



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**CLASES DE ELECTRODOS UTILIZADOS EN SOLDADURA,  
FABRICADOS Y DISTRIBUIDOS EN GUATEMALA**

**Darlineth Yajaira Alonzo Morales**

Asesorado por el Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera

Guatemala, septiembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CLASES DE ELECTRODOS UTILIZADOS EN SOLDADURA,  
FABRICADOS Y DISTRIBUIDOS EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**DARLINETH YAJAIRA ALONZO MORALES**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ENRIQUE CHICOL CABRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA MECÁNICA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |                                     |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos     |
| VOCAL I    | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II   | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  |
| VOCAL III  | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV   | Br. Narda Lucía Pacay Barrientos    |
| VOCAL V    | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz       |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez     |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |                                      |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos      |
| EXAMINADOR | Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta   |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera   |
| EXAMINADOR | Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez      |

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **CLASES DE ELECTRODOS UTILIZADOS EN SOLDADURA, FABRICADOS Y DISTRIBUIDOS EN GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 31 de octubre de 2013



**Darlineth Yajaira Alonzo Morales**

Guatemala, 29 de julio de 2014

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Campos:

Cordialmente me dirijo a usted, por medio de la presente le informo que he asesorado el trabajo de graduación titulado **"CLASES DE ELECTRODOS UTILIZADOS EN SOLDADURA, FABRICADOS Y DISTRIBUIDOS EN GUATEMALA"** realizado por la estudiante de Ingeniería Mecánica, DARLINETH YAJAIRA ALONZO MORALES.

El trabajo ha sido revisado y en calidad de asesor, doy mi aprobación al mismo, por lo que considero puede continuarse con el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me suscribo a usted atentamente.

*Ma. Ing. Carlos F. Chicol C.*  
COL No. 6965  
Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera  
Ingeniero Mecánico  
Colegiado No. 6965



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.178.2014

El Coordinador del Área de Materiales, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **CLASES DE ELECTRODOS UTILIZADOS EN SOLDADURA, FABRICADOS Y DISTRIBUIDOS EN GUATEMALA.** De la estudiante **Darlineth Yajaira Alonzo Morales**, recomienda su aprobación.

*"Id y Enseñad a Todos"*



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador del Área de Materiales  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, Agosto de 2014.



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.210.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, con la aprobación del Coordinador del Área de Complementaria del trabajo de graduación **CLASES DE ELECTRODOS UTILIZADOS EN SOLDADURA, FABRICADOS Y DISTRIBUIDOS EN GUATEMALA**. De la estudiante **Darlineth Yajaira Alonzo Morales**, procede a la autorización del mismo.

**"Id y Enseñad a Todos"**

  
MA Ing. Julio César Campos Paiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

MA Ing. Julio César Campos Paiz  
DIRECTOR  
Esc. Ingeniería Mecánica

Guatemala, Septiembre de 2014.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **CLASES DE ELECTRODOS UTILIZADOS EN SOLDADURA, FABRICADOS Y DISTRIBUIDOS EN GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Darlineth Yajaira Alonzo Morales** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, septiembre de 2014

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por ser el motor en mi vida que me impulsa a seguir cada día, por todo su amor e infinita misericordia. Por la sabiduría y fortaleza que me da para cumplir con cada etapa de mi vida.

### **La Virgen María**

Por su infinito amor, protección e intercesión en mi vida.

### **Mi madre**

Nineth Morales Dávila de Alonzo, por su amor incondicional, apoyo y consejos. Por ser madre y padre, por su ejemplo de lucha para sacarnos adelante a mis hermanas y a mí. Por creer y confiar en mí, porque ha sabido cómo enseñarme, guiarme y ayudarme a alcanzar mis metas a lo largo de mi vida. Por enseñarme el amor y respeto a Dios, a la Virgen María y al prójimo. Porque gracias a usted he cumplido con este triunfo.

### **Mis hermanas**

Millerzy y María Fernanda Alonzo Morales, por ser mis mejores amigas porque han estado en cada momento de mi vida, por todas las alegrías, tristezas, risas y lágrimas compartidas. Por su amor y apoyo incondicional.

**Mis abuelos**

Gabriel Morales (q.e.p.d.) por ser fuente de inspiración en mi vida, por enseñarme a ser una persona humilde de corazón, a superar cada momento complicado, a luchar por mis sueños y metas y por amar la vida. A Paula Dávila de Morales por sus bendiciones y enseñarme a amar a Dios y la Virgen María por sobre todo. A ambos por su amor y apoyo incondicional y por los consejos dados.

**Mi tía**

Lucky Morales Dávila de López, por todo su amor y apoyo incondicional, porque ha sido una segunda madre. Por compartir mis alegrías y saber aconsejarme en los momentos difíciles.

**Mi prima**

Judith López Morales, por ser una hermana, porque hemos compartido todo momento en la vida bueno y malo. Por todo su amor y apoyo incondicional.

**Mi familia**

Tíos, tías, primos, primas, sobrinos, por todo su cariño y apoyo especialmente a Erick Noé Morales, Alcides Morales Dávila, Josué López (q.e.p.d.), por haberme enseñado a ser una mejor persona y a Mauricio López, por su apoyo incondicional.

**Julio L. Beltrán Estrada**

Por su cariño y apoyo incondicional, porque me ha aconsejado cuando lo he necesitado. Por ser un gran ser humano, un amigo confiable, por compartir tantas risas y lágrimas, pero sobre todo, carcajadas de alegría.

**Mis amigas de colegio**

Susan Chivichón Dardón y Cynthia Colindres, por ser las mejores amigas, por todo su cariño y apoyo, porque a pesar de la distancia siempre las llevo en mi corazón.

**Danilo Castillo**

Por haber sido un amigo incondicional en uno de los momentos más difíciles en mi vida, por todo su cariño y apoyo. Por haberme enseñado el verdadero significado de la amistad.

**Mis amigos**

A todos aquellos por brindarme su amistad, por todo el cariño, apoyo y consejos dados. Por compartir tantos momentos alegres y difíciles, sobre todo las risas, especialmente a Omar Ordoñez, Alejandro Vega, Antonio González, Julio Luna, Jorge García, Miguel Pirir, Berny Yach, Mario Lau, Diego Cárdenas, Hugo Soto, Edgar Reyes y a Dennis Pérez, Carlos Coronado, Roberto Ramírez, Manuel Echeverría y Edwin Salas, por las aventuras compartidas.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

|  |   |
|--|---|
| <b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b> | Por ser el alma máter que me albergó durante mis años de estudio a nivel superior.  |
| <b>Facultad de Ingeniería</b>                    | Por ser mi segunda casa en mis años de estudio para mi formación como profesional. A todo el personal docente, administrativo y de apoyo que hacen de esta Facultad la mejor.   |
| <b>Escuela de Ingeniería Mecánica</b>            | Por ser la mejor Escuela de la Facultad, a cada uno de los catedráticos por sus enseñanzas transmitidas y conocimientos compartidos, por ser no solamente profesores sino personas ejemplares, especialmente Ing. Milton Fuentes. |
| <b>ECA Electroodos</b>                           | Empresa que me apoyó y ayudó en la realización de este proyecto de graduación, especialmente a Carlos Felipe Reyna e Ing. Rodrigo Pérez Nieves.   |
| <b>INTECAP CG2</b>                               | Por ser fuente de inspiración para la realización de este trabajo. Por el apoyo y enseñanzas recibidas. A todo el personal docente, administrativo y de ayuda.  |

**Mi asesor**

Ing. Carlos Chicol Cabrera, por su apoyo, consejos y asesoría en el desarrollo del presente trabajo de graduación. Por su ayuda brindada.

**Dr. Sc. Ing. Roberto  
Aguilar Rivas**

Por su colaboración y guía brindados, el compartir todas sus enseñanzas y conocimientos, por ser un profesional ejemplar.

**Ing. Carlos Humberto  
Pérez**

Por todo su apoyo y orientación, por todas sus enseñanzas y conocimientos impartidos, pero sobre todo, por instarme y animarme a seguir adelante.

## ÍNDICE GENERAL

|  |       |
|--|-------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....                                       | VII   |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....  | XIII  |
| GLOSARIO .....   | XV    |
| RESUMEN.....   | XXVII |
| OBJETIVOS.....   | XXIX  |
| INTRODUCCIÓN .....   | XXXI  |
| <br>   |       |
| 1. TIPOS ESPECÍFICOS DE SOLDADURA .....                            | 1     |
| 1.1. Tipos de soldadura .....                                      | 1     |
| 1.1.1. Eléctrica.....  | 1     |
| 1.1.2. Oxiacetilénica .....  | 2     |
| 1.1.3. TIG.....  | 3     |
| 1.1.4. MIG/MAG.....  | 4     |
| 1.1.5. Por plasma.....   | 5     |
| 1.1.6. Con arco sumergido bajo polvo fundente .....                | 6     |
| <br>   |       |
| 2. ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LOS ELECTRODOS.....                   | 9     |
| 2.1. ¿Qué es un electrodo? .....                                   | 9     |
| 2.2. Fabricación de los electrodos .....                           | 10    |
| 2.2.1. Proceso general de fabricación de los electrodos ..         | 10    |
| 2.2.2. Electrodos fabricados en Guatemala.....                     | 15    |
| 2.2.3. Electrodos distribuidos en y por Guatemala .....            | 15    |
| 2.2.4. Control de calidad.....                                     | 16    |
| 2.3. Tipos de electrodos fabricados y distribuidos en Guatemala... | 17    |
| 2.3.1. Tipos de electrodos para soldadura convencional..           | 17    |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| 2.3.1.1.   | Celulósicos .....                               | 17 |
| 2.3.1.1.1. | E-6010.....                                     | 17 |
| 2.3.1.1.2. | E-6011.....                                     | 19 |
| 2.3.1.2.   | Rutílicos.....                                  | 20 |
| 2.3.1.2.1. | E-6013 punto café.....                          | 21 |
| 2.3.1.2.2. | E-6013 punto verde.....                         | 22 |
| 2.3.1.2.3. | E-7024.....                                     | 23 |
| 2.3.1.3.   | Bajo hidrógeno .....                            | 25 |
| 2.3.1.3.1. | E-7018.....                                     | 25 |
| 2.3.1.3.2. | E-9018 B3 .....                                 | 26 |
| 2.3.1.3.3. | E-9016 B3 .....                                 | 28 |
| 2.3.2.     | Tipos de electrodos en soldadura especial ..... | 29 |
| 2.3.2.1.   | Aceros inoxidables .....                        | 29 |
| 2.3.2.1.1. | ECA 308-L.....                                  | 30 |
| 2.3.2.1.2. | ECA 309-L.....                                  | 32 |
| 2.3.2.1.3. | ECA 310-L.....                                  | 34 |
| 2.3.2.1.4. | ECA 312-L.....                                  | 36 |
| 2.3.2.1.5. | ECA 316-L.....                                  | 38 |
| 2.3.2.2.   | Hierro fundido.....                             | 40 |
| 2.3.2.2.1. | ECA Nifer 60 .....                              | 40 |
| 2.3.2.2.2. | ECA Nifer 100 .....                             | 42 |
| 2.3.2.2.3. | ECA E-St.....                                   | 44 |
| 2.3.2.3.   | Revestimientos duros .....                      | 46 |
| 2.3.2.3.1. | ECA Mang.....                                   | 46 |
| 2.3.2.3.2. | ECA Niq .....                                   | 47 |
| 2.3.2.3.3. | ECA Build up.....                               | 49 |
| 2.3.2.3.4. | ECA Dur-10.....                                 | 51 |
| 2.3.2.3.5. | ECA Dur-63.....                                 | 53 |
| 2.3.2.3.6. | ECA Chrome .....                                | 54 |

|            |   |  |    |
|------------|---|--|----|
|            | 2.3.2.3.7.  | ECA 400 .....                                | 56 |
|            | 2.3.2.3.8.  | ECA Blind .....                              | 58 |
|            | 2.3.2.4.  | Cobre y aleaciones de cobre .....            | 60 |
|            | 2.3.2.4.1.  | ECA CuAl .....                               | 60 |
|            | 2.3.2.4.2.  | ECA CuSn .....                               | 62 |
|            | 2.3.2.5.  | Electrodos de aluminio .....                 | 63 |
|            | 2.3.2.5.1.  | ECA Al 4043 .....                            | 63 |
|            | 2.3.2.6.  | Electrodos para herramienta.....             | 65 |
|            | 2.3.2.6.1.  | ECA Corte .....                              | 65 |
|            | 2.3.2.7.  | Microalambre sólido para proceso<br>MIG..... | 66 |
|            | 2.3.2.7.1.  | ECA Mig S-6.....                             | 66 |
| 3.         | GENERALIDADES DEL MATERIAL DE APORTE .....                        |  | 69 |
| 3.1.       | Material de aporte en soldadura .....                             |  | 69 |
| 3.2.       | Tipos de material de aporte .....                                 |  | 69 |
| 3.3.       | Aplicaciones del material de aporte.....                          |  | 70 |
| 4.         | APLICACIÓN DE LOS ELECTRODOS.....                                 |  | 71 |
| 4.1.       | Electrodos empleados en acero al carbono.....                     |  | 71 |
| 4.1.1.     | Electrodos E-6010, E-6011 y E-7018 de 1/8" .....                  |  | 71 |
| 4.1.1.1.   | Soldadura en ángulo interior<br>posición vertical ascendente..... |  | 72 |
| 4.1.1.1.1. | Proceso de ejecución ...  |  | 72 |
| 4.1.2.     | Electrodos E-6011 de 3/32" y E-6013 de 1/8" .....                 |  | 73 |
| 4.1.2.1.   | Soldadura en tubo fijo en posición<br>horizontal .....            |  | 74 |
| 4.1.2.1.1. | Proceso de ejecución ...  |  | 74 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| 4.1.2.2.   | Depósito de cordones angostos en posición plana horizontal .....   | 76 |
| 4.1.2.2.1. | Proceso de ejecución ....  | 76 |
| 4.1.2.3.   | Depósito de cordones anchos en posición plana horizontal .....     | 78 |
| 4.1.2.3.1. | Proceso de ejecución ....  | 78 |
| 4.2.       | Electrodos empleados en acero inoxidable .....                     | 79 |
| 4.2.1.     | Electrodo E308-L 3/32" y 1/8" .....                                | 79 |
| 4.2.1.1.   | Soldadura a tope en I en posición plana horizontal .....           | 80 |
| 4.2.1.1.1. | Proceso de ejecución ....  | 80 |
| 4.2.1.2.   | Soldadura en ángulo interior en posición plana horizontal .....    | 83 |
| 4.2.1.2.1. | Proceso de ejecución ....  | 83 |
| 4.3.       | Electrodos empleados en hierro fundido .....                       | 86 |
| 4.3.1.     | Electrodo ECA Nifer 60 de 1/8" .....                               | 86 |
| 4.3.1.1.   | Soldadura a tope con bisel en V en posición plana horizontal ..... | 86 |
| 4.3.1.1.1. | Proceso de ejecución ....  | 86 |
| 4.4.       | Electrodos empleados en aluminio.....                              | 90 |
| 4.4.1.     | Electrodo ECA Al 4043 de 1/8" .....                                | 90 |
| 4.4.1.1.   | Depósito de cordón de soldadura en posición plana vertical .....   | 91 |
| 4.4.1.1.1. | Proceso de ejecución ....  | 91 |
| 4.4.1.2.   | Soldadura a tope en I en posición plana horizontal .....           | 92 |
| 4.4.1.2.1. | Proceso de ejecución ....  | 92 |
| 4.4.1.3.   | Soldadura en ángulo interior en posición plana horizontal .....    | 94 |

|                      |   |     |
|----------------------|---|-----|
| 4.4.1.3.1.           | Proceso de ejecución ...                          | 94  |
| 4.5.                 | Empleo del microalambre en aceros al carbono..... | 95  |
| 4.5.1.               | Microalambre ECA Mig S-6 .....                    | 95  |
| CONCLUSIONES .....   |   | 99  |
| RECOMENDACIONES..... |   | 101 |
| BIBLIOGRAFÍA.....    |   | 103 |
| ANEXOS.....          |   | 105 |



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.  | Soldadura por proceso eléctrico.....  | 2  |
| 2.  | Soldadura por proceso oxiacetilénico.....   | 3  |
| 3.  | Soldadura por proceso TIG .....   | 4  |
| 4.  | Soldadura por proceso MIG/MAG .....   | 5  |
| 5.  | Soldadura por plasma .....  | 6  |
| 6.  | Soldadura con arco sumergido bajo polvo fundente .....                              | 7  |
| 7.  | Alambrón utilizado para la fabricación de electrodos .....                          | 10 |
| 8.  | El alambrón pasa a la máquina trefiladora .....                                     | 11 |
| 9.  | Máquina trefiladora.....  | 11 |
| 10. | Electrodo cortado a su tamaño ideal.....  | 12 |
| 11. | Electrodos ya con su revestimiento.....   | 13 |
| 12. | Revisión de electrodos.....   | 13 |
| 13. | Horneado de electrodos .....  | 14 |
| 14. | Empacado de electrodos.....   | 14 |
| 15. | Región centroamericana de distribución .....  | 15 |
| 16. | Proceso de control de calidad.....  | 16 |
| 17. | Microalambre para el proceso de soldadura MIG/MAG .....                             | 68 |
| 18. | Soldadura en ángulo interior posición vertical ascendente .....                     | 73 |
| 19. | Soldadura en tubo fijo en posición horizontal, cordón de penetración o de raíz..... | 75 |
| 20. | Soldadura en tubo fijo en posición horizontal, cordón de presentación.....          | 76 |
| 21. | Depósito de cordones angostos en posición plana horizontal.....                     | 77 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 22. | Depósito de cordones anchos en posición plana horizontal .....   | 79 |
| 23. | Soldadura a tope en I en posición plana horizontal, cordón de penetración o de raíz .....                        | 81 |
| 24. | Soldadura a tope en I en posición plana horizontal, cordón de presentación aun con la escoria .....              | 82 |
| 25. | Soldadura a tope en I en posición plana horizontal, cordón de presentación sin cepillar .....                    | 82 |
| 26. | Soldadura a tope en I en posición plana horizontal, cordón de presentación cepillado .....                       | 83 |
| 27. | Soldadura en ángulo interior en posición plana horizontal.....   | 85 |
| 28. | Cepillos cerdas de bronce y electrodo para acero inoxidable.....   | 85 |
| 29. | Soldadura a tope con bisel en V en posición plana horizontal, pieza punteada, carcaza de compresor.....          | 88 |
| 30. | Soldadura a tope con bisel en V en posición plana horizontal, cordones de raíz .....                             | 88 |
| 31. | Soldadura a tope con bisel en V en posición plana horizontal, cordones de presentación.....                      | 89 |
| 32. | Soldadura a tope con bisel en V en posición plana horizontal, cordones de presentación, cilindro de camión ..... | 89 |
| 33. | Platinas de aluminio.....  | 90 |
| 34. | Depósito de cordón de soldadura en posición plana vertical .....   | 92 |
| 35. | Soldadura a tope en I en posición plana horizontal, cordón de raíz y presentación .....                          | 93 |
| 36. | Soldadura en ángulo interior en posición plana horizontal.....   | 95 |
| 37. | Soldadura a tope con bisel en V en posición vertical ascendente .....  | 96 |
| 38. | Soldadura en ángulo interior posición plana horizontal.....  | 96 |
| 39. | Soldadura en ángulo interior posición vertical ascendente .....  | 97 |

