>         | NR                              | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{5}{32}$                                                                 | 4.0                                | F <sup>(12)</sup>                | F <sup>(11,12)</sup>                                                        | F <sup>(14)</sup>          | H-fillet                        | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{3}{16}$                                                                 | 4.8, 5.0                           | NR                               | F <sup>(11,12)</sup>                                                        | F <sup>(14)</sup>          | H-fillet                        | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{7}{32}$                                                                 | 5.6                                | NR                               | NR                                                                          | NR <sup>(14)</sup>         | NR                              | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{1}{4}$                                                                  | 6.0, 6.4                           | F <sup>(12)</sup>                | F <sup>(11,12)</sup>                                                        | F <sup>(14)</sup>          | H-fillet                        | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{5}{16}$                                                                 | 8.0                                | NR                               | F <sup>(11,12)</sup>                                                        | NR <sup>(14)</sup>         | NR                              | NR                           |
| E7027                  | E4927                  | For H-fillet, ac and dcep;<br>For flat position ac, dcep, and dcen | $\frac{1}{8}$                                                                  | 3.2                                | NR                               | NR                                                                          | NR                         | NR                              | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{5}{32}$                                                                 | 4.0                                | F <sup>(12)</sup>                | F <sup>(11,12)</sup>                                                        | F <sup>(12)</sup>          | H-fillet                        | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{3}{16}$                                                                 | 4.8, 5.0                           | NR                               | F <sup>(11,12)</sup>                                                        | F <sup>(12)</sup>          | H-fillet                        | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{7}{32}$                                                                 | 5.6                                | NR                               | NR                                                                          | NR                         | NR                              | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{1}{4}$                                                                  | 6.0, 6.4                           | F <sup>(12)</sup>                | F <sup>(11,12)</sup>                                                        | F <sup>(12)</sup>          | H-fillet                        | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{5}{16}$                                                                 | 8.0                                | NR                               | F <sup>(11,12)</sup>                                                        | 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 <sup>(12)</sup>                                                           | F                          | H-fillet                        | Reqd.                        |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{3}{16}$                                                                 | 4.8, 5.0                           | NR                               | F <sup>(12)</sup>                                                           | F                          | H-fillet                        | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{7}{32}$                                                                 | 5.6                                | NR                               | NR                                                                          | NR                         | NR                              | NR                           |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{1}{4}$                                                                  | 6.0, 6.4                           | F                                | F <sup>(12)</sup>                                                           | F                          | H-fillet                        | Reqd.                        |
|                        |                        |                                                                    | $\frac{5}{16}$                                                                 | 8.0                                | NR                               | F <sup>(12)</sup>                                                           | NR                         | NR                              | NR                           |

Fuente: Tomada Norma AWS SFA5.1 Tabla 4.1 (2015)

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

TABLE 4 (CONT'D)  
REQUIRED TESTS

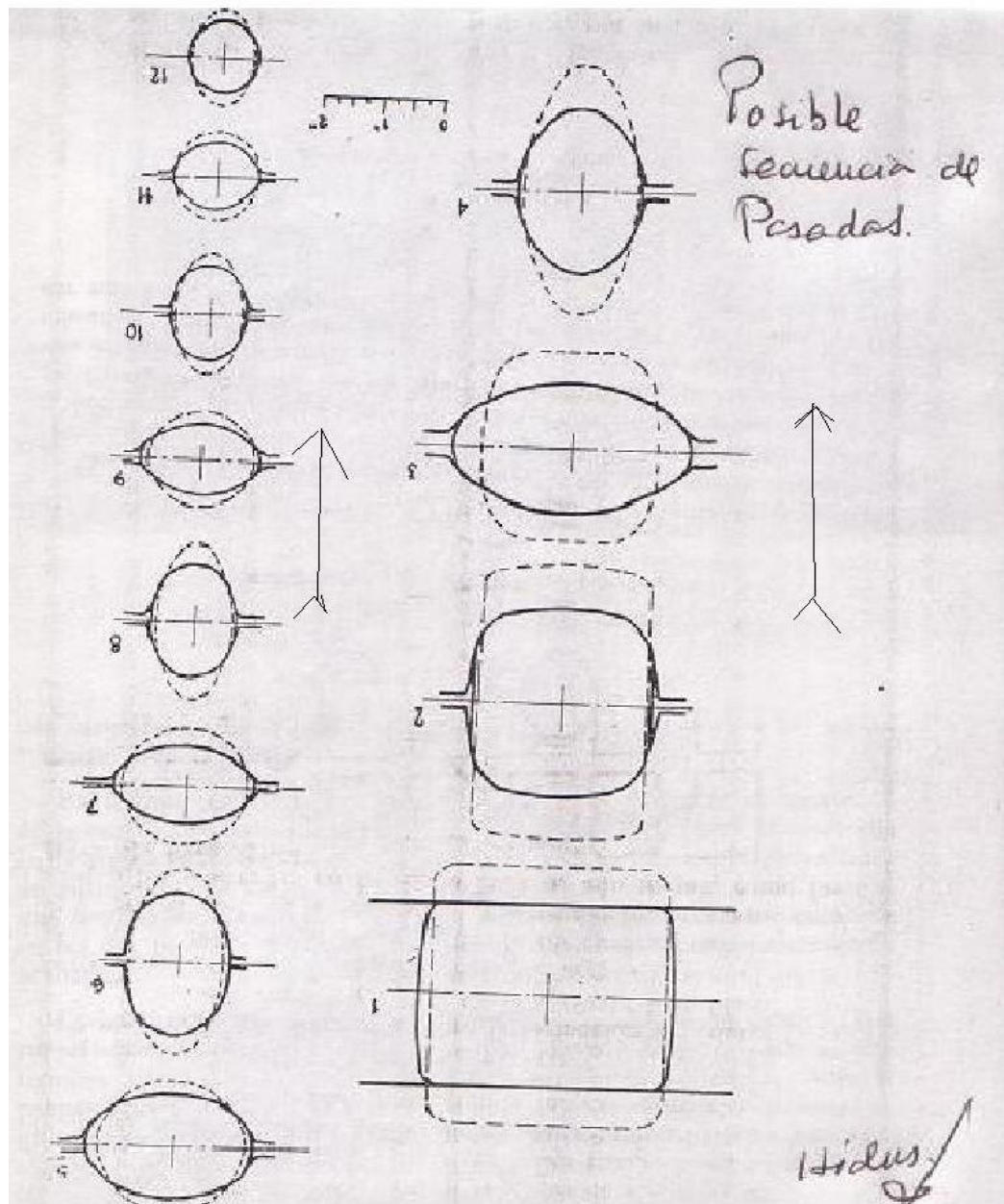
| AWS Classification |       | Current and Polarity <sup>(1)</sup> | Electrode Size |            | Welding Position for Test Assembly <sup>(2)</sup> |                                                                             |                            |                                 |         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

Fuente: Tomada Norma AWS SFA5.1 Tabla 4.2 (2015)

**ANEXO H :** Esquema de deformación de palanquillas de acero de cuadra a redondo.



Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Tren\\_de\\_alambr%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Tren_de_alambr%C3%B3n)