## TABLAS

|        |  |    |
|--------|--|----|
| I.     | Especificaciones de fabricación del electrodo E-6010 .....             | 18 |
| II.    | Composición química del electrodo E-6010.....                          | 18 |
| III.   | Especificaciones de fabricación del electrodo E-6011 .....             | 19 |
| IV.    | Composición química del electrodo E-6011 .....                         | 20 |
| V.     | Especificaciones de fabricación del electrodo E-6013 punto café ...    | 21 |
| VI.    | Composición química del electrodo E-6013 punto café .....              | 22 |
| VII.   | Especificaciones de fabricación del electrodo E-6013 punto verde ..... | 22 |
| VIII.  | Composición química del electrodo E-6013 punto verde .....             | 23 |
| IX.    | Especificaciones de fabricación del electrodo E-7024 .....             | 24 |
| X.     | Composición química del electrodo E-7024.....                          | 24 |
| XI.    | Especificaciones de fabricación del electrodo E-7018 .....             | 25 |
| XII.   | Composición química del electrodo E-7018.....                          | 26 |
| XIII.  | Especificaciones de fabricación del electrodo E-9018 B3.....           | 27 |
| XIV.   | Composición química del electrodo E-9018 B3 .....                      | 27 |
| XV.    | Especificaciones de fabricación del electrodo E-9016 B3.....           | 28 |
| XVI.   | Composición química del electrodo E-9016 B3 .....                      | 29 |
| XVII.  | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA 308-L .....          | 30 |
| XVIII. | Composición química del electrodo ECA 308-L.....                       | 31 |
| XIX.   | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA 309-L .....          | 32 |
| XX.    | Composición química del electrodo ECA 309-L.....                       | 33 |
| XXI.   | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA 310-L .....          | 34 |
| XXII.  | Composición química del electrodo ECA 310-L.....                       | 35 |
| XXIII. | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA 312-L .....          | 36 |
| XXIV.  | Composición química del electrodo ECA 312-L.....                       | 37 |
| XXV.   | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA 316-L .....          | 38 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| XXVI.    | Composición química del electrodo ECA 316-L .....                 | 39 |
| XXVII.   | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Nifer 60 .....  | 40 |
| XXVIII.  | Composición química del electrodo ECA Nifer 60 .....              | 41 |
| XXIX.    | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Nifer 100 ..... | 42 |
| XXX.     | Composición química del electrodo ECA Nifer 100 .....             | 43 |
| XXXI.    | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA E-St.....       | 44 |
| XXXII.   | Composición química del electrodo ECA E-St .....                  | 45 |
| XXXIII.  | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Mang.....       | 46 |
| XXXIV.   | Composición química del electrodo ECA Mang .....                  | 47 |
| XXXV.    | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Niq .....       | 48 |
| XXXVI.   | Composición química del electrodo ECA Niq.....                    | 48 |
| XXXVII.  | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Build up.....   | 49 |
| XXXVIII. | Composición química del electrodo ECA Build up .....              | 50 |
| XXXIX.   | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Dur-10.....     | 51 |
| XL.      | Composición química del electrodo ECA Dur-10 .....                | 52 |
| XLI.     | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Dur-63.....     | 53 |
| XLII.    | Composición química del electrodo ECA Dur-63 .....                | 53 |
| XLIII.   | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Chrome .....    | 55 |
| XLIV.    | Composición química del electrodo ECA Chrome.....                 | 55 |
| XLV.     | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA 400.....        | 57 |
| XLVI.    | Composición química del electrodo ECA 400 .....                   | 57 |
| XLVII.   | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Blind.....      | 58 |
| XLVIII.  | Composición química del electrodo ECA Blind .....                 | 59 |
| XLIX.    | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA CuAl .....      | 60 |
| L.       | Composición química del electrodo ECA CuAl.....                   | 61 |
| LI.      | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA CuSn.....       | 62 |
| LII.     | Composición química del electrodo ECA CuSn .....                  | 63 |
| LIII.    | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Al 4043.....    | 64 |
| LIV.     | Composición química del electrodo ECA Al 4043 .....               | 64 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| LV.   | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Corte .....   | 65 |
| LVI.  | Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Mig S-6 ..... | 67 |
| LVII. | Composición química del electrodo ECA Mig S-6.....              | 68 |



## LISTA DE SÍMBOLOS

| <b>Símbolo</b>        | <b>Significado</b>                        |
|-----------------------|---|
| <b>AlSi</b>           | Aleación de aluminio y silicio            |
| <b>CuAl</b>           | Aleación de cobre y aluminio              |
| <b>CuSn</b>           | Aleación de cobre y estaño llamada bronce |
| <b>Al</b>             | Aluminio                                  |
| <b>A</b>              | Amperios                                  |
| <b>S</b>              | Azufre                                    |
| <b>Be</b>             | Berilio                                   |
| <b>C</b>              | Carbono                                   |
| <b>Cu</b>             | Cobre                                     |
| <b>Cb</b>             | Columbio                                  |
| <b>AC</b>             | Corriente alterna                         |
| <b>CDPD</b>           | Corriente directa polaridad directa       |
| <b>CDPI</b>           | Corriente directa polaridad invertida     |
| <b>Cr</b>             | Cromo                                     |
| <b>CO<sub>2</sub></b> | Dióxido de carbono                        |
| <b>Rb</b>             | Dureza rockwell b                         |
| <b>Rc</b>             | Dureza rockwell c                         |
| <b>Mang</b>           | Electrodos al manganeso                   |
| <b>Blind</b>          | Electrodos para blindaje                  |
| <b>Buil up</b>        | Electrodos para reconstrucción            |
| <b>Niq</b>            | Electrodos al níquel                      |
| <b>Nifer</b>          | Electrodos al níquel y hierro             |
| <b>Sn</b>             | Estaño                                    |

|                          |                                 |
|--------------------------|---------------------------------|
| <b>P</b>                 | Fósforo                         |
| <b>°C</b>                | Grados centígrados.             |
| <b>°</b>                 | Grados sexagesimales            |
| <b>Fe</b>                | Hierro                          |
| <b>Inox</b>              | Inoxidable                      |
| <b>Psi</b>               | Lb/plg <sup>2</sup>             |
| <b>Mg</b>                | Magnesio                        |
| <b>Mn</b>                | Manganeso                       |
| <b>Máx.</b>              | Máximo                          |
| <b>Mpa</b>               | Mega pascales.                  |
| <b>mm</b>                | Milímetros                      |
| <b>Mo</b>                | Molibdeno                       |
| <b>Joule</b>             | Newton·metro                    |
| <b>Ni</b>                | Níquel                          |
| <b>O<sub>2</sub></b>     | Oxígeno                         |
| <b>ft<sup>3</sup>/hr</b> | Pies cúbicos sobre hora         |
| <b>Pb</b>                | Plomo                           |
| <b>%</b>                 | Porcentaje                      |
| <b>“</b>                 | Pulgada                         |
| <b>rpm</b>               | Revoluciones por minuto         |
| <b>Si</b>                | Silicio                         |
| <b>St</b>                | <i>Steel</i> , en español acero |
| <b>Ti</b>                | Titanio                         |
| <b>W</b>                 | Tungsteno                       |
| <b>V</b>                 | Vanadio                         |
| <b>v</b>                 | Voltios                         |
| <b>Zn</b>                | Zinc                            |

## GLOSARIO

|                      |   |
|----------------------|---|
| <b>Acero dulce</b>   | Clase de acero al bajo carbono que contiene hasta 0,3 % de carbono.   |
| <b>Alambrón</b>      | Producto de sección transversal circular que se obtiene por laminación en caliente, se produce en rollos y es trefilado en frío en distintos diámetros para fabricar distintos productos. |
| <b>Aleación</b>      | Mezcla homogénea, de materiales para obtener diferentes compuestos de dos o más elementos, uno de los cuales al menos deber ser un metal.   |
| <b>Alúmina</b>       | Óxido de aluminio que se halla en la naturaleza algunas veces puro y cristalizado.  |
| <b>Antimonio</b>     | Elemento químico de número atómico 51(Sb), semimetal se encuentra en la corteza terrestre como sulfuro. Es duro, quebradizo y de color blanco azulado.                                    |
| <b>Arco voltaico</b> | Masa gaseosa que se establece entre la punta de un electrodo y la pieza de trabajo.   |
| <b>Asbesto</b>       | Mineral de composición y características semejante a los del amianto, pero de fibras duras y rígidas.   |

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>ASME</b>      | American Society of Mechanical Engineers. Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, es una asociación de profesionales, que ha generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos.                                   |
| <b>ASTM</b>      | American Society for Testing and Materials. Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, organismo de normalización en las industrias.   |
| <b>Austenita</b> | Acero gamma ( $\gamma$ ) con forma de ordenamiento cúbica centrada en las caras (FCC), de los átomos de hierro y carbono a temperaturas que oscilan entre los 900 a 1400 °C, es dúctil, blanda y tenaz. Solubilidad característica de los aceros. |
| <b>AWS</b>       | American Welding Society. Sociedad Americana de Soldadura, encargada de normar y estandarizar los métodos de soldadura y aleaciones del material de aporte.   |
| <b>Bisel</b>     | Corte oblicuo en el borde o en la extremidad de una lámina o plancha.   |
| <b>Bronce</b>    | Aleación de cobre fundamentalmente con el estaño, a veces con adición de zinc o algún otro elemento. Es de color amarillento rojizo y muy tenaz y sonoro.   |

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>Cal</b>           | Óxido de calcio, sustancia alcalina de color blanco o blanco grisáceo que al contacto del agua, se hidrata o se apaga, con desprendimiento de calor y mezclada con arena forma la argamasa o mortero.                                      |
| <b>Carburo</b>       | Combinación del carbono con un radical simple.   |
| <b>Celulósico</b>    | Revestimiento de los electrodos que contienen más del 12 % de materia orgánica combustible.  |
| <b>Cementación</b>   | Tratamiento termoquímico que se aplica en piezas de acero. El proceso aporta carbono a la superficie mediante difusión, que se impregna modificando su composición que tiene por objetivo endurecer la superficie sin modificar el núcleo. |
| <b>Chisporroteo</b>  | Dicho del fuego o de un cuerpo encendido cuando despide chispas reiteradamente.  |
| <b>Cobre</b>         | Elemento químico de número atómico 29 (Cu), abundante en la corteza terrestre, se encuentra en forma de sulfuro, de color rojo pardo, brillante, maleable y excelente conductor del calor y electricidad.                                  |
| <b>Comercializar</b> | Dar a un producto condiciones y vías de distribución para su venta.  |

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Cordón de soldadura</b>     | Depósito de metal fundido resultado de la progresión longitudinal de un proceso de soldadura en una junta.  |
| <b>Corriente alterna</b>       | Corriente en la cual los electrones invierten su dirección constantemente a intervalos periódicos, llamados ciclos, utilizada para alimentar especialmente, las líneas de conducción eléctrica para uso industrial y residencial. |
| <b>Corriente directa</b>       | Manifestación especial de la corriente eléctrica, la cual se obtiene rectificando y filtrando la corriente alterna.   |
| <b>Corrosión</b>               | Destrucción paulatina de los metales por acción de agentes externos, principalmente del O <sub>2</sub> , lejías y ácidos.   |
| <b>Corrosión intergranular</b> | Fenómeno corrosivo que sucede en los aceros inoxidable, es la descarburación del acero debido a un fenómeno difusivo del carbono hacia los bordes de grano, que hace que le acero pierda sus propiedades anticorrosivas.          |
| <b>Desgaste</b>                | Pérdida de masa en la superficie de un material sólido por la interacción mecánica con otro cuerpo en contacto.   |

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| <b>Escoria</b>              | Capa protectora que deja el revestimiento de un electrodo después de una soldadura, dependiendo del proceso de soldadura utilizado.  |
| <b>Esfuerzo de cedencia</b> | Parte del diagrama esfuerzo-deformación unitaria donde hay un incremento de la deformación que indica que el material se ha alargado en forma plástica y permanente.                           |
| <b>Estabilizador</b>        | Elemento químico utilizado para normalizar termodinámicamente algún material.  |
| <b>Estampado</b>            | Proceso de fabricación por el cual se somete un metal a una carga de compresión entre dos moldes.  |
| <b>Extrusión</b>            | Proceso de fabricación utilizado para crear objetos con sección transversal deseada, el material es empujado o extraído a través de un troquel con sección transversal definida.               |
| <b>Ferrita</b>              | Hierro alfa ( $\alpha$ ), cristaliza en el sistema cúbico centrado en el cuerpo (BCC), tiene propiedades magnéticas. Es la estructura original del hierro puro y característica de los aceros. |
| <b>Flux</b>                 | Mezcla de materiales en forma de polvo para crear el revestimiento de los electrodos y permitir la fluidez del metal durante la soldadura.   |

|                   |  |
|-------------------|--|
| <b>Forja</b>      | Proceso de conformado por deformación plástica que puede realizarse en caliente o en frío y en el que la deformación del material se produce por la aplicación de fuerzas de compresión.   |
| <b>Fundente</b>   | Producto químico usado en procesos de soldadura, se utiliza para aislar del contacto con aire, disolver y eliminar los óxidos que pueden formarse y favorecer la humedad del material base por el metal de aporte fundido.                                 |
| <b>Gas activo</b> | Gas que reacciona químicamente con el material base a ser soldado.   |
| <b>Gas inerte</b> | Gas que no reacciona químicamente con el material base a ser soldado.  |
| <b>Granete</b>    | Herramienta manual que tiene forma de puntero de acero templado afilado en un extremo con una punta de 60° aproximadamente, que se utiliza para marcar el lugar exacto que se ha trazado previamente en una pieza, se utiliza con la ayuda de un martillo. |
| <b>Hidrógeno</b>  | Elemento químico de número atómico 1 ( $H_2$ ), es el más abundante en la corteza terrestre y el universo, es un gas inflamable, incoloro e inodoro, es el más ligero de todos y combinado con el oxígeno forma el agua.                                   |

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Hombro de soldadura</b> | Preparación de una pieza en soldadura, es la altura que debe dejarse cuando se realiza un bisel.   |
| <b>Ionización</b>          | Fenómeno químico o físico mediante el cual se producen iones, estos son átomos o moléculas cargadas eléctricamente debido al exceso o falta de electrones respecto a un átomo o molécula neutra. |
| <b>Junta</b>               | Unión de dos materiales por medio del cordón de soldadura, ya sea con material o sin material de aporte.   |
| <b>Laminación</b>          | Proceso industrial, por medio del cual se reduce la sección de un material obteniéndose mayor longitud a volumen constante, con la aplicación de presión.  |
| <b>Latón</b>               | Aleación de cobre y zinc de color amarillo pálido y susceptible, de gran brillo y pulimento.   |
| <b>Límite elástico</b>     | Punto del material donde tiene cierta cantidad de deformación plástica, por lo que no regresa a su forma original después de liberar la carga aplicada.  |
| <b>Magnesio</b>            | Elemento químico de número atómico 12 (Mg), abundante en la corteza terrestre, es maleable y poco tenaz.   |
| <b>Maleable</b>            | Propiedad de los materiales blandos de deformarse sin romperse.  |

|                        |  |
|------------------------|--|
| <b>Maquinar</b>        | Proceso de formado mecánico en frío mediante la aplicación de corte superficial y profundo, por medio de máquinas herramientas sobre diferentes materiales.  |
| <b>Martensita</b>      | Fase cristalina tetragonal de cuerpo centrado, en aleaciones ferrosas, la cual se genera a partir de una transformación de la austenita por una rápida velocidad de enfriamiento en el acero.          |
| <b>Microestructura</b> | Estructura micrográfica detallada de un sólido, en especial de un metal.   |
| <b>Niobio</b>          | Elemento químico de número atómico 41 (Nb), metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra en algunos minerales, es de color gris brillante, blando, dúctil, maleable y resistente a la corrosión. |
| <b>Portaelectrodo</b>  | Instrumento encargado de sostener al electrodo durante el proceso de soldadura con el fin de controlar el arco.  |
| <b>Precipitación</b>   | Sólido que se produce en una disolución, por efecto de cristalización o de una reacción química cuando esta ha sido sobresaturada.   |

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| <b>Rebaba</b>                 | Porción de materia sobrante que sobresale irregularmente en los bordes o en la superficie de una pieza.  |
| <b>Recocido</b>               | Tratamiento térmico cuya finalidad es el ablandamiento y la recuperación de la estructura o eliminación de tensiones internas en los metales.  |
| <b>Resistencia al impacto</b> | Capacidad del material a absorber golpes y energía sin romperse.   |
| <b>Revestimiento</b>          | Conjunto de productos químicos que envuelve al electrodo, cuyo objetivo es proteger al cordón de soldadura depositado del medio ambiente.  |
| <b>Rutílico</b>               | Revestimiento de los electrodos que poseen un alto contenido de óxido de titanio.  |
| <b>Socavación</b>             | Tipo de defecto en la soldadura que se presenta en la orilla y a lo largo del cordón de soldadura, porque no se llena convenientemente por exceso de amperaje o movimiento inadecuado del electrodo. |
| <b>Soldadura</b>              | Proceso de unión de dos metales, con fusión parcial de las piezas con o sin aporte de material de relleno, que al enfriarse se convierte en una unión fija.  |

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Temple</b>              | Tratamiento térmico, que consiste en el rápido enfriamiento de la pieza para obtener dureza en el acero.   |
| <b>Titanio</b>             | Elemento químico de número atómico 22 (Ti), abundante en la corteza terrestre, es de color gris oscuro, de gran dureza, resistente a la corrosión.   |
| <b>Tratamiento térmico</b> | Conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento, bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo de permanencia, de los metales en estado sólido con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas.              |
| <b>Trefilado</b>           | Operación de conformado en frío que consiste en la reducción de sección de una varilla haciéndolo pasar a través de un orificio cónico, disminuyendo su diámetro y aumentando considerablemente su longitud.               |
| <b>Trituración</b>         | Proceso para reducir el tamaño de las partículas de una sustancia por la molienda, sin reducirla a polvo.  |
| <b>Tungsteno</b>           | Elemento químico conocido como wolframio de número atómico 74 (W), metal escaso en la corteza terrestre, es de color gris acerado, muy duro y denso, su punto de fusión es el más elevado de todos los elementos químicos. |

**ZAT**

Zona Afectada Térmicamente. Zona adyacente a la soldadura que se calienta en gran medida y se ve afectada por el calor, pero que no se funde. Esta zona sufre cambios metalúrgicos y en sus características mecánicas, pudiendo ser muy propensa a desarrollar grietas o condiciones desfavorables.



## RESUMEN

En las diversas industrias guatemaltecas, los procesos de soldadura son de uso común para realizar trabajos de construcción, restauración, mantenimiento y conservación, tanto para piezas pequeñas como maquinaria pesada.

Los diferentes tipos de soldadura que existen están diseñados, cada uno de ellos, para realizar trabajos específicos. Por ejemplo, la soldadura oxiacetilénica, la TIG, la MIG/MAG y la soldadura por plasma, son utilizadas, generalmente, para realizar tareas en donde se requiere un trabajo fino y delicado y para piezas con espesores pequeños; en cambio, la soldadura eléctrica y soldadura con arco sumergido bajo polvo fundente son ideales para unir metales muy gruesos y donde no se requiere un acabado muy pulcro.

En el presente trabajo se expone la clasificación de todas las clases de electrodos, fabricados y distribuidos en la región guatemalteca y centroamericana, desde el proceso de producción pasando por el control de calidad hasta la comercialización de dicho producto y sus aplicaciones en la industria, con la finalidad de presentar una alternativa como guía, para conocer en qué circunstancias se debe emplearlas diferentes clases de electrodos.

El elemento más importante e indispensable en los procesos de soldadura es el material de aporte, el cual es utilizado para incorporar elementos en la soldadura para obtener mejores resultados, tanto en las propiedades mecánicas como en las características físicas, de los productos terminados.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Dar a conocer las clases de electrodos utilizados en soldadura, fabricados y distribuidos en Guatemala.

### **Específicos**

1. Explicar brevemente los tipos de soldadura más comunes en Guatemala.
2. Determinar qué es un electrodo, los tipos fabricados y distribuidos en Guatemala y sus aplicaciones en la industria.
3. Definir qué es el material de aporte en la soldadura y los tipos existentes en Guatemala
4. Proporcionar una herramienta alternativa para obtener un mejor conocimiento en qué circunstancias se debe utilizar los diversos tipos de electrodos y el material de aporte adecuado.



## INTRODUCCIÓN

La metodología utilizada para la realización de este trabajo se basó en investigación documental, visitas técnicas a la empresa encargada de fabricar y distribuir el electrodo en Guatemala y Centro América, búsqueda de información bibliográfica y electrónica.

La soldadura es un proceso metalúrgico mediante el cual se realiza la unión de dos materiales, generalmente metales, usualmente a través de la fusión, en la cual las piezas son soldadas por fusión parcial de ambas, pudiendo agregar un material de relleno fundido, material de aporte. Los tipos de soldadura más comunes utilizados en Guatemala son: la eléctrica, la oxiacetilénica, la TIG, la MIG/MAG, la soldadura por plasma y la soldadura con arco sumergido bajo polvo fundente, tratados cada uno de estos en el primer capítulo.

En el segundo capítulo se explica detalladamente la fabricación y distribución de los electrodos, dando a conocer sus especificaciones, propiedades mecánicas, su composición química, el procedimiento adecuado para soldarlos y sus aplicaciones en la industria.

En el tercer capítulo se define el material de aporte que se aplica en la soldadura para la obtención de una unión fuerte y resistente entre un material y otro. No todos los procesos de soldadura llevan material de aporte, solamente los que lo requieran.

En el trabajo se explica el proceso por el que toda clase de electrodo debe pasar para alcanzar los estándares de requerimientos, para cumplir con las necesidades que las empresas requieran. Para esto los electrodos y el material de aporte debe cumplir con normas establecidas como la AWS, la ASTM y la ASME.

# **1. TIPOS ESPECÍFICOS DE SOLDADURA**

## **1.1. Tipos de soldadura**

Los tipos de soldadura varían dependiendo de la fuente de energía utilizada para generar el calor que permite la fusión, en este trabajo se presentan la soldadura eléctrica, oxiacetilénica, TIG, MIG/MAG, por plasma y con arco sumergido bajo polvo fundente.

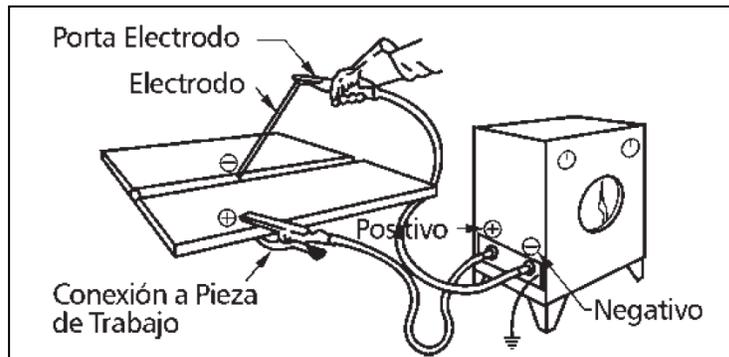
Para realizar cualquier trabajo, utilizando algún proceso de soldadura se debe tener muy presente las normas de seguridad personal e industrial y estas deben ser aplicadas muy estrictamente para evitar cualquier riesgo hacia el personal de trabajo y personas ajenas que les rodeen.

### **1.1.1. Eléctrica**

La soldadura eléctrica también, llamada soldadura al arco con electrodo revestido, es un proceso en el cual el calor del arco voltaico, que se establece entre la punta de un electrodo revestido y la pieza de trabajo a soldar, va formando un cordón de soldadura depositado por el electrodo, el cual se va consumiendo por la acción del calor, este tipo de soldadura alcanza entre 3500 y 4000 grados centígrados.

Es un proceso de soldadura muy económico, el cual puede ser aplicado en aceros al carbono, de baja y alta aleación, a partir de 3 milímetros de espesor.

Figura 1. **Soldadura por proceso eléctrico**



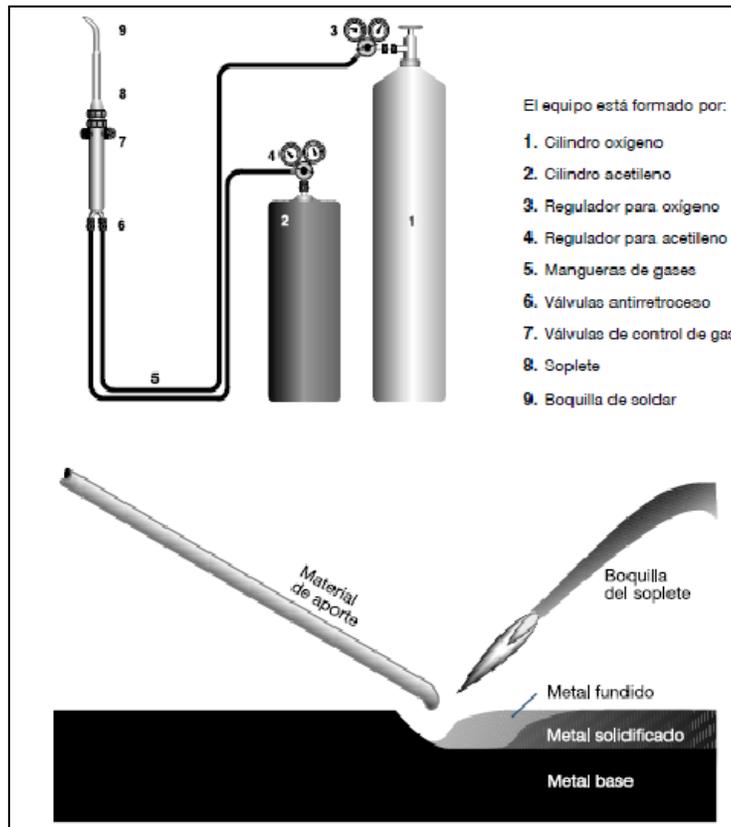
Fuente: Oerlikon. Manual de soldadura y catálogo de productos. p.26.

### 1.1.2. **Oxiacetilénica**

La soldadura oxiacetilénica, también llamada soldadura autógena es un proceso que utiliza los gases oxígeno y acetileno en combinación, los cuales al someterse a combustión alcanzan una temperatura de hasta 3200 grados centígrados.

Es un proceso de soldadura que tiene aplicación en materiales metálicos, como los aceros al carbono, de baja aleación; en materiales ligeros como aluminio, magnesio, cobre, bronce, latón, antimonio; a partir de 5 milímetros de espesor. Es muy utilizada para el corte de metales ferrosos desde piezas metálicas muy delgadas hasta piezas de gran espesor.

Figura 2. Soldadura por proceso oxiacetilénico



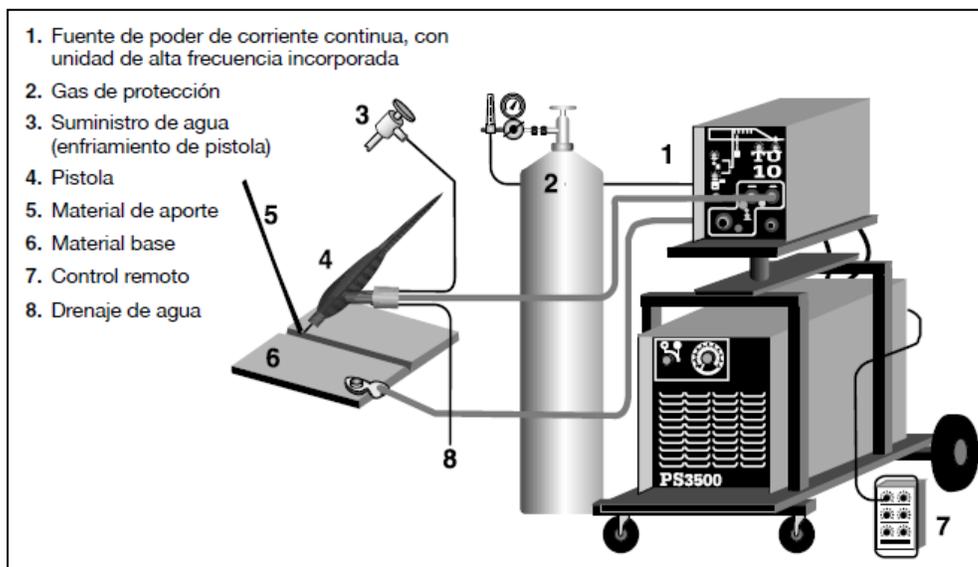
Fuente: Indura. Manual de sistemas y materiales de soldadura. p. 129.

### 1.1.3. TIG

La soldadura con electrodo de tungsteno y gas argón, TIG es un proceso en el cual se establece un arco entre la punta del electrodo de tungsteno, este no es consumible y la pieza a soldar. Este tipo de soldadura utiliza gas argón, helio y una mezcla de ellos para proteger el baño de fusión y la punta del electrodo, estos gases son inertes, lo que significa que no provocan ninguna reacción química con el metal base. El material de aporte se suministra desnudo y el proceso alberga los 3410 grados centígrados.

Este tipo de proceso de soldadura es aplicado en materiales metálicos como aceros al carbono, de baja y mediana aleación, materiales no ferrosos, en aluminio, magnesio, a partir de 0,5 hasta 8 milímetros de espesor. También es altamente utilizable en aceros inoxidable y requiere de alta pericia del operario.

Figura 3. Soldadura por proceso TIG



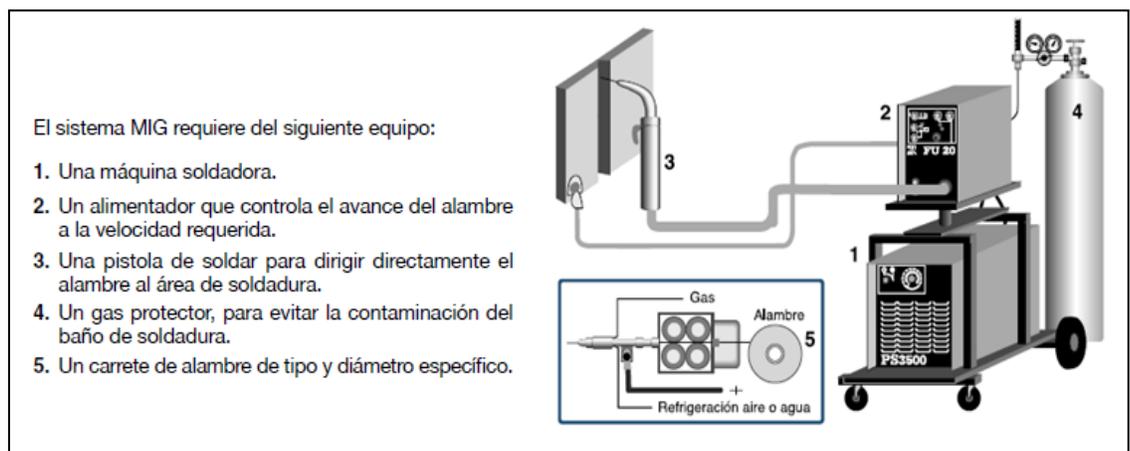
Fuente: Indura. Manual de sistemas y materiales de soldadura. p. 122.

#### 1.1.4. MIG/MAG

La soldadura de alambre con electrodo continuo en atmósfera de gas protector, MIG/MAG es un proceso en el cual el arco se establece entre la punta del electrodo de hilo continuo y la pieza de trabajo a soldar, se caracteriza por ser un proceso muy rápido debido a que permite depositar el material hasta ocho veces más rápido que los otros procesos. La zona de soldadura es protegida por una atmósfera de gas activo, cuando se trabaja con MAG y gas inerte cuando es MIG.

En el proceso MIG se utilizan los gases argón y helio, es aplicado en materiales como el aluminio y sus aleaciones y el cobre. En el proceso MAG se utiliza el gas CO<sup>2</sup> y es aplicado a materiales metálicos como acero al carbono y de baja aleación. Una mezcla de estos gases es utilizado cuando se sueldan aceros inoxidables. El aporte de temperatura es alto, por lo que se deben tomar las precauciones necesarias, específicamente en el caso de los aceros inoxidables.

Figura 4. Soldadura por proceso MIG/MAG



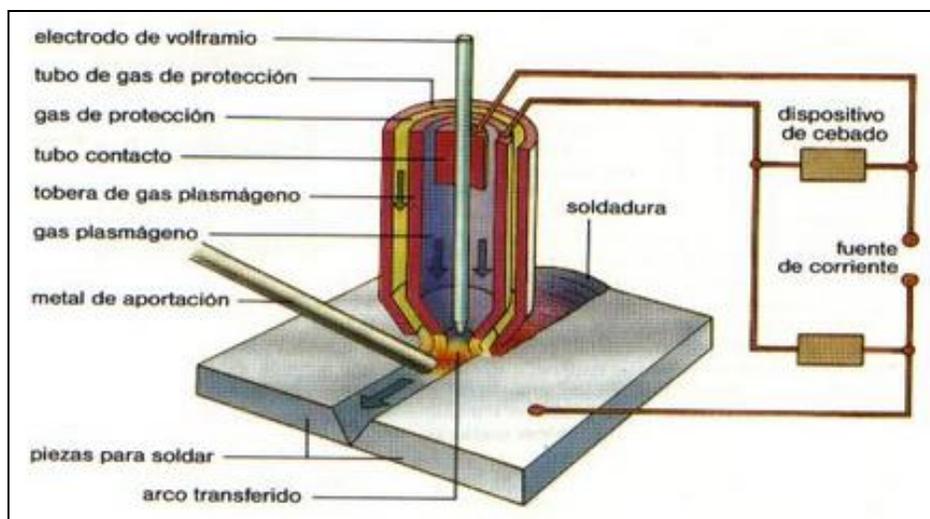
Fuente: Indura. Manual de sistemas y materiales de soldadura. p. 83.

### 1.1.5. Por plasma

La soldadura por plasma es un proceso en el cual una fuente de energía calorífica es utilizada a través de un chorro de plasma, este se establece cuando se hace pasar un gas sobre un arco eléctrico que lo calienta hasta llegar al estado de plasma. Para este proceso es, generalmente, utilizada la corriente continua, la cual logra disociar las moléculas, provocando la separación de los electrones de los átomos, ocasionando que el gas se ionice.

Los gases que se utilizan este tipo de soldadura son el argón, el helio y el nitrógeno en forma pura o mezcla de ellos. Este tipo de soldadura alcanza temperaturas desde 6000°C, 10 000°C, hasta 30 000°C y se aplica en materiales desde 0,1 milímetros de espesor.

Figura 5. **Soldadura por plasma**



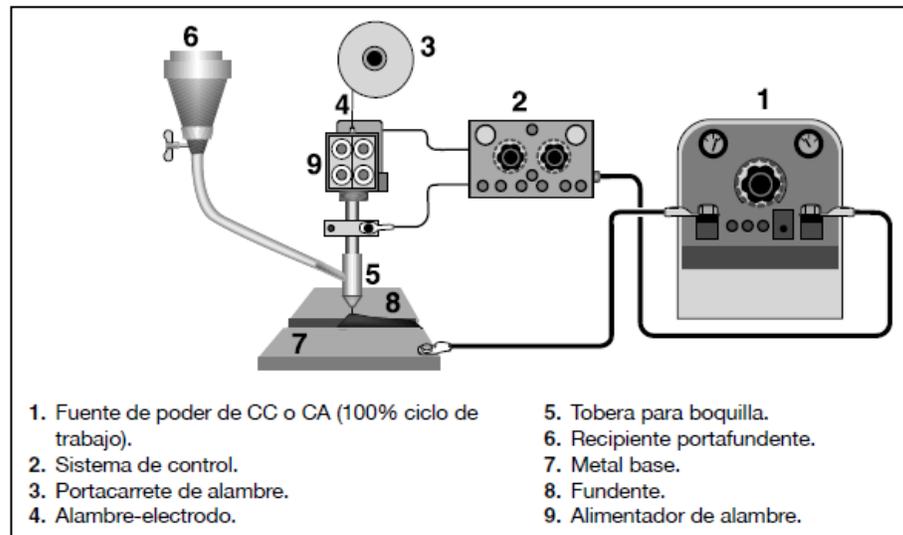
Fuente: <http://www.iesbajoaragon.com/~tecnologia/Meca/SOLDASER.htm>. Consulta: marzo de 2014.

### 1.1.6. **Con arco sumergido bajo polvo fundente**

Este tipo de soldadura es un proceso en el cual el arco se establece entre la punta de un alambre o electrodo y el metal base a soldar, se caracteriza porque durante todo el recorrido de la soldadura, el arco permanece sumergido completamente en un fundente pulverizado, en forma de arena, lo cual hace que los rayos de luz de alta intensidad que emanan en la soldadura no sean visibles.

Este tipo de soldadura es ideal para aplicarlo en producciones masivas de soldadura, especialmente cuando se sueldan materiales muy gruesos.

Figura 6. **Soldadura con arco sumergido bajo polvo fundente**



Fuente: Indura. Manual de sistemas y materiales de soldadura. p. 111.



## **2. ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LOS ELECTRODOS**

### **2.1. ¿Qué es un electrodo?**

El electrodo, en el proceso de soldadura, es una varilla metálica, que dependiendo del tipo de soldadura a utilizar en un proceso, está recubierta por una combinación de materiales fundentes, el cual se emplea como polo del circuito y en su extremo se genera el arco eléctrico que va formando el cordón de soldadura. Las principales funciones del recubrimiento son la eléctrica, cuya finalidad es conseguir una buena ionización, la física para facilitar una buena y adecuada formación del cordón de soldadura y la metalúrgica para proteger el proceso de la oxidación.

Para la elección del electrodo adecuado es necesario analizar las condiciones de trabajo, determinar el tipo y diámetro de electrodo que más se adapte a esas condiciones. Los factores que el operador debe considerar para dicho análisis son la naturaleza del metal base, dimensiones de la sección a soldar, tipo de corriente que entrega la máquina soldadora, la posición o posiciones a soldar, tipo de unión y facilidad de fijación de la pieza, si el depósito de soldadura debe tener características como la resistencia a la corrosión, gran resistencia a la tracción o compresión, ductilidad y que la soldadura cumpla con las condiciones de alguna norma o especificaciones especiales. Complementariamente deben considerarse las posiciones del proceso, plana horizontal, plana vertical, vertical ascendente, vertical con eje de soldadura horizontal llamada cornisa, sobre cabeza, en ángulo interior.

## 2.2. Fabricación de los electrodos

La fabricación de electrodos es un proceso muy complejo, por lo que es realizado por empresas especializadas siguiendo normas establecidas.

### 2.2.1. Proceso general de fabricación de los electrodos

Para el proceso de fabricación de electrodos se utiliza un alambión de metal fino como materia prima, generalmente es de acero al bajo carbono y de acero inoxidable, el cual se convertirá en el núcleo del electrodo, este alambión pasa por una máquina especial que lo refina hasta convertirlo en alambre trefilado de varios calibres, que varía dependiendo a qué tipo de soldadura sea destinado y según las especificaciones que el producto requiera, finalmente se procede a cortar el alambre trefilado, en un tamaño ideal para el electrodo.<sup>1</sup>

Figura 7. Alambión utilizado para la fabricación de electrodos



Fuente: ECA Electrodo.

---

<sup>1</sup> SOLARES SALAZAR, Jonatan Benjamín. *Continuidad del proceso de trefilado empleando alambión de acero SAE 1008 mediante el uso de monobloques individuales operados en serie.* p. 126.

Figura 8. **El alambión pasa a la máquina trefiladora**



Fuente: ECA Electrodo.

Figura 9. **Máquina trefiladora**



Fuente: ECA Electrodo.

Figura 10. **Electrodo cortado a su tamaño ideal**



Fuente: ECA Electroodos.

Para los electrodos con revestimiento, esto consiste en mezclar un polvo llamado flux por diez minutos para luego pasar a una mezcla húmeda, donde el polvo se compacta, por cuarenta y cinco minutos. Cada vez que se realiza un cambio para un tipo distinto de electrodo con revestimiento la mezcladora debe ser lavada, este procedimiento dura treinta minutos, se procede a revertir el electrodo con esta mezcla especial, ya revestido se hace una revisión muy estricta con el fin de verificar que todos los electrodos cumplan con las normas establecidas de calidad.

Una vez pasada la revisión se procede a hornear los electrodos, los cuales se dejan allí por un tiempo establecido, una vez pasado dicho tiempo se sacan y para identificarlos diferentes tipos de electrodos se les coloca colorante en la punta del núcleo y se les imprime una serie de números. Finalmente se empacan para llevarlos a las diferentes salas de ventas para su distribución.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> ECA Electroodos.

Figura 11. **Electrodos ya con su revestimiento**



Fuente: ECA Electroodos.

Figura 12. **Revisión de electrodos**



Fuente: ECA Electroodos.

Figura 13. **Horneado de electrodos**



Fuente: ECA Electrodo.

Figura 14. **Empacado de electrodos**



Fuente: ECA Electrodo.

### 2.2.2. Electrodo fabricados en Guatemala

Los electrodos fabricados en Guatemala por la empresa ECA Electrodo son los destinados para la soldadura convencional, entre los que se encuentran: los celulósicos, los rutílicos y los de bajo hidrógeno; cada uno de estos tiene sus propios tipos de electrodos específicos.

### 2.2.3. Electrodo distribuidos en y por Guatemala

Los electrodos distribuidos en y por Guatemala son los designados para la soldadura especial entre los que se encuentran los de aceros inoxidables, hierro fundido, revestimientos duros, cobre y aleaciones de cobre, aluminio, para corte y el microalambre y cada uno de estos con sus determinados electrodos.

Los electrodos comercializados por ECA Electrodo son distribuidos en el territorio guatemalteco, por diversas empresas y la región centroamericana; El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá y Belice.

Figura 15. **Región centroamericana de distribución**



Fuente: ECA Electrodo.

#### **2.2.4. Control de calidad**

Todo tipo de electrodo fabricado debe pasar, constantemente; por el Departamento de Control de Calidad, con el fin de que el producto cumpla con normas establecidas. Las normas utilizadas para dicho control son la AWS American Welding Society (Sociedad Americana de la Soldadura), la ASTM American Society for Testing and Material (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales) y la ASME American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), las cuales clasifican los electrodos según sus especificaciones y aplicaciones para las cuales fueron fabricados.

Figura 16. **Proceso de control de calidad**



Fuente: ECA Electroodos.

## **2.3. Tipos de electrodos fabricados y distribuidos en Guatemala**

La empresa ECA Electrodo fabrica y distribuye electrodos, en Guatemala, del tipo para soldadura convencional y para soldadura especial y es reconocida internacionalmente

### **2.3.1. Tipos de electrodos para soldadura convencional**

Los tipos de electrodos para soldadura convencional se encuentran los celulósicos, rutilicos y de bajo hidrógeno.

#### **2.3.1.1. Celulósicos**

Los electrodos de este tipo son los que están compuestos por más del 12 por ciento de materia orgánica.

##### **2.3.1.1.1. E-6010**

- Especificaciones

El electrodo celulósico E-6010 es un electrodo de alta penetración para la soldadura de aceros al mediano y bajo carbono, recomendado para soldar en todas las posiciones; plana horizontal, plana vertical, vertical ascendente, vertical con eje de soldadura horizontal llamada cornisa, sobre cabeza, en ángulo interior, utilizado para soldaduras en montajes provisionales por su rápida solidificación y altas propiedades mecánicas.

Utilizan corriente directa con polaridad invertida, produce un arco estable, la escoria se elimina fácilmente, posee propiedades mecánicas muy buenas aún a temperaturas bajo cero, recomendados para trabajos de fondeo donde se requiere penetración de calidad radiográfica.

Tabla I. **Especificaciones de fabricación del electrodo E-6010**

| Medidas       | Amperajes recomendados (A) |
|---------------|----------------------------|
| 3/32" (2,4mm) | 60 - 80                    |
| 1/8" (3,2mm)  | 80 - 120                   |
| 5/32" (4,0mm) | 110 - 160                  |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 4.

- Propiedades mecánicas
  - Resistencia a la tensión: 60 000 Psi
  - Límite elástico: 48 000 Psi
- Composición química según AWS (porcentaje máximo)

Tabla II. **Composición química del electrodo E-6010**

| Elemento       | C    | Mn  | Si | Cr   | Ni   | V    | Mo   |
|----------------|------|-----|----|------|------|------|------|
| Porcentaje (%) | 0,20 | 1,2 | 1  | 0,20 | 0,30 | 0,08 | 0,30 |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 4.

- Aplicaciones

El electrodo E-6010 se utiliza en la fabricación de tanques y calderas, tendidos de líneas de tuberías, para construcción y reparación naval y para fabricar recipientes a presión.

### 2.3.1.1.2. E-6011

- Especificaciones

Este es un tipo de electrodo de alta penetración, es estabilizado con potasio para que sea apto en todo tipo de posición a soldar, se trabaja con corriente alterna y con corriente directa con polaridad invertida, su arco es estable y de fácil encendido, que lo hace apto para trabajos en los que la resistencia y el acabado del cordón de soldadura son lo más importante.

Posee propiedades mecánicas de tenacidad muy buenas a temperaturas bajo cero, produce un arco de gran fuerza con una rápida solidificación, lo cual hace más sencilla las operaciones de trabajo en posición vertical y sobre cabeza, la escoria producto de este tipo de revestimiento es mínima, por lo que la limpieza se lleva a cabo de forma rápida.

Tabla III. **Especificaciones de fabricación del electrodo E-6011**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 3/32" (2,4mm)  | 60 - 80                           |
| 1/8" (3,2mm)   | 80 - 120                          |
| 5/32" (4,0mm)  | 110 - 160                         |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 5.

- Propiedades mecánicas
  - Resistencia a la tensión: 60 000Psi
  - Límite elástico: 48 000Psi
- Composición química según AWS (porcentaje máximo)

Tabla IV. **Composición química del electrodo E-6011**

| Elemento              | C    | Mn  | Si | Cr   | Ni   | V    | Mo   |
|-----------------------|------|-----|----|------|------|------|------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,20 | 1,2 | 1  | 0,20 | 0,30 | 0,08 | 0,30 |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 5.

- Aplicaciones

Se utiliza este tipo de electrodos para la fabricación de recipientes a presión y embarcaciones, para maquinaria agrícola, tuberías de alta y baja presión y para soldaduras en aceros galvanizados.

### **2.3.1.2. Rutílicos**

Los electrodos de este tipo son los que están compuestos por óxido de titanio.

### 2.3.1.2.1. E-6013 punto café

- Especificaciones

Este tipo de electrodo tiene una solidificación rápida que lo hace apto en la utilización para aplicaciones de soldadura en condiciones pobres de ajuste, produce un arco muy estable, el cual deja una apariencia en el cordón de soldadura muy buena. Es utilizada para soldar en posiciones plana, horizontal, vertical y sobre cabeza, la escoria es removida fácilmente.

Tabla V. **Especificaciones de fabricación del electrodo E-6013 punto café**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 3/32" (2,4mm)  | 60 - 80                           |
| 1/8" (3,2mm)   | 80 - 120                          |
| 5/32" (4,0mm)  | 110 - 160                         |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 6.

- Propiedades mecánicas
  - Resistencia a la tensión: 60 000 Psi
  - Límite elástico: 48 000 Psi

- Composición química según AWS, (porcentaje máximo)

Tabla VI. **Composición química del electrodo E-6013 punto café**

| <b>Elemento</b>       | C    | Mn   | Si   | P     | S     |
|-----------------------|------|------|------|-------|-------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,10 | 0,28 | 0,27 | 0,012 | 0,016 |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 6.

- Aplicaciones

Este tipo de electrodo se aplica en la fabricación de estructuras y partes generales de maquinaria.

#### 2.3.1.2.2. E-6013 punto verde

- Especificaciones

Recomendado para juntas con mala preparación, comúnmente utilizados para soldar en posiciones plana, horizontal, vertical y sobre cabeza, crea un arco más suave que el E-6013 punto café, la escoria que produce puede ser limpiada rápidamente.

Tabla VII. **Especificaciones de fabricación del electrodo E-6013 punto verde**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 3/32" (2,4mm)  | 60 – 80                           |
| 1/8" (3,2mm)   | 80 – 120                          |
| 5/32" (4,0mm)  | 110 – 160                         |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 7.

- Propiedades mecánicas
  - Resistencia a la tensión: 60 000 Psi
  - Límite elástico: 48 000 Psi
- Composición química según AWS (porcentaje máximo)

Tabla VIII. **Composición química del electrodo E-6013 punto verde**

| <b>Elemento</b>       | C    | Mn   | Si   | P     | S     |
|-----------------------|------|------|------|-------|-------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,10 | 0,28 | 0,27 | 0,012 | 0,016 |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 7.

- Aplicaciones

Este tipo de electrodo es muy utilizado en la fabricación de estructuras y partes generales de maquinaria.

### **2.3.1.2.3. E-7024**

- Especificaciones

Es un electrodo, que en su revestimiento lleva polvo de hierro con el fin de mejorar el rendimiento como material depositado, tiene una ejecución accesible en la posición plana y de filete horizontal para soldar esto debido a su facilidad de encendido, tienen muy buen funcionamiento dejando depósitos de un acabado sobresaliente por su suave arco y desprendimiento suave de escoria, se emplea en aceros al carbono y se utiliza con corriente alterna y directa.

Tabla IX. **Especificaciones de fabricación del electrodo E-7024**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 1/8" (3,2mm)   | 90 – 140                          |
| 5/32" (4,0mm)  | 130 - 170                         |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 9.

- Propiedades mecánicas
  - Resistencia a la tensión: 70 000 Psi
  - Límite elástico: 58 000 Psi
- Composición química según AWS (porcentaje máximo)

Tabla X. **Composición química del electrodo E-7024**

| <b>Elemento</b>       | C    | Mo   | Si   | P     | V    | Cr   | Ni   | Mn   | S     |
|-----------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,15 | 0,30 | 1,25 | 0,035 | 0,08 | 0,20 | 0,30 | 1,25 | 0,035 |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 9.

- Aplicaciones

Este tipo de electrodo es utilizado en la industria metalmeccánica en la fabricación de estructuras pesadas, en donde sea indispensable obtener un depósito de características mecánicas buenas, empleados en estructuras para pailerías y astilleros.

### 2.3.1.3. Bajo hidrógeno

Los electrodos de este tipo son, generalmente, utilizados para estructuras.

#### 2.3.1.3.1. E-7018

- Especificaciones

Esta clase de electrodo, de bajo hidrógeno en su revestimiento, lleva polvo de hierro con el fin de hacerlos aptos para soldar en cualquier posición, tiene propiedades mecánicas altas a temperaturas bajo cero recomendable en depósitos en los cuales se desee minimizar el riesgo de fractura y tener una cantidad menor de poros, esto por las características de su revestimiento.

Sus depósitos tienen calidad radiográfica, se utilizan con corriente directa con polaridad invertida, prácticamente este electrodo no produce chisporroteo ni salpicaduras.

Tabla XI. **Especificaciones de fabricación del electrodo E-7018**

| Medidas       | Amperajes recomendados (A) |
|---------------|----------------------------|
| 1/8" (3,2mm)  | 90 – 140                   |
| 5/32" (4,0mm) | 130 - 170                  |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 8.

- Propiedades mecánicas
  - Resistencia a la tensión: 70 000 Psi
  - Límite elástico: 58 000 Psi

- Composición química según AWS (porcentaje máximo)

Tabla XII. **Composición química del electrodo E-7018**

| <b>Elemento</b>       | C    | Mo   | Si   | P     | V    | Cr   | Ni   | Mn   | S     |
|-----------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,15 | 0,30 | 0,75 | 0,035 | 0,08 | 0,20 | 0,30 | 1,60 | 0,035 |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 8.

- Aplicaciones

Esta clase de electrodos son muy utilizados para el relleno rápido en obras de gran magnitud, para la fabricación de tuberías y líneas de tuberías de alta presión, para calderas y recipientes a presión, para fundiciones de acero, aceros templados y revenidos y para construcción de embarcaciones.

### **2.3.1.3.2. E-9018 B3**

- Especificaciones

Esta clase de electrodos, con fundente básico, contienen polvo de hierro, trabajan a una temperatura de hasta 600 grados centígrados, gracias a su alta resistencia al calor y a la corrosión en ambientes sulfurosos. Son utilizados para soldar en todas las posiciones, producen un arco estable sin salpicaduras, su escoria tiene un fácil desprendimiento de escoria, produce cordones de soldadura con un aspecto fino y sin socavaciones, se utiliza en corriente directa polaridad inversa.

Tabla XIII. **Especificaciones de fabricación del electrodo E-9018 B3**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 1/8" (3,2mm)   | 90 – 135                          |
| 5/32" (4,0mm)  | 125 - 170                         |
| 3/16" (4,8mm)  | 165 - 200                         |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 11.

- **Propiedades mecánicas**
  - Resistencia a la tensión: 620 Mpa (90 000 Psi)
  - Límite elástico: 530 Mpa (77000 Psi)
  - Elongación en 2": 17 %
  
- **Composición química según AWS**

Tabla XIV. **Composición química del electrodo E-9018 B3**

| <b>Elemento</b>       | <b>C</b>          | <b>Mn</b>    | <b>Si</b>    | <b>S</b>     | <b>P</b>     | <b>Mo</b>         | <b>Cr</b>        |
|-----------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|------------------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,05<br>–<br>0,12 | 0,90<br>Máx. | 0,80<br>Máx. | 0,03<br>Máx. | 0,03<br>Máx. | 0,90<br>–<br>1,20 | 2,0<br>–<br>2,50 |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 11.

- **Aplicaciones**

Son utilizados en la industria química y petroquímica, se especializan en aceros de baja y mediana aleación, en tuberías y construcciones de calderas, el depósito del cordón de soldadura es tratable térmicamente por temple, recocido y cementación.

### 2.3.1.3.3. E-9016 B3

- Especificaciones

Esta clase de electrodos, de bajo hidrógeno, son de fácil aplicación, poseen un sencillo encendido del arco, se utiliza para soldar en todas las posiciones, se emplean con corriente alterna y corriente directa polaridad invertida. Por su bajo contenido de hidrógeno en el revestimiento y en el depósito hacen que esta clase de electrodos sea aplicable en donde el riesgo de agrietamiento debe ser mínimo o nulo.

Tabla XV. **Especificaciones de fabricación del electrodo E-9016 B3**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 1/8" (3,2mm)   | 90 – 130                          |
| 5/32" (4,0mm)  | 125 - 165                         |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 10.

- Propiedades mecánicas
  - Resistencia a la tensión: 620 Mpa (90 000 Psi)
  - Límite elástico: 530 Mpa (77 000 Psi)
  - Elongación 2": 17 %

- Composición química según AWS

Tabla XVI. **Composición química del electrodo E-9016 B3**

| <b>Elemento</b>       | C                 | Mn           | Si           | S            | P            | Mo                | Cr               |
|-----------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|------------------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,05<br>–<br>0,12 | 0,90<br>Máx. | 0,60<br>Máx. | 0,03<br>Máx. | 0,03<br>Máx. | 0,90<br>–<br>1,20 | 2,0<br>–<br>2,50 |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 10.

- Aplicaciones

Se utiliza en aceros de alta resistencia, en la reparación de espejos y cuerpos de calderas de vapor, en construcción de maquinaria pesada, para la reconstrucción de maquinaria agrícola, en las líneas de tuberías de alta presión en la industria petrolera, en la construcción de muelas de enganche de ferrocarril y para ruedas de las grúas viajeras.

### **2.3.2. Tipos de electrodos en soldadura especial**

Entre tipo de electrodos se encuentran los de acero inoxidable, hierro fundido, revestimientos duros, cobre y aleaciones de cobre, de aluminio, para herramienta y microalambre.

#### **2.3.2.1. Aceros inoxidables**

Los electrodos de aceros inoxidables fabricados por ECA Electroodos, cubren únicamente la gama de serie inox austeníticos, aunque no en su totalidad y se detallan a continuación.

### 2.3.2.1.1. ECA 308-L

- Especificaciones

Se puede utilizar con amperajes bajos, posee un fácil encendido del arco, alta resistencia a la corrosión intergranular, su escoria es removida fácilmente, los depósitos quedan libres de defectos y con bajo carbono.

Para soldar se puede utilizar con corriente alterna y corriente directa polaridad inversa, la fusión del metal es particularmente suave y continua, los depósitos del cordón de soldadura son tersos al tacto, sus perfiles en filete son planos y cóncavos. Poseen un contenido de carbono controlado, el cual le da una gran resistencia a la corrosión intergranular a temperaturas de hasta 300 grados centígrados.

Tabla XVII. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA 308-L**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 3/32" (2,4mm)  | 50 – 75                           |
| 1/8" (3,2mm)   | 70– 100                           |
| 5/32" (4,0mm)  | 95 –130                           |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 13.

- Propiedades mecánicas
  - Resistencia a la tensión: 75 000 Psi
  - Elongación: 35 %

- Composición química según AWS

Tabla XVIII. **Composición química del electrodo ECA 308-L**

| <b>Elemento</b>       | C            | Mn               | Si           | S            | P            | Mo           | Cr                | Ni               | Cu           |
|-----------------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|------------------|--------------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,04<br>Máx. | 0,50<br>–<br>2,5 | 0,90<br>Máx. | 0,03<br>Máx. | 0,04<br>Máx. | 0,75<br>Máx. | 18,0<br>–<br>21,0 | 9,0<br>–<br>11,0 | 0,75<br>Máx. |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 13.

- Procedimientos para soldar

Para soldar acero inoxidable, la limpieza de las partes que serán soldadas o revestidas se debe hacer de manera concienzuda, con el propósito de eliminar absolutamente todos los restos de impureza ajenos al material base. Esta preparación de las piezas a soldar es de suma importancia para evitar la contaminación en el cordón de soldadura en el momento de aplicar el metal de aporte. Para aplicar los cordones se utiliza un arco corto y debe limpiarse la escoria entre pasos con un cepillo de cerdas de acero inoxidable.

- Aplicaciones

Debido a que se puede utilizar con amperajes bajos, resulta una ZAT (Zona Afectada Térmicamente) muy reducida y esto provoca que la precipitación de carburos de cromo indeseables sea disminuida. Muy utilizados para enchapar o recubrir y dar protección contra la corrosión a los aceros dulces.

### 2.3.2.1.2. ECA 309-L

- Especificaciones

Este tipo de electrodos poseen un fácil encendido y reencendido del arco que lo hace útil para soldar en todas las posiciones, se suelda con corriente alterna y corriente directa polaridad invertida, tiene un núcleo sólido tipo austenítico recomendado para la soldadura de aceros inoxidable con aceros al carbono o aceros inoxidables de composición química desconocida.

Provocan poco chisporroteo y la escoria es de fácil desprendimiento aun en soldaduras de filete y en biseles cerrados. Por su bajo contenido de carbono se reduce la precipitación de carburos de cromo y en algunas aplicaciones se incrementa la resistencia a la corrosión intergranular, aun sin el uso de estabilizadores como el niobio y/o titanio. Muy utilizado para la unión de aceros inoxidables del tipo 304 con acero al carbono de baja aleación y aceros inoxidables de composición desconocida.

Tabla XIX. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA 309-L**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 1/8" (3,2mm)   | 70 – 100                          |
| 5/32" (4,0mm)  | 95 – 130                          |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 14.

- Propiedades mecánicas
  - Resistencia a la tensión: 550 Mpa (80 000 Psi)
  - Elongación en 2": 30 %

- Composición química según AWS

Tabla XX. **Composición química del electrodo ECA 309-L**

| <b>Elemento</b>       | C            | Mn               | Si           | S            | P            | Mo           | Cr                | Ni                | Cu           |
|-----------------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,15<br>Máx. | 0,50<br>–<br>2,5 | 0,90<br>Máx. | 0,03<br>Máx. | 0,04<br>Máx. | 0,75<br>Máx. | 22,0<br>–<br>25,0 | 12,0<br>–<br>14,0 | 0,75<br>Máx. |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 14.

- Procedimientos para soldar

Antes de soldar se deben eliminar de las superficies de las piezas, a unir, los óxidos, el metal fatigado, las grasas, los aceites y cualquier producto extraño que puede causar defectos en el cordón de soldadura en el momento de depositarlo. Para los cordones aplicados se coloca el electrodo con un ligero ángulo de 15 grados con relación al avance, se debe evitar el recalentamiento de la pieza.

- Aplicaciones

Aplicados en los aceros de alta resistencia a la oxidación y a la corrosión, para aleaciones con 25 % de Cr y 14 % de Ni.

### 2.3.2.1.3. ECA 310-L

- Especificaciones

Este tipo de electrodos tienen un arco de fácil encendido, lo cual los hace aplicables para soldar en todas las posiciones, se suelda con corriente directa polaridad invertida y con corriente alterna, poseen un núcleo de acero inoxidable tipo 310 utilizados para soldar y revestir piezas que son sometidas a desgaste o corrosión producto de altas temperaturas.

Producen un cordón de soldadura con un acabado muy fino que hace que no requieran un trabajo de acabado minucioso ni una limpieza posterior, su escoria es desprendida con mucha facilidad, no produce salpicaduras, posee gran resistencia a la corrosión a temperaturas de hasta 1200 grados centígrados.

Tabla XXI. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA 310-L**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 3/32" (2,4mm)  | 60 –85                            |
| 1/8" (3,2mm)   | 80– 105                           |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 15.

- Propiedades mecánicas

- Resistencia a la tensión: 550 Mpa (80 000 Psi)

- Composición química según AWS

Tabla XXII. **Composición química del electrodo ECA 310-L**

| <b>Elemento</b>       | C                 | Mn              | Si           | S            | P            | Mo           | Cr                | Ni                | Cu           |
|-----------------------|-------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,08<br>–<br>0,20 | 1,0<br>–<br>2,5 | 0,75<br>Máx. | 0,03<br>Máx. | 0,03<br>Máx. | 0,75<br>Máx. | 25,0<br>–<br>22,5 | 20,0<br>–<br>25,0 | 0,75<br>Máx. |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 15.

- Procedimientos para soldar

Eliminar del área a soldar o revestir todo tipo de óxidos, grasas o materiales contaminantes por medios mecánicos químicos, para no recalentar las piezas se recomienda la corriente alterna, para depositar los cordones de soldadura colocar el electrodo casi verticalmente a la pieza, la escoria debe ser removida entre pasos.

- Aplicaciones

Es aplicado en piezas de acero inoxidable, donde el análisis químico no sea conocido satisfactoriamente para aceros al carbono, cuando el propósito es proteger la superficie de los efectos de la corrosión por el calor, para tubos radiantes de hornos, crisoles de tratamientos térmicos, reactores de plantas químicas y petroquímica, para partes de hornos de precalentamiento de lingotes y específicamente, cuando se requiere un depósito altamente austenítico.

#### 2.3.2.1.4. ECA 312-L

- Especificaciones

Esta clase de electrodos son del tipo austenítico-ferrítico, poseen un bajo coeficiente de dilatación y depósitos totalmente maquinables, para soldar se utiliza corriente alterna y corriente directa polaridad invertida. Utilizados para aceros de alta y baja aleación, aceros fundidos e inoxidable de análisis químicos desconocidos, asegura uniones de gran resistencia y altos valores mecánicos, se puede pulir hasta dar una apariencia de espejo y esto hace que pueda utilizarse como revestimiento antifriccional en piezas sometidas a este tipo de desgaste.

Tabla XXIII. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA 312-L**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 3/32" (2,4mm)  | 50 – 75                           |
| 1/8" (3,2mm)   | 75– 105                           |
| 5/32" (4,0mm)  | 95 – 130                          |
| 3/16" (4,8mm)  | 125 – 160                         |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 16.

- Propiedades mecánicas
  - Resistencia a la tensión: 816 Mpa (118 325 Psi)
  - Elongación: 30 %

- Composición química según AWS (porcentaje máximo)

Tabla XXIV. **Composición química del electrodo ECA 312-L**

| <b>Elemento</b>       | C    | Mn   | Si   | P    | Mo   | Cr   | Ni  | Cu   |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,11 | 0,90 | 1,07 | 0,02 | 0,16 | 29,2 | 9,0 | 0,13 |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 16.

- Procedimientos para soldar

Hacer los biseles respectivos a las piezas a soldar, según el espesor del material base y eliminar del área por soldar todos los óxidos, grasas y escamas que puedan contaminar la junta.

- Aplicaciones

Se aplican para la reconstrucción de flechas, engranes, piñones, coronas para uniones críticas entre aceros disímiles, es un buen revestimiento antifriccional para la fabricación o reparación de troqueles o cuchillas de corte en frío o en caliente, da buenos resultados como cojinete elástico de revestimiento contra impacto. Es susceptible al endurecimiento al ser trabajado en frío, al cual se le llama acritud.

### 2.3.2.1.5. ECA 316-L

- Especificaciones

Este tipo de electrodos tienen un arco de fácil encendido que los hace útiles para soldar en cualquier posición, se puede utilizar corriente alterna y corriente directa polaridad invertida, posee un núcleo del tipo austenítico de la familia de aceros inoxidable al Cr/Ni/Mo, posee una fusión del metal particularmente suave al tacto, no provoca chisporroteo, su contenido de carbono es controlado lo que permite darle buena resistencia a la corrosión en medios agresivos, el contenido de molibdeno que posee le da alta resistencia a la corrosión en medios ácidos.

Tabla XXV. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA 316-L**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 3/32" (2,4mm)  | 50 - 80                           |
| 1/8" (3,2mm)   | 75 - 105                          |
| 5/32" (4,0mm)  | 100 - 135                         |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 17.

- Propiedades mecánicas
  - Resistencia a la tensión: 490 Mpa (70 000 Psi)
  - Elongación en 2": 30 %

- Composición química según AWS

Tabla XXVI. **Composición química del electrodo ECA 316-L**

| <b>Elemento</b>       | C    | Mn              | Si           | S    | P            | Mo              | Cr                | Ni                | Cu           |
|-----------------------|------|-----------------|--------------|------|--------------|-----------------|-------------------|-------------------|--------------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,04 | 0,5<br>–<br>2,5 | 0,90<br>Máx. | 0,03 | 0,04<br>Máx. | 2,0<br>–<br>3,0 | 17,0<br>–<br>20,0 | 11,0<br>–<br>14,0 | 0,75<br>Máx. |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 17.

- Procedimientos para soldar

Se debe eliminar absolutamente todos los restos de impurezas ajenos al material base, limpiando las áreas a soldar meticulosamente, se debe evitar oscilación en el arco para evitar el sobrecalentamiento en el metal base. Para limpiar el cordón de soldadura se debe utilizar un cepillo con cerdas de alambre de acero inoxidable.

- Aplicaciones

Se utiliza para soldar aceros de alta resistencia a la oxidación y a la corrosión, muy recomendado para la soldadura de aceros inoxidables de la misma composición química, se aplica muy bien a bajos amperajes provocando muy poca ZAT y sin precipitación de carburos de cromo indeseables.

Es muy utilizado y aplicado para enchapar o recubrir para dar protección a los aceros dulces contra la corrosión.

### 2.3.2.2. Hierro fundido

El hierro fundido es un material compuesto de hierro y grandes cantidades de carbono, por lo que los electrodos a utilizar deben ser de níquel puro o ferro-níquel, con el fin de reducir el riesgo de fisuras.

#### 2.3.2.2.1. ECA Nifer 60

- Especificaciones

Su principal composición es de níquel y hierro, poseen gran resistencia y gran facilidad para depositarse aun en piezas que se encuentran impregnadas de grasas o aceites, utilizados para la soldadura de hierros colados o fundiciones, también para soldar en todas las posiciones, se puede trabajar con corriente alterna y corriente directa polaridad invertida, los depósitos que estos electrodos producen son totalmente maquinables, dan muy buenos resultados como revestimiento antifriccional por su alto grado de pulido.

Tabla XXVII. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Nifer 60**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 3/32" (2,4mm)  | 80-105                            |
| 1/8" (3,2mm)   | 105 - 140                         |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 19.

- Composición química según AWS

Tabla XXVIII. **Composición química del electrodo ECA Nifer 60**

| <b>Elemento</b>       | C           | Mn          | Si          | S            | Al          | Ni                | Cu          | Fe        |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------------|-------------|-----------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 2,0<br>Máx. | 2,5<br>Máx. | 4,0<br>Máx. | 0,03<br>Máx. | 1,0<br>Máx. | 11,0<br>–<br>14,0 | 2,5<br>Máx. | Remanente |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 19.

- Procedimientos para soldar

Biselar las áreas a soldar para unir o revestir, luego limpiar concienzudamente, depositar cordones de soldadura cortos y rectos, martillar rápidamente cada depósito mientras está caliente, cuando se termine de soldar cubrir las piezas con asbesto o cal seca con el fin de lograr un enfriamiento lo más lento posible, evitar corrientes de aire durante el proceso de soldadura.

- Aplicaciones

Estos electrodos son aplicados para la reparación de piezas de hierro colado gris y maleable, como las bases de maquinaria, motores, cuerpos o impulsores de bombas, cajas de engranes, coronas, levas, formación de dientes gastados de engranes, mazas cañeras, válvulas, carcasas.

### 2.3.2.2.2. ECA Nifer 100

- Especificaciones

Electrodos compuestos, principalmente de níquel para soldadura de hierros colados o fundiciones, están diseñados para soldar en cualquier posición, trabaja en corriente alterna y en corriente directa polaridad directa.

Esta clase de electrodos utiliza un mínimo de amperaje para trabajar, dejando depósitos lisos libres de poros y con muy buena apariencia, no produce chisporroteo ni salpicaduras, posee gran elongación que permite absorber fácilmente todas las tensiones residuales que quedan en el interior de las piezas soldadas. El arco produce pulsos periódicos, los cuales incrementan la energía del mismo, logrando mayor depósito y unión sin penetración excesiva.

Tabla XXIX. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Nifer 100**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 3/32" (2,4mm)  | 70 –90                            |
| 1/8" (3,2mm)   | 85 – 105                          |
| 5/32" (4,0mm)  | 110 – 140                         |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 20.

- Composición química según AWS (porcentaje máximo)

Tabla XXX. **Composición química del electrodo ECA Nifer 100**

| Elemento              | C   | Mn  | Si  | Fe  | Al  | S    | Ni           | Cu  | Otros |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------------|-----|-------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 2,0 | 2,5 | 4,0 | 8,0 | 1,0 | 0,03 | 85,0<br>Mín. | 2,5 | 1,0   |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 20.

- Procedimiento para soldar

Limpiar minuciosamente las áreas a soldar o revestir para eliminar todo óxido, grasa, polvo aceite y cualquier agente extraño al metal base, los cuales en el momento del encendido del arco se gasifican, provocando la aparición de poros, cráteres y grietas que afectan posteriormente las cualidades de la soldadura.

Después de remover todo agente contaminante, biselar las piezas a soldar dependiendo del espesor de las mismas, utilizar polaridad directa depositando cordones cortos y rectos, en las caras del bisel martillar los depósitos mientras están calientes, se debe quitar la escoria entre pasos, procurando alternar los cordones en el área para evitar el sobrecalentamiento, después de terminado el proceso de soldadura cubrir la pieza con asbesto o cal seca para evitar enfriamientos rápidos.

- Aplicaciones

Se aplican para reparaciones de piezas y maquinaria de hierro colado gris y maleable, muy utilizados para reconstruir piezas como monoblocks, bases de maquinaria pesada, caja de engranes, carcasas de motores eléctricos, para piezas caras y delicadas.

### 2.3.2.2.3. ECA E-St

- Especificaciones

Este tipo de electrodos se utiliza para la soldadura de hierros colados o fundiciones, es empleado para soldar en todas las posiciones con corriente alterna y corriente directa polaridad invertida, provoca depósitos no maquinables, las uniones realizadas con este tipo de electrodos poseen altos valores mecánicos y muy buena apariencia con una escoria de fácil desprendimiento.

Sella perfectamente las paredes del bisel, permitiendo que las uniones queden libres de poros por vaporización de grasas, o cualquier material contaminante que la pieza a soldar posea.

Tabla XXXI. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA E-St**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 1/8" (3,2mm)   | 80 - 140                          |
| 5/32" (4,0mm)  | 110 - 140                         |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 21.

- Composición química según AWS (porcentaje máximo)

Tabla XXXII. **Composición química del electrodo ECA E-St**

| <b>Elemento</b>       | C    | Mn   | Si   | S    | P    |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,15 | 0,60 | 0,15 | 0,04 | 0,04 |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 21.

- Procedimientos para soldar
  - Eliminar todo óxido, grasa o cualquier tipo de contaminante capaz de dañar la soldadura, del área para soldar.
  - Utilizar corriente directa polaridad invertida, reduciendo el amperaje al mínimo.
  - Depositar cordones rectos y cortos, una pulgada como máximo de largo, evitando hacer oscilar el electrodo.
  - Realizar los cordones de manera alternada con el fin de evitar el sobrecalentamiento.
  - Martillar los depósitos calientes, la pieza debe ser enfriada lentamente.

- Aplicaciones

Son muy aplicados para utilizarse como material de aporte sano en fundiciones viejas, requemadas o extremadamente sucias y contaminadas, se aplica para depósitos de relleno o de unión en hierro colado donde no sea necesario el maquinado posterior, para reparaciones de lingotes y piezas pesadas donde se busque igualar el color del hierro colado.

Los depósitos y uniones que producen estos electrodos pueden ser esmaltados, para sellar fundiciones grises cuando estén impregnadas de algún líquido contaminante, aplicada para recuperar piezas de fundición.

### 2.3.2.3. Revestimientos duros

Este tipo de electrodos son, generalmente utilizados para la reconstrucción de piezas.

#### 2.3.2.3.1. ECA Mang

- Especificaciones

Estos electrodos poseen un alto contenido de manganeso, diseñado para trabajar con corriente alterna y corriente directa polaridad invertida, es empleada para soldar en varias posiciones y utilizando cordones múltiples, poseen un fácil encendido de arco, la escoria provocada es de fácil remoción, producen poca salpicadura.

Tabla XXXIII. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Mang**

| Medidas       | Amperajes recomendados (A) |
|---------------|----------------------------|
| 5/32" (4,0mm) | 130 - 180                  |
| 3/16" (4,8mm) | 170 - 210                  |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 25.

- Propiedades mecánicas

- Dureza: 90,5 Rb

- Composición química según AWS (porcentaje máximo)

Tabla XXXIV. **Composición química del electrodo ECA Mang**

| <b>Elemento</b>       | C    | Mn    | Si   | Cr   |
|-----------------------|------|-------|------|------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,92 | 16,96 | 0,16 | 1,94 |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 25.

- Aplicaciones

Se utilizan para la reconstrucción de partes de acero al manganeso y para aplicaciones de alto impacto.

#### **2.3.2.3.2. ECA Niq**

- Especificaciones

Clases de electrodos austeníticos, con recubrimiento de rutilo básico tanto para uniones como para revestimientos, debido a este tipo de recubrimiento es sencillo de aplicar y provoca poca salpicadura y chisporroteo, su escoria puede ser retirada sencillamente, debido a que pueden ser aplicados a grandes velocidades los convierte en electrodos de alto rendimiento y capaces de soportar altos amperajes, utiliza para el proceso de soldadura corriente alterna y corriente directa polaridad invertida.

Tabla XXXV. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Niq**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 1/8" (3,2mm)   | 90 – 130                          |
| 5/32" (4,0mm)  | 130 - 170                         |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 26.

- Propiedades mecánicas
  - Dureza: 88,1 Rb
- Composición química según AWS (porcentaje máximo)

Tabla XXXVI. **Composición química del electrodo ECA Niq**

| <b>Elemento</b>       | <b>C</b> | <b>Mn</b> | <b>Cr</b> | <b>Ni</b> |
|-----------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,09     | 7,20      | 18,97     | 7,46      |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 26.

- Procedimientos para soldar

Antes de comenzar a soldar, es importante hacer una buena limpieza a las piezas para eliminar todo óxido, grasas o cualquier contaminante que estas puedan tener, después proceder a depositar los cordones de soldadura, estos deben ser rectos, de tal forma que la oscilación del electrodo no exceda tres veces el diámetro del mismo, con una mínima inclinación en dirección al avance para poder observar el lugar correcto del depósito.

- Aplicaciones

Este tipo de electrodo es muy utilizado como capa intermedia entre el metal base y algún otro tipo de recubrimiento metálico como en los aceros para herramienta, para recuperación de las vías del ferrocarril, tréboles de cilindros de laminación, aplicados como unión en aceros al manganeso, aceros al carbono, aceros inoxidables y aceros disímiles.

### 2.3.2.3.3. ECA Build up

- Especificaciones

Son electrodos que trabajan con poco amperaje y poseen un alto grado de pulido, una vez que son depositados, sus depósitos poseen buena presentación, son indeformables y tienen gran tenacidad y buena resistencia al mediano impacto, son utilizados con corriente alterna y corriente directa polaridad invertida.

Tabla XXXVII. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Build up**

| Medidas       | Amperajes recomendados (A) |
|---------------|----------------------------|
| 5/32" (4,0mm) | 140 - 170                  |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 27.

- Propiedades mecánicas
  - Dureza: 34,3 Rc

- Composición química según AWS (porcentaje máximo)

Tabla XXXVIII. **Composición química del electrodo ECA Build up**

| <b>Elemento</b>       | C    | Mn   | S    | Si   | Cr   | Mo   |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,19 | 0,33 | 0,01 | 0,55 | 1,63 | 1,72 |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 27.

- Procedimientos para soldar

Eliminar todo agente contaminante que las piezas a soldar puedan tener, tampoco soldar sobre superficies muy pulidas, los cordones deben ser depositados de manera recta y ancha, eliminando la escoria entre pasos, el encendido del arco debe ser por el método de raspado o de contacto e inclinarlo en dirección del avance del electrodo, para soldar piezas pesadas y de gran espesor estas deben ser previamente precalentadas a 200 °C con el fin de contrarrestar esfuerzos. Al terminar de soldar las piezas, estas no deben ser enfriadas bruscamente, de preferencia tienen que ser cubiertas con asbesto o cal.

- Aplicaciones

Utilizados para la reconstrucción y revestimientos de piezas sometidas a fricción, presión y mediano impacto como las ruedas de grúas viajeras, partes del tránsito de maquinaria pesada como las zapatas, catarinas y ruedas, utilizados para formar nuevamente piezas sumamente gastadas que requieren cordones múltiples.

Es utilizado como revestimiento para piezas que trabajan sujetas a fuertes desgaste por fricción metal con metal y como colchón elástico en revestimientos combinados.

#### 2.3.2.3.4. ECA Dur-10

- Especificaciones

Este tipo de electrodos poseen un arco muy estable, su escoria es removida fácilmente, tienen una base de carburos de cromo, lo cual les provoca una alta dureza, sus cordones de soldadura son planos, de impecable acabado y quedan libres de poros, tiene poca dilución con el metal base, por lo que no se puede depositar más de un cordón de recubrimiento; para trabajar utiliza la AC y la CDPI.

Tabla XXXIX. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Dur-10**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados(A)</b> |
|----------------|----------------------------------|
| 1/8" (3,2mm)   | 100 - 140                        |
| 5/32" (4,0mm)  | 130 - 180                        |
| 3/16" (4,8mm)  | 170 - 210                        |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 28.

- Propiedades mecánicas
  - Dureza: 53,4 Rc

- Composición química según AWS (porcentaje máximo)

Tabla XL. **Composición química del electrodo ECA Dur-10**

| <b>Elemento</b>       | C    | Mn   | Si   | Cr    | S    | Mo   |
|-----------------------|------|------|------|-------|------|------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 2,87 | 0,82 | 1,27 | 30,30 | 0,02 | 0,15 |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 28.

- Procedimientos para soldar

Limpiar las piezas concienzudamente eliminando todo agente contaminante como: grasas, aceites y óxidos; luego depositar los cordones de forma recta, pueden ser colocados oscilando el electrodo una vez esta no exceda tres veces el diámetro del mismo, la escoria debe ser retirada entre pasos, una vez terminado el proceso dejar enfriar la pieza lentamente.

- Aplicaciones

Utilizados para revestir piezas nuevas o gastadas, para aceros al manganeso o hierro dulce, para componentes sometidos a severa abrasión y desgaste como las mezcladoras de arena, correderas, levas, flechas, martillos, cortadores, molinos y equipos de extrusión, empleados en la industria de construcción, en maquinaria de trituración, para recuperar, proteger y darles más tiempo de vida útil a ese tipo de equipos, utilizados como capa final sobre otros recubrimientos de soldadura.

### 2.3.2.3.5. ECA Dur-63

- Especificaciones

Estos electrodos poseen una alta eficiencia de aporte, no tienen escoria, los depósitos tienen una concentración de aleantes alta y de gran calidad que los hace muy eficientes en el trabajo donde se requieren bastantes depósitos y resistentes a la oxidación temperaturas de trabajo de hasta 600°C, están libres de poros, su microestructura posee carburos aleados de matriz martensítica y son utilizados con AC y CDPI.

Tabla XLI. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Dur-63**

| Medidas       | Amperajes recomendados (A) |
|---------------|----------------------------|
| 5/32" (4,0mm) | 140 – 190                  |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 29.

- Propiedades mecánicas
  - Dureza: 52,8 Rc
- Composición química según AWS, (porcentaje máximo)

Tabla XLII. **Composición química del electrodo ECA Dur-63**

| Elemento       | C    | Mn   | Si   | Cr    | W    | Mo   | Cb   | V    |
|----------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| Porcentaje (%) | 4,39 | 0,24 | 1,47 | 20,98 | 2,71 | 6,19 | 7,99 | 1,38 |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 29.

- Procedimientos para soldar

Limpiar las piezas a soldar minuciosamente para eliminar todo tipo de contaminante que estas puedan poseer, una vez limpias las superficies se procede a soldar colocando los cordones de forma recta o con una oscilación, pero que esta no exceda tres veces el diámetro del electrodo, con una inclinación muy ligera en dirección del avance para poder observar el lugar correcto del depósito, quitar la escoria entre pasos y al terminar el proceso dejar enfriar la pieza lentamente.

- Aplicaciones

Utilizados para la recuperación y protección de piezas metálicas sujetas al desgaste combinado por abrasión, fricción y corrosión severa, utilizados en maquinaria para movimiento de tierras y equipos para moler materiales abrasivos como última capa, utilizados en la industria cementera, ingenios azucareros, industrias aceiteras, minas y petroleras.

#### **2.3.2.3.6. ECA Chrome**

- Especificaciones

Este tipo de electrodos conservan una dureza muy buena a temperaturas entre 500 y 600 °C, poseen una excelente resistencia a la oxidación a 900 °C, con depositar solamente un cordón puede obtenerse alta dureza y buena resistencia al desgaste con una eficiencia alta, forman poca escoria, poseen una microestructura con grades cantidades de carburos de cromo y austenita, para trabajar utilizan AC y CDPI.

Tabla XLIII. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Chrome**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 5/32" (4,0mm)  | 130 – 180                         |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 30.

- Propiedades mecánicas
  - Dureza: 74,4 Rc
- Composición química según AWS, (porcentaje máximo)

Tabla XLIV. **Composición química del electrodo ECA Chrome**

| <b>Elemento</b>       | <b>C</b> | <b>Mn</b> | <b>Si</b> | <b>Cr</b> | <b>S</b> |
|-----------------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 3,97     | 1,24      | 1,63      | 26,75     | 0,02     |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 30.

- Procedimientos para soldar

Antes de realizar cualquier tipo de soldadura, es necesario limpiar muy bien las piezas, eliminando todo tipo de óxidos, grasas o capas de metal fatigado, una vez realizada la limpieza depositar los cordones rectos de tal forma que la oscilación del electrodo no exceda tres veces el diámetro del mismo, terminado el proceso de soldadura limpiar muy bien la escoria y dejar enfriar lentamente la pieza.

- Aplicaciones

Sus depósitos son muy buenos para reconstruir y revestir piezas nuevas o gastadas de acero, acero al manganeso, hierro dulce y piezas sometidas a alta abrasión e impacto moderado como en los molinos de bola, labios y laterales de cucharones de almeja.

. Se utiliza en la industria de la construcción en maquinaria de trituración y movimiento de tierra y roca para proteger y darles más tiempo de vida útil a esos equipos.

#### **2.3.2.3.7. ECA 400**

- Especificaciones

Estos electrodos poseen alta resistencia al desgaste por fricción metal con metal y al choque térmico, abarca muchas de las necesidades de plantas en donde se requiere buenas propiedades a temperaturas elevadas y fricción combinadas, la dureza que poseen es apta para soportar de moderados a severos impactos sin deformarse y sin sufrir agrietamientos, su depósito no es magnético, poseen una microestructura austenítica con carburos de cromo, adecuados para trabajar en AC, con el amperaje mínimo para que las piezas no se recalienten y CDPI.

Tabla XLV. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA 400**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 1/8" (3,2mm)   | 110 - 140                         |
| 5/32" (4,0mm)  | 120 - 170                         |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 31.

- Propiedades mecánicas
  - Dureza: 93,0 Rb
- Composición química según AWS (porcentaje máximo)

Tabla XLVI. **Composición química del electrodo ECA 400**

| <b>Elemento</b>       | C    | Mn   | Si   | Cr    | Mo   | Ni   | S    |
|-----------------------|------|------|------|-------|------|------|------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,57 | 1,12 | 0,46 | 20,56 | 0,54 | 7,59 | 0,01 |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 31.

- Procedimientos para soldar
  - Eliminar del área de soldar todo agente contaminante capaz de producir daños en el cordón de soldadura.
  - Biselar las piezas de acuerdo al espesor de las mismas.
  - Depositar los cordones de forma recta manteniendo el electrodo casi vertical a las piezas.
  - Quitar la escoria entre pasos.

- Aplicaciones

Estos electrodos se emplean donde hay desgaste combinados de calor e impacto, roce y presión, se utilizan en guías de molinos de laminación, dientes de engranes como recubrimiento antifriccional en flechas, roles formadores de tubos, para cuchillas de tijera para corte en caliente, coples y tréboles de roles de laminación, para puntos de tenazas para lingotes calientes, dados y matrices de estampado y forja.

### 2.3.2.3.8. ECA Blind

- Especificaciones

Esta clase de electrodos se utilizan para blindaje de maza de molienda en la industria azucarera, contienen elementos que forman una estructura de alta resistencia a la abrasión y corrosión en medios húmedos proporcionando una superficie rugosa, la que permite obtener un mejor arrastre de caña para lograr mayor extracción del jugo, el tiempo de vida útil de la maza se alarga dependiendo de la calidad del depósito, el cual no requiere de limpieza externa, trabajan con corriente AC y CDPI.

Tabla XLVII. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Blind**

| Medidas       | Amperajes recomendados (A) |
|---------------|----------------------------|
| 5/32" (4,0mm) | 150 - 180                  |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 32.

- Propiedades mecánicas
  - Dureza: 53,9 Rc
- Composición química según AWS (porcentaje máximo)

Tabla XLVIII. **Composición química del electrodo ECA Blind**

| <b>Elemento</b>       | <b>C</b> | <b>Mn</b> | <b>Si</b> | <b>Cr</b> | <b>S</b> |
|-----------------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 4,78     | 1,59      | 2,38      | 25,14     | 0,01     |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 32.

- Procedimientos para soldar

Antes de soldar, hay que limpiar las piezas eliminando todo agente contaminante, con el fin de obtener una mejor adherencia del depósito, encender el arco por el método de contacto o de rayado y mantener el electrodo a un ángulo de 20 a 30 grados respecto a la superficie del diente de la maza, el depósito se realiza en forma de pequeñas gotas para crear una especie de depósito globular, no requiere de un acabado posterior.

- Aplicaciones

Se utilizan en los dientes de las mazas cañeras, los depósitos pueden realizarse estando estas detenidas o en movimiento a velocidades de 4 hasta 6rmp.

#### 2.3.2.4. Cobre y aleaciones de cobre

Este tipo de electrodos es utilizado para cualquier tipo de material.

##### 2.3.2.4.1. ECA CuAl

- Especificaciones

Electrodos de bronce alumínico, la soldadura con este tipo de electrodos poseen una adecuada conductividad eléctrica y buena resistencia a la corrosión y excelentes propiedades mecánicas, se utilizan solamente en posición plana, esta clase de electrodos son aplicados con gran éxito para unir hierro fundido, hierro dulce, hierro galvanizado, acero inoxidable, acero herramienta, cobre y sus aleaciones incluyendo cupro-níquel, proporcionan buena adhesión entre los metales a ser soldados, trabajan en CDPI.

Tabla XLIX. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA CuAl**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 1/8" (3,2mm)   | 90 – 130                          |
| 5/32" (4,0mm)  | 125– 165                          |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodos. p. 34.

- Propiedades mecánicas

- Resistencia a la tensión: 414 Mpa (60 000 Psi)
- Elongación en 51mm: 20 %

- Composición química según AWS

Tabla L. **Composición química del electrodo ECA CuAl**

| Elemento              | Al           | Fe              | Cu      | Si          | Pb           |
|-----------------------|--------------|-----------------|---------|-------------|--------------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 6.5 –<br>0.9 | 0,5<br>–<br>5,0 | Balance | 1,5<br>Máx. | 0,02<br>Máx. |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 34.

- Procedimientos para soldar

Las piezas con espesores mayores a ¼” (6,4 mm) deben ser precalentadas. Para materiales a base de hierro de 95 a 150 °C, para bronce de 150 a 210 °C para latones y otros materiales de 260 a 315 °C.

- Aplicaciones

Son aplicados en hierro colado, hierro maleable, acero galvanizado, hierro colado con broce, bronce, aluminio, silicio, latón, latón con acero, cupro-níquel 90/10 y 70/30, acero herramientas, cobre con acero, carcasas de bombas, cajas de condensadores, pistones hidráulicos, poleas locas, ganchos de inmersión, rodillos de fábricas de papel, bases de motores, impulsores de bombas, engranes y flechas, pistones de prensas, hélices, álabes de turbina, mandriles de ajuste.

#### 2.3.2.4.2. ECA CuSn

- Especificaciones

Son electrodos de bronce fosfatado, los cordones de soldadura aplicados poseen una adecuada conductividad eléctrica y buena resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas, poseen alta calidad y bajo costo para soldar bronce y latón, su revestimiento está diseñado para formar un arco estable y realizar depósitos libres de poros, grietas y poca salpicadura, cuando las piezas con espesores mayores a 1/4" (6,4 mm) deben ser precalentadas a una temperatura mínima de 250 °C, se utilizan con corriente directa polaridad invertida (CDPI)..

Tabla LI. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA CuSn**

| <b>Medidas</b> | <b>Amperajes recomendados (A)</b> |
|----------------|-----------------------------------|
| 1/8" (3,2mm)   | 90 – 130                          |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 35.

- Propiedades mecánicas
  - Resistencia a la tensión: 240 Mpa (35 000 Psi)
  - Elongación: 20 %

- Composición química según AWS

Tabla LII. **Composición química del electrodo ECA CuSn**

| <b>Elemento</b>       | Pb          | Fe            | Sn              | P            | Cu        | Al           |
|-----------------------|-------------|---------------|-----------------|--------------|-----------|--------------|
| <b>Porcentaje (%)</b> | 0,2<br>Máx. | 0,025<br>Máx. | 4,0<br>–<br>6,0 | 0,05<br>Máx. | Remanente | 0,01<br>Máx. |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electroodos. p. 35.

- Aplicaciones

Son aplicados en soldaduras para hierro colado y aceros al carbono, para utilería para procesos químicos, bujes, cojinetes, resortes, interruptores, contactos eléctricos, impulsores, componentes de válvulas, engranajes y herrajes marinos de bronce.

### **2.3.2.5. Electroodos de aluminio**

Con este tipo de electrodo se debe tener un cuidado sumamente alto por su capacidad de absorción a la humedad, lo que provoca que el revestimiento del electrodo se descomponga.

#### **2.3.2.5.1. ECA Al 4043**

- Especificaciones

Esta clase de electrodos poseen una cobertura que les provee de un gas para proteger el arco.

Su arco es encendido de forma rápida, proporcionan un fundente para disolver la alúmina y una escoria protectora para cubrir el cordón de soldadura, causan poca salpicadura, remueve los óxidos, poseen buenas propiedades de unión y fluidez capilar, son utilizados con CDPI.

Tabla LIII. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA AI 4043**

| Medidas       | Amperajes recomendados (A) |
|---------------|----------------------------|
| 1/8" (3,2mm)  | 70 - 100                   |
| 5/32" (4,0mm) | 95 - 125                   |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 37.

- Propiedades mecánicas
  - Resistencia a la tensión: 97 Mpa (14 000 Psi)
- Composición química según AWS

Tabla LIV. **Composición química del electrodo ECA AI 4043**

| Elemento       | Si        | Zn        | Mn        | Cu        | Al        | Mg        | Ti        | Be          | Otros     |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| Porcentaje (%) | 4,5 – 6,0 | 0,10 Máx. | 0,05 Máx. | 0,03 Máx. | Remanente | 0,05 Máx. | 0,20 Máx. | 0,0008 Máx. | 0,15 Máx. |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 37.

- Aplicaciones

Pueden ser aplicados con soplete, utilizando su fundente ligeramente carburante, para unir y revestir aleaciones y fundiciones del tipo AlSi, empleado en pailería de aluminio, construcciones de estructuras arquitectónicas, fabricación y reparación de moldes, corrección de defectos de fundición, tanques y recipientes para industria papelera y aceitera, en mantenimiento. Utilizados para la reparación de componentes de la industria de aviación, química, alimentaria y agroindustrial.

### 2.3.2.6. Electrodo para herramienta

Este tipo de electrodo es utilizado específicamente para cortar.

#### 2.3.2.6.1. ECA Corte

- Especificaciones

Son electrodos utilizados como herramienta de corte, no requiere compresor de aire o fuentes de poder especiales, soporta la elevada corriente de trabajo sin perder la potencia en el arco, se utiliza con corriente alterna (CA), corriente directa polaridad invertida (CDPI) y polaridad directa (CDPD).

Tabla LV. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Corte**

| Medidas       | Amperajes recomendados (A) |
|---------------|----------------------------|
| 1/8" (3,2mm)  | 150 - 250                  |
| 5/32" (4,0mm) | 200-300                    |
| 3/16" (4,8mm) | 250 - 400                  |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 23.

- Propiedades mecánicas

- Resistencia a la tensión: 70 000 Psi
- Límite elástico: 58 000 Psi
- Procedimientos para cortar o biselar

Conectar el portaelectrodo en la polaridad adecuada para realizar el proceso de trabajo, preferentemente colocarlo con un ángulo agudo de 15 grados aproximadamente, realizar un movimiento de adelante hacia atrás para ayudar a soplar el metal en fusión repitiendo el procedimiento hasta logra la profundidad del corte o bisel según sea el caso. La máquina soldadora debe tener suficiente capacidad para soportar una carga elevada por cortos tiempos, 200 amperios como mínimo, en AC puede utilizarse con alto voltaje de circuito abierto.

- Aplicaciones

Esta clase de electrodos se utiliza como herramienta para cortar, biselar, achaflanar o ranurar metales de forma rápida y sin usar equipo especial.

### **2.3.2.7. Microalambre sólido para proceso MIG**

El microalambre es un material muy fino utilizado para soldar en procesos donde se requiera una producción basta.

#### **2.3.2.7.1. ECA Mig S-6**

- Especificaciones

Microalambre sólido de acero al carbono con manganeso y silicio, revestido con una fina película de cobre la cual previene la oxidación y facilita la transferencia del material, proporciona propiedades mecánicas notables, su encarretado uniforme permite una alimentación continua para realizar puntos y cordones de soldadura en toda posición. Su balance en los componentes químicos ayuda a tener una soldabilidad sobresaliente creando una apariencia excelente en el cordón, dando como resultado una superficie tersa y una limpieza mínima posterior a la soldadura.

Tabla LVI. **Especificaciones de fabricación del electrodo ECA Mig S-6**

| <b>Diámetro del alambre</b> | <b>Amperajes (A) recomendados</b> | <b>Voltajes (v) recomendados</b> | <b>Protección con gas CO<sub>2</sub>(ft<sup>3</sup>/hr)</b> |
|-----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| 0.023" (0,584mm)            | 30 - 90                           | 14 - 19                          | 15 – 20   |
| 0,030" (0,762mm)            | 40 - 145                          | 15 - 21                          | 20 – 25   |
| 0,035" (0,89mm)             | 50 - 180                          | 16 - 24                          | 20 – 25   |
| 0,045 (1,14mm)              | -                                 | -                                | -   |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 40.

- Propiedades mecánicas
  - Resistencia a la tensión: 480 Mpa (70 000 Psi)
  - Esfuerzo de cedencia: 400 Mpa (58 000 Psi)
  - Resistencia al impacto: 27 joules a 30 °C
  - Elongación: 22 %
- Composición química según AWS

Tabla LVII. **Composición química del electrodo ECA Mig S-6**

| Elemento       | C                 | Mn                | S            | Si                | P            | Cu   | Ni           | Cr           | Mo           | V            |
|----------------|-------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Porcentaje (%) | 0,06<br>–<br>0,15 | 0,40<br>–<br>1,85 | 0,35<br>Máx. | 0,80<br>–<br>1,15 | 0,35<br>Máx. | 0,50 | 0,15<br>Máx. | 0,15<br>Máx. | 0,15<br>Máx. | 0,03<br>Máx. |

Fuente: Catálogo técnico ECA Electrodo. p. 39.

- **Aplicaciones**

Es empleado en el proceso de soldadura para láminas, placas, perfiles y cualquier forma de material base en pasos sencillos o múltiples, utilizado en materiales oxidados, con residuos de pintura, grasa o cualquier agente contaminante, empleado para unir cualquier tipo de acero al carbono comercial, para la fabricación de equipos, estructuras, ensambles y reparación en materiales delgados, generalmente donde se requiere de alta calidad en la soldadura, rapidez, limpieza y un costo bajo de producción.

Figura 17. **Microalambre para el proceso de soldadura MIG/MAG**



Fuente: ECA Electrodo.

### **3. GENERALIDADES DEL MATERIAL DE APORTE**

#### **3.1. Material de aporte en soldadura**

El material de aporte en el proceso de soldadura estriba, generalmente en varillas con propiedades físicas y químicas semejantes a las del material base a ser soldado, es el metal que se utiliza para rellenar y formar cordones de soldadura de acuerdo a especificaciones.

El material de aporte varía sus especificaciones como sus características físicas, químicas, valores de diámetro y longitud, dependiendo a qué proceso de soldadura sea destinado y estos parámetros de diseño están reglamentados por la Norma AWS American Welding Society (Sociedad Americana de la Soldadura).

#### **3.2. Tipos de material de aporte**

El material de aporte puede ser un electrodo revestido, una varilla metálica sin revestimiento o un electrodo continuo con o sin fundente incorporado, de acuerdo al proceso de soldadura a utilizar.

Los tipos generales de material de aporte utilizados en la industria son las varillas de acero, varillas de acero inoxidable, varillas de aluminio, varillas de bronce, varillas de cromo cobalto, varillas de plata, varillas de fundición y el microalambre.

### **3.3. Aplicaciones del material de aporte**

El material de aporte es aplicado en la industria de acuerdo a especificaciones que esta requiera, puede ser aplicado en la industria química, alimentaria, petrolera, agroindustrial, cementera, de aviación, ingenios azucareros, empleados en herramienta de corte, en la fabricación y reconstrucción de piezas de maquinaria pesada como motores, bombas, turbinas, calderas, utilizado como protección contra la corrosión.

## **4. APLICACIÓN DE LOS ELECTRODOS**

Los electrodos deben aplicarse de manera correcta como ya se ha mencionado anteriormente, siguiendo las especificaciones adecuadas en el manual del fabricante para obtener un proceso de soldadura apropiado.

### **4.1. Electrodo empleados en acero al carbono**

Los electrodos utilizados para este tipo de acero son los del tipo celulósico, entre los que se encuentran el E-6010, E-6011, del tipo rutilico se utiliza el E-6013 y del tipo bajo hidrógeno que se utiliza el E-7018.

#### **4.1.1. Electrodo E-6010, E-6011 y E-7018 de 1/8"**

En esta aplicación se utilizan los electrodos E-6010 y E-6011 para realizar los puntos de unión entre platina y platina y el cordón de penetración y el electrodo E-7018, utilizado para el cordón de revestimiento o presentación en platinas de ½ pulgadas de espesor 4 pulgadas de ancho y 6 pulgadas de largo aplicados en posición de ángulo interior vertical ascendente.

#### **4.1.1.1. Soldadura en ángulo interior posición vertical ascendente**

Esta posición para soldar es común encontrarla en la industria.

##### **4.1.1.1.1. Proceso de ejecución**

- Preparar todo el equipo de soldadura de manera segura para evitar cualquier tipo de accidente.
- Colocarse todo el equipo de seguridad personal que incluye: la careta, mangas, gabacha, guantes y polainas de cuero o amianto, la mascarilla, lentes, y tapones para los oídos.
- Limpiar muy bien las piezas con un cepillo de alambre para eliminar todo agente contaminante, principalmente el óxido y rebabas.
- Ajustar en la máquina soldadora el amperaje adecuado para trabajar según el electrodo a utilizar.
- Puntear las piezas en los extremos y en el centro del lado contrario donde se efectuará la soldadura con electrodo E-6011, de manera que queden perpendiculares, es decir que formen un ángulo de 90 grados entre sí.
- Ejecutar el cordón de raíz o penetración con electrodo E-6010 utilizando el amperaje adecuado para que exista buena fusión entre las dos piezas.
- Limpiar el cordón de raíz concienzudamente eliminando correctamente la escoria utilizando un picador y un cepillo de alambre.
- Depositar el cordón de revestimiento o presentación con electrodo E-7018, oscilando el electrodo hacia los lados con movimientos en zig-zag lateral o semicircular tomando como referencia el cordón de raíz.
- Finalmente eliminar la escoria cuando la pieza esté completamente fría, con un picador y cepillo de alambre y eliminar las salpicaduras con un martillo y cincel.

Figura 18. **Soldadura en ángulo interior posición vertical ascendente**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.1.2. Electrodo E-6011 de 3/32" y E-6013 de 1/8"**

Para esta aplicación se utiliza el electrodo E-6011, para realizar los puntos de unión entre pieza y pieza y el cordón de penetración o raíz y el electrodo E-6013 para el cordón de revestimiento o presentación en tubería de 4" de diámetro y platinas de 3/8" de espesor.

#### **4.1.2.1. Soldadura en tubo fijo en posición horizontal**

Esta posición para soldar se encuentra en tuberías fijas.

##### **4.1.2.1.1. Proceso de ejecución**

- Preparar todo el equipo de soldadura de manera segura para evitar cualquier tipo de catástrofe.
- Colocarse todo el equipo de protección personal que comprende: la careta, mangas, gabacha, guantes y polainas de cuero o amianto, la mascarilla, lentes y tapones para los oídos.
- Ajustar en la máquina soldadora el amperaje adecuado para trabajar según el electrodo a utilizar.
- Obtener dos piezas de tubo cédula 40 de 4" de diámetro y 3" de largo cada una.
- Limpiar muy bien las piezas con un cepillo de alambre para eliminar todo agente contaminante principalmente el óxido, grasas y rebabas.
- Preparar las orillas de ambas piezas biselando cada una con un ángulo aproximado de 30° dejando un hombro entre 2 y 3 mm de espesor.
- Para puntear las piezas colocar una de ellas en un perfil angular invertido, dejar el diámetro del núcleo como separación entre las piezas. Puntear en 4 sitios diametralmente opuestos con electrodo E-6011.
- Ejecutar el cordón de raíz o penetración con electrodo E-6011, iniciando en el centro del tubo por la parte de abajo, en posición sobre cabeza, se continúa aplicando en posición vertical ascendente, luego en posición plana hasta el centro del tubo en la parte superior, realizar el mismo procedimiento en la otra mitad del tubo.

- Limpiar el cordón de raíz correctamente, eliminando la escoria utilizando un picador y un cepillo de alambre.
- Depositar el cordón de revestimiento o presentación con electrodo E-6013, oscilando el electrodo hacia los lados con movimientos en zig-zag lateral o semicircular tomando como referencia el cordón de raíz y siguiendo el mismo orden de aplicación de los cordones.
- Finalmente eliminar la escoria cuando la pieza esté completamente fría con un picador y cepillo de alambre y eliminar las salpicaduras con un martillo y cincel.

Figura 19. **Soldadura en tubo fijo en posición horizontal, cordón de penetración o de raíz**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Soldadura en tubo fijo en posición horizontal, cordón de presentación**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.1.2.2. Depósito de cordones angostos en posición plana horizontal**

Esta posición para soldar es comúnmente utilizada en piezas que no requieran de reparaciones mayores.

##### **4.1.2.2.1. Proceso de ejecución**

- Preparar todo el equipo de soldadura de manera segura para evitar cualquier tipo de accidente.
- Colocarse todo el equipo de seguridad personal que comprende la careta, las mangas, la gabacha, los guantes y polainas de cuero o amianto, la mascarilla, lentes, tapones para los oídos.
- Ajustar en la máquina soldadora el amperaje adecuado, para trabajar según el electrodo a utilizar.

- Utilizar una pieza de 6" de largo, 4" de ancho y 3/8" de espesor.
- Limpiar muy bien la pieza con un cepillo de alambre para eliminar todo agente contaminante principalmente el óxido, grasas y aceites.
- Trazar sobre la pieza líneas paralelas entre sí a una distancia de 17 mm cada una, sobre las líneas realizar marcas usando un granete y un matillo.
- Ejecutar el depósito de cordones usando como guía las marcas, deben ser aplicados alternadamente.
- Limpiar los cordones adecuadamente, eliminando la escoria utilizando un picador y un cepillo de alambre, también debe de realizarse la limpieza conforme se van depositando los cordones.

Figura 21. **Depósito de cordones angostos en posición plana horizontal**



Fuente: elaboración propia.

### **4.1.2.3. Depósito de cordones anchos en posición plana horizontal**

Los cordones de soldadura anchos se utilizan, generalmente en piezas donde el daño sea muy grave y se necesite cubrir este.

#### **4.1.2.3.1. Proceso de ejecución**

- Preparar todo el equipo de soldadura de manera segura para evitar cualquier tipo de accidente.
- Colocarse todo el equipo de seguridad personal que comprende: careta, mangas, gabacha, guantes y polainas de cuero o amianto, mascarilla, lentes y tapones para los oídos.
- Ajustar en la máquina soldadora el amperaje en un 15 % o 20 % más que el utilizado anteriormente.
- Utilizar una pieza de 6" de largo, 4" de ancho y 3/8" de espesor, que será la misma que se utilizó en el proceso anterior.
- Limpiar muy bien los cordones de soldadura con un cepillo de alambre, para eliminar todo óxido y escoria residual.
- Ejecutar la aplicación de cordones iniciando el depósito a partir del centro de uno de los cordones angostos, desplazándose hasta llegar al centro del cordón paralelo a este, esta aplicación debe realizarse alternadamente con movimientos de zig-zag lateral, semicircular, circular o entrelazado.
- Finalmente limpiar los cordones adecuadamente, eliminando la escoria utilizando un picador y un cepillo de alambre, también debe de realizarse la limpieza conforme se van depositando los cordones.

Figura 22. **Depósito de cordones anchos en posición plana horizontal**



Fuente: elaboración propia.

## **4.2. Electrodo empleado en acero inoxidable**

Los electrodos utilizados para este tipo de acero son el E308-L, en dos diferentes medidas.

### **4.2.1. Electrodo E308-L 3/32" y 1/8"**

En esta aplicación se utiliza el electrodo E308-L de 3/32", para realizar los puntos de unión entre platina y platina y el cordón de raíz o penetración y el electrodo E308-L de 1/8" para el cordón de revestimiento o presentación en platinas de 1/8" de espesor, 4" de ancho y 6" de largo aplicados en posición plana horizontal a tope "I" y en posición en ángulo interior.

#### **4.2.1.1. Soldadura a tope en I en posición plana horizontal**

Esta posición es utilizada en piezas de espesores menores a 4 milímetros.

##### **4.2.1.1.1. Proceso de ejecución**

- Preparar todo el equipo de soldadura de manera segura para evitar cualquier tipo de accidente.
- Colocarse todo el equipo de seguridad personal que incluye: careta, mangas, gabacha, guantes y polainas de cuero o amianto, mascarilla, lentes y tapones para los oídos.
- Limpiar concienzudamente las piezas con un cepillo de cerdas de acero inoxidable o de bronce para eliminar todo agente contaminante principalmente el óxido.
- Ajustar en la máquina soldadora el amperaje adecuado para trabajar según el electrodo a utilizar.
- Puntear las piezas en los extremos y en el centro del lado contrario donde se efectuará la soldadura con electrodo E308-L de 3/32", dejando una separación entre platina y platina del tamaño de diámetro de electrodo.
- Ejecutar el cordón de raíz o penetración con el mismo electrodo, utilizando el amperaje adecuado para que exista buena fusión entre las dos piezas.
- Limpiar el cordón de raíz concienzudamente, eliminando correctamente la escoria utilizando un picador y un cepillo de cerdas da acero inoxidable o de bronce.

- Depositar el cordón de revestimiento o presentación con electrodo E308-L de 1/8", de una sola pasada, el cordón de soldadura debe ser iniciado lentamente y luego ir incrementando la velocidad paulatinamente.
- Finalmente eliminar la escoria cuando la pieza esté completamente fría con un picador y cepillo de cerdas de acero inoxidable o de bronce con el cuidado de no acercarse a la soldadura, porque a causa de las tensiones y contracciones del material, la escoria tiende a saltar estando la pieza aún muy caliente y eliminar las salpicaduras con un martillo y cincel.

Figura 23. **Soldadura a tope en I en posición plana horizontal, cordón de penetración o de raíz**



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Soldadura a tope en I en posición plana horizontal, cordón de presentación aun con la escoria**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Soldadura a tope en I en posición plana horizontal, cordón de presentación sin cepillar**



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Soldadura a tope en I en posición plana horizontal, cordón de presentación cepillado**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.1.2. Soldadura en ángulo interior en posición plana horizontal**

Esta posición para soldar debe ser muy exacta, porque deben ser soldadas ambas piezas en proporciones iguales.

##### **4.2.1.2.1. Proceso de ejecución**

- Preparar todo el equipo de soldadura de manera segura para evitar cualquier tipo de incidente lamentable.
- Colocarse todo el equipo de protección personal que incluye: careta, mangas, gabacha, guantes y polainas de cuero o amianto, mascarilla, lentes y tapones para los oídos.

- Limpiar concienzudamente las piezas con un cepillo de cerdas de acero inoxidable o de bronce, para eliminar todo agente contaminante principalmente el óxido.
- Ajustar en la máquina soldadora el amperaje adecuado para trabajar según el electrodo a utilizar.
- Puntear las piezas en los extremos y en el centro del lado contrario donde se efectuará la soldadura con electrodo E308-L de 3/32", de manera que ambas platinas queden perpendicular, es decir a 90° entre sí
- Ejecutar el cordón de raíz o penetración con el mismo electrodo utilizando el amperaje adecuado, para que exista buena fusión entre las dos piezas, de una sola pasada.
- Limpiar el cordón de raíz concienzudamente eliminando correctamente la escoria utilizando un picador y un cepillo de cerdas de acero inoxidable o de bronce.
- Depositar el cordón de revestimiento o presentación con electrodo E308-L de 1/8", de una sola pasada, el cordón de soldadura debe ser iniciado lentamente y luego ir incrementando la velocidad paulatinamente, sin movimiento de oscilación al electrodo.
- Finalmente eliminar la escoria cuando la pieza esté completamente fría con un picador y cepillo de cerdas de acero inoxidable o de bronce con el cuidado de no acercarse a la soldadura, porque a causa de las tensiones y contracciones del material, la escoria tiende a saltar estando la pieza aún muy caliente y eliminar las salpicaduras con un martillo y cincel.

Figura 27. **Soldadura en ángulo interior en posición plana horizontal**



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Cepillos cerdas de bronce y electrodo para acero inoxidable**



Fuente: Instituto Técnico de Capacitación y Productividad INTECAP CG2.

### **4.3. Electrodo empleados en hierro fundido**

El electrodo utilizado para este tipo de acero es el ECA Nifer 60, en medida de 1/8" en partes de piezas una es la carcasa de un compresor y en el cilindro de un camión para carga.

#### **4.3.1. Electrodo ECA Nifer 60 de 1/8"**

En esta aplicación, para realizar los puntos de unión entre cada pieza, el cordón de raíz o penetración y el cordón de revestimiento o presentación se utiliza el mismo electrodo. Este tipo de soldaduras se debe realizar con gran cuidado siguiendo las recomendaciones en el manual del fabricante, porque el hierro fundido es un material muy frágil, debido al contenido de carbono que poseen.

##### **4.3.1.1. Soldadura a tope con bisel en V en posición plana horizontal**

Esta soldadura se realizada en piezas con espesores a partir de los 4 milímetros.

##### **4.3.1.1.1. Proceso de ejecución**

- Preparar todo el equipo de soldadura de manera segura, para evitar cualquier tipo de accidente lamentable.
- Colocarse todo el equipo de protección personal que incluye: careta, mangas, gabacha, guantes y polainas de cuero o amianto, mascarilla, lentes y tapones para los oídos.

- Limpiar las piezas con un cepillo de cerdas de alambre para eliminar todo agente contaminante.
- Ajustar en la máquina soldadora el amperaje adecuado para trabajar según el electrodo a utilizar.
- Biselar las dos piezas dejándoles un hombro de aproximadamente 2mm de espesor o dependiendo del grosor de las piezas.
- Puntear las piezas en los extremos y en el centro del lado contrario donde se efectuará la soldadura.
- Ejecutar el cordón de raíz o penetración con el mismo electrodo, utilizando el amperaje adecuado para que exista buena fusión entre las dos piezas, los cordones deben ser depositados aproximadamente con 1" de longitud y alternadamente.
- Terminado el cordón de raíz, limpiarlo concienzudamente, eliminando correctamente la escoria utilizando un picador y un cepillo de cerdas de acero inoxidable o de bronce.
- Depositar el cordón de revestimiento o presentación con el mismo tipo de electrodo, alternado los cordones que tendrán una longitud de 1" aproximadamente.
- Finalizada la soldadura, introducir la pieza en un recipiente con cal, para que esta vaya enfriando poco a poco.
- Finalmente terminado el cordón de presentación, eliminar la escoria cuando la pieza esté completamente fría con un picador y cepillo de alambre.

Nota: los cordones de soldadura deben aplicarse uno por uno y esperando un tiempo adecuado, dándole para que la pieza alcance una temperatura donde se aguante a tocarla con el lado contrario a la palma de la mano, esto para evitar agrietamientos o fracturas por el exceso de calor.

**Figura 29. Soldadura a tope con bisel en V en posición plana horizontal, pieza punteada, carcasa de compresor**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 30. Soldadura a tope con bisel en V en posición plana horizontal, cordones de raíz**



Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Soldadura a tope con bisel en V en posición plana horizontal, cordones de presentación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Soldadura a tope con bisel en V en posición plana horizontal, cordones de presentación, cilindro de camión**

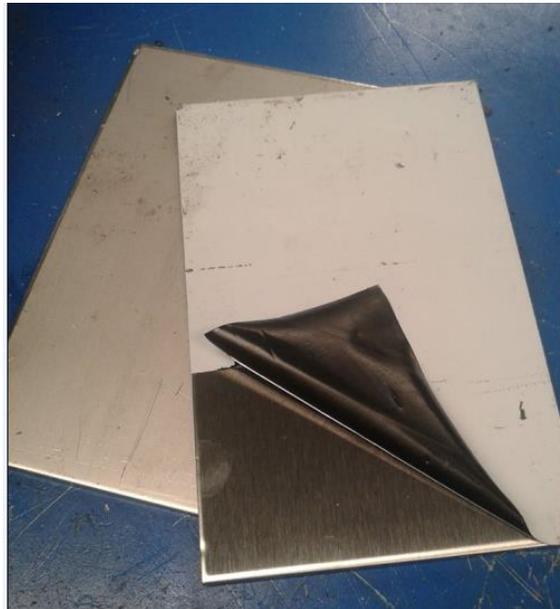


Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Electrodo empleado en aluminio

El electrodo utilizado para este tipo de material es el ECA Al 4043, en medida de 1/8" en platinas de 1/8" de espesor, 4" de ancho y 6" de largo en posición plana vertical, plana horizontal a tope y en ángulo interior.

Figura 33. **Platinas de aluminio**



Fuente: Instituto Técnico de Capacitación y Productividad, Intecap CG2.

##### 4.4.1. Electrodo ECA Al 4043 de 1/8"

En esta aplicación, para realizar los puntos de unión entre pieza y pieza, el cordón de raíz o penetración y el cordón de revestimiento o presentación se utilizan el mismo electrodo. Para realizar este proceso se debe tener una limpieza muy cuidadosa, eliminando todo agente contaminante y principalmente, el óxido de aluminio llamado alúmina.

#### **4.4.1.1. Depósito de cordón de soldadura en posición plana vertical**

Esta posición de soldadura se realiza en cualquier pieza de trabajo.

##### **4.4.1.1.1. Proceso de ejecución**

- Preparar todo el equipo de soldadura de manera segura para evitar cualquier tipo de accidente lamentable.
- Colocarse todo el equipo de protección personal que incluye: careta, mangas, gabacha, guantes y polainas de cuero o amianto, mascarilla, lentes y tapones para los oídos.
- Ajustar en la máquina soldadora el amperaje adecuado para trabajar según el electrodo a utilizar.
- Limar y limpiar la pieza con un cepillo de cerdas de acero inoxidable o de bronce para eliminar todo agente contaminante, principalmente la alúmina. Pasar un algodón con acetona en el área donde se realizará el cordón de soldadura.
- Ejecutar el cordón de soldadura, iniciando lentamente para romper la capa de óxido que se va formando del medio ambiente, teniendo el debido cuidado de incrementar la velocidad durante el avance.
- Terminado el cordón de soldadura dejar enfriar a temperatura ambiente y limpiarlo concienzudamente, eliminando correctamente la escoria utilizando un picador y un cepillo de cerdas de acero inoxidable o de bronce.

Figura 34. **Depósito de cordón de soldadura en posición plana vertical**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.4.1.2. Soldadura a tope en I en posición plana horizontal**

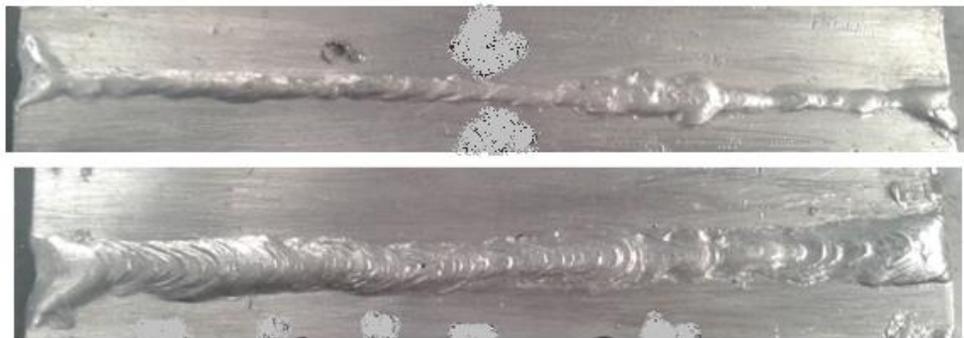
Se utiliza para piezas de aluminio que tienen un espesor menor a 4 milímetros.

##### **4.4.1.2.1. Proceso de ejecución**

- Preparar todo el equipo de soldadura de manera segura para evitar cualquier tipo de incidente lamentable.
- Colocarse todo el equipo de seguridad personal que incluye: careta, mangas, gabacha, los guantes y polainas de cuero o amianto, mascarilla, lentes y tapones para los oídos.

- Ajustar en la máquina soldadora el amperaje adecuado para trabajar según el electrodo a utilizar.
- Limar y limpiar la pieza con un cepillo de cerdas de acero inoxidable o de bronce eliminando el brillo superficial y rectificar el borde de las piezas, para eliminar todo agente contaminante, principalmente la alúmina. Pasar un algodón con acetona en los bordes de las piezas donde se realizará el cordón de soldadura.
- Puntear los extremos de las piezas del lado contrario donde se realizará la soldadura, dejando como separación 1/16”.
- Ejecutar el cordón, iniciando lentamente para romper la capa de óxido que se va formando del medio ambiente, teniendo el debido cuidado de incrementar la velocidad durante el avance.
- Finalmente dejar enfriar a temperatura ambiente la pieza y limpiar el cordón concienzudamente, pero muy cuidadosamente para eliminar correctamente la escoria, utilizando un picador y un cepillo de cerdas de acero inoxidable o de bronce.

Figura 35. **Soldadura a tope en I en posición plana horizontal, cordón de raíz y presentación**



Fuente: elaboración propia.

### **4.4.1.3. Soldadura en ángulo interior en posición plana horizontal**

Esta posición de soldadura se encuentra en cualquier pieza compleja que posea ángulos.

#### **4.4.1.3.1. Proceso de ejecución**

- Preparar todo el equipo de soldadura de manera segura para evitar cualquier tipo de accidente.
- Colocarse todo el equipo de protección personal que incluye: careta, mangas, gabacha, los guantes y polainas de cuero o amianto, mascarilla, lentes y tapones para los oídos.
- Limar y limpiar la pieza con un cepillo de cerdas de acero inoxidable o de bronce, eliminando el brillo superficial y rectificar el borde de las piezas, para eliminar todo agente contaminante, principalmente la alúmina. Pasar un algodón con acetona en los bordes de las piezas donde se realizará el cordón de soldadura.
- Ajustar en la máquina soldadora el amperaje adecuado para trabajar según el electrodo a utilizar.
- Puntear las piezas en los extremos y en el centro del lado contrario donde se efectuará la soldadura, de manera que, ambas platinas queden perpendicular, es decir a 90 grados entre sí.
- Ejecutar el cordón, iniciando lentamente, para romper la capa de óxido que se va formando del medio ambiente, teniendo el debido cuidado de incrementar la velocidad durante el avance.

- Finalmente dejar enfriar a temperatura ambiente la pieza y limpiar el cordón concienzudamente, pero muy cuidadosamente para eliminar correctamente la escoria utilizando un picador y un cepillo de cerdas de acero inoxidable o de bronce.

Figura 36. **Soldadura en ángulo interior en posición plana horizontal**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.5. Empleo del microalambre en aceros al carbono**

El microalambre utilizado en esta aplicación es el ECA Mig S-6 en platinas de 3/8" de espesor, 4" de ancho y 6" de largo en posición plana vertical, plana horizontal a tope y en ángulo interior.

##### **4.5.1. Microalambre ECA Mig S-6**

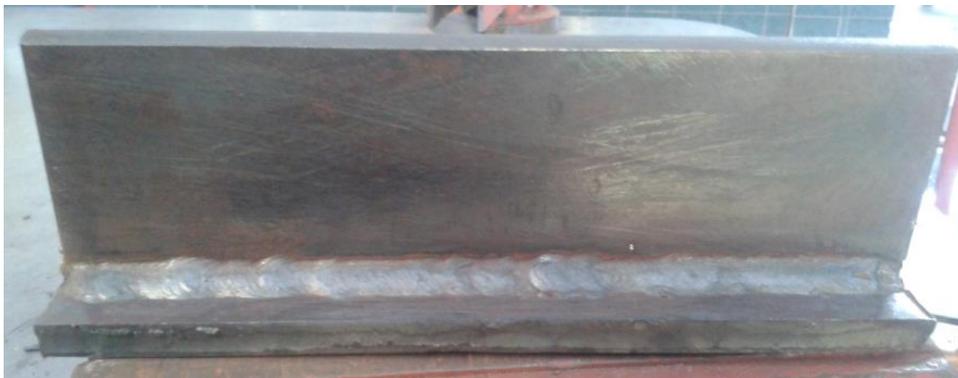
En esta aplicación, para realizar los puntos de unión entre pieza y pieza, el cordón de raíz o penetración y el cordón de revestimiento o presentación se utilizan el mismo electrodo. Su encarretado permite una alimentación continua.

Figura 37. **Soldadura a tope con bisel en V en posición vertical ascendente**



Fuente: Instituto Técnico de Capacitación y Productividad, Intecap CG2.

Figura 38. **Soldadura en ángulo interior posición plana horizontal**



Fuente: Instituto Técnico de Capacitación y Productividad, Intecap CG2.

Figura 39. **Soldadura en ángulo interior posición vertical ascendente**



Fuente: Instituto Técnico de Capacitación y Productividad, Intecap CG2.



## CONCLUSIONES

1. En Guatemala, los procesos de soldadura comúnmente utilizados son la soldadura eléctrica, la oxiacetilénica, la soldadura con electrodo de tungsteno y gas argón TIG, la soldadura de alambre electrodo continuo en atmósfera de gas protector MIG/MAG, la soldadura por plasma y la soldadura con arco sumergido bajo polvo fundente.
2. El principal material utilizado en los procesos de soldadura es el electrodo, el cual consiste en una varilla metálica elaborada de alambión, generalmente de acero al bajo carbono y acero inoxidable, que está revestida por diversos materiales fundentes.
3. En Guatemala son fabricados los electrodos destinados para la soldadura convencional, entre los que se encuentran los celulósicos, los rútilicos y los de bajo hidrógeno y cada uno de estos tiene sus propios tipos de electrodos específicos.
4. Guatemala distribuye y comercializa dentro de la región guatemalteca y centroamericana diferentes tipos de electrodos: acero inoxidable, hierro fundido, revestimientos duros, cobre y aleaciones de cobre, aluminio, para corte y el microalambre y cada uno de estos, con sus determinados electrodos.
5. El material de aporte utilizado en la soldadura, consiste en varillas realizadas con características físicas y químicas parecidas a las del material base a ser soldado.

6. La fabricación, tanto para los electrodos como para el material de aporte, está regida por normas establecidas que son la AWS, la ASTM y la ASME que verifican el cumplimiento del control de calidad que estos deben tener.
  
7. Los electrodos y el material de aporte son aplicados en la industria cementera, de aviación, agroindustrial, química, petrolera, alimentaria, en ingenios azucareros, de acuerdo a especificaciones que estas necesiten.

## RECOMENDACIONES

1. Toda persona que realice cualquier trabajo de soldadura debe utilizar equipo de protección personal, que consta de una careta, gabacha, mangas y polainas de cuero o amianto, casco de seguridad, mascarilla, lentes inactivos y protectores auditivos.
2. Antes de realizar un proceso de soldadura se debe inspeccionar que toda instalación y equipo de trabajo cumplan con las normas de seguridad e higiene industrial, para que garanticen la salud del personal.
3. Todo electrodo al ser utilizado debe ser guardado en recipientes herméticos a una temperatura aproximadamente de 100°C con el objetivo que estos no adquieran humedad del medio ambiente, para evitar cualquier tipo de defecto en el cordón de soldadura.
4. Cualquier pieza de trabajo que requiera de la soldadura, en las áreas donde se realizará el proceso, limpiar concienzudamente todo agente contaminante como la grasa, el aceite, los óxidos capaces de producir daños en el cordón de soldadura y biselar las piezas de acuerdo al espesor de las mismas.
5. La selección de los electrodos y el material de aporte debe basarse en especificaciones que se requieran.

6. A los fabricantes de electrodos: agregar a la gama de productos el 8018 B2, que es un electrodo consumible ampliamente utilizado en el país.
7. Cuando se suelde hierro fundido, cada vez que se realice el cordón de soldadura de 1", aproximadamente darle pequeños golpes con un martillo de goma, esto con el fin de liberar tensiones residuales.
8. Cuando se suelde aluminio, la velocidad de avance en el cordón de soldadura es muy importante, porque si el material alcanza la temperatura de fusión, las piezas se perforarán por sobrecalentamiento, si esto sucede, detenerse inmediatamente y dejar enfriar la pieza y reiniciar la soldadura con el fin de cubrir el agujero.
9. Cuando se termina de soldar en aluminio la pieza, debe dejarse enfriar completamente para poder eliminar toda la escoria, en lugar de utilizar el picador y cepillo es aconsejable eliminarla con agua caliente, con la intención de no lastimar el material debido a que el aluminio es un material dúctil.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ECA Electroodos [en línea]<http://www.ecaelectroodos.com/> [Consulta: octubre de 2013].
2. ECA *Electroodos, catálogo de electroodos*. 40 p.
3. IBARRA TEPEQUE, Byron O. *Aplicación del proceso de soldadura mig en la reparación de piezas de aluminio de combustión interna*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 68 p.
4. Indura. *Manual de sistemas y materiales de soldadura*. Chile: Indura. 2014.172 p.
5. Industria. *Soldadura al arco voltaico SEA*. Instituto Técnico de Capacitación y Productividad; Guatemala: Intecap, 2002. 241 p.
6. \_\_\_\_\_. *Soldadura con electrodo de tungsteno y gas argón, TIG*. 2a ed. Guatemala: Intecap, 2012. 151 p.
7. Infra. *Material de aporte para soldadura*. México: Infra.2014. 56 p.
8. Oerlikon. *Manual de soldadura y catálogo de productos*. Alemania: Oerlikon.2014. 300 p.

9. Revinca, C.A. *Procedimientos de soldadura*. Venezuela: Revnica, C.A. 2014.32 p.
10. SOLARES SALAZAR, Jonatan Benjamín. *Continuidad del proceso de trefilado empleando alambrión de acero SAE 1008 mediante el uso de monobloques individuales operados en serie*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 126 p.
11. Soldadura protocolo, *curso de procesos de manufactura*. [en línea] [http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3637\\_soldadura.pdf](http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3637_soldadura.pdf) [Consulta: marzo de 2014].

# ANEXOS

## Anexo 1. Certificado E-6010



**CERTIFICADO DE CALIDAD**

Producto: ECA E6010

Clasificación ASME/AWS: E6010

Especificaciones: ASME SFA 5.1-07      AWS A5.1-04      NMX-H-077-CANACERO-2009

Lote Clase: ASME SFA 5.01-07/C1      Nivel de Pruebas: ASME SFA 5.01-07/Programa F

**Composicion Quimica del Metal Depositado**

|           | %C    | %Mn   | %S    | %Si   | %Ni   | %Cr   | %Mo   | %V    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Resultado | 0.100 | 0.500 | 0.014 | 0.198 | 0.057 | 0.080 | 0.010 | 0.017 |
| AWS máx.  | 0.200 | 1.200 | NE    | 1.000 | 0.300 | 0.200 | 0.300 | 0.080 |

**Propiedades Mecánicas del Metal Depositado**

|           | Resistencia a la Tensión |       | Límite Elástico |       | Elongación | Impacto Charpy |
|-----------|--------------------------|-------|-----------------|-------|------------|----------------|
|           | Mpa                      | psi   | Mpa             | psi   | %          | J              |
| Resultado | 531                      | 77054 | 444             | 64402 | 29         | 58             |
| AWS mín.  | 430                      | 60000 | 330             | 48000 | 22         | 27             |

Declaramos que el producto cumple con las especificaciones indicadas y que los parámetros y resultados registrados en este documento fueron conducidos de acuerdo a los lineamientos establecidos en el código ASME sección II, parte C, 2007.

Si desea la mejor recomendación para la aplicación de este producto comuníquese al teléfono 2424-4200.





Ing. David Molina  
Jefe Control de Calidad

AVALADO POR LABORATORIO  
ACREDITADO ANTE "EMA"  
ACREDITACIÓN No. MM-0057-006/09  
VIGENTE A PARTIR DEL 2009/05/08

ECAELECTRODOS, S.A.  
31 CALLE 25-50 ZONA 12, COLONIA SANTA ELISA, GUATEMALA. TELEFONO PBX (502) 24244200 - FAX (502) 24429832

Fuente: ECA ElectroDOS.

Anexo 2. **Certificado E-6011**



**CERTIFICADO DE CALIDAD**

Producto: ECA E6011

Clasificación ASME/AWS: E6011

Especificaciones: ASME SFA 5.1-07      AWS A5.1-04      NMX-H-077-CANACERO-2009

Lote Clase: ASME SFA 5.01-07/C1      Nivel de Pruebas: ASME SFA 5.01-07/Programa F

**Composicion Quimica del Metal Depositado**

|           | %C    | %Mn   | %S    | %SI   | %NI   | %Cr   | %Mo   | %V    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Resultado | 0.100 | 0.500 | 0.014 | 0.198 | 0.057 | 0.080 | 0.010 | 0.017 |
| AWS máx.  | 0.200 | 1.200 | NE    | 1.000 | 0.300 | 0.200 | 0.300 | 0.080 |

**Propiedades Mecánicas del Metal Depositado**

|           | Resistencia a la Tensión |       | Limite Elástico |       | Elongación | Impacto Charpy |
|-----------|--------------------------|-------|-----------------|-------|------------|----------------|
|           | Mpa                      | psi   | Mpa             | psi   | %          | J              |
| Resultado | 610                      | 88444 | 478             | 69381 | 28         | 34             |
| AWS mín.  | 430                      | 60000 | 330             | 48000 | 22         | 27             |

Declaramos que el producto cumple con las especificaciones indicadas y que los parámetros y resultados registrados en este documento fueron conducidos de acuerdo a los lineamientos establecidos en el código ASME sección II, parte C, 2007.

Si desea la mejor recomendación para la aplicación de este producto comuníquese al teléfono 2424-4200.



Ing. David Molina  
Jefe Control de Calidad

AVALADO POR LABORATORIO  
ACREDITADO ANTE "EMA"  
ACREDITACION No. MM-0057-006/09  
VIGENTE A PARTIR DEL 2009/05/08

**ECAELECTRODOS, S.A.**

31 CALLE 25-50 ZONA 12, COLONIA SANTA ELISA, GUATEMALA. TELEFONO PBX (502) 24244200 - FAX (502) 24423832

Fuente: ECA Electroodos.

### Anexo 3. Certificado E-6013



#### CERTIFICADO DE CALIDAD

Producto: ECA E6013

Clasificación ASME/AWS: E6013

Especificaciones: ASME SECC. II PART. C SFA 5.1

NMX-H-077-CANACERO-2009

Método de Ensayo: ASTM E-8-2004

#### Composicion Quimica del Metal Depositado

|           | %C    | %Mn   | %P    | %S    | %Si   |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Resultado | 0.100 | 0.260 | 0.012 | 0.016 | 0.270 |
| AWS máx.  | 0.200 | 1.200 | NE    | NE    | 1.000 |

#### Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

|           | Resistencia a la Tensión |       | Limite Elástico |       | Elongación |
|-----------|--------------------------|-------|-----------------|-------|------------|
|           | Mpa                      | psi   | Mpa             | psi   | %          |
| Resultado | 579                      | 83919 | 488             | 70727 | 28         |
| AWS mín.  | 430                      | 60000 | 330             | 48000 | 17         |

Declaramos que el producto cumple con las especificaciones indicadas y que los parámetros y resultados registrados en este documento fueron conducidos de acuerdo a los lineamientos establecidos en el código ASME sección II, parte C, 2007.

Si desea la mejor recomendación para la aplicación de este producto comuníquese al teléfono 2424-4200.



Ing. David Molina  
Jefe Control de Calidad

AVALADO POR LABORATORIO  
ACREDITADO ANTE "EMA"  
ACREDITACION No. MM-0057-006/09  
VIGENTE A PARTIR DEL 2009/05/08

ECAELECTRODOS, S.A.  
31 CALLE 25-50 ZONA 12, COLONIA SANTA ELISA, GUATEMALA. TELEFONO PBX (502) 24244200 - FAX (502) 24429832

Fuente: ECA ElectroDOS.

Anexo 4. **Certificado E-7018**



**CERTIFICADO DE CALIDAD**

Producto: ECA E7018

Clasificación ASME/AWS: E7018

Especificaciones: ASME SFA 5.1-07 AWS A5.1-04

NMX-H-077-CANACERO-2009

Lote Clase: ASME SFA 5.01-07/C1

Nivel de Pruebas: ASME SFA 5.01-07/Programa F

**Composicion Quimica del Metal Depositado**

|           | %C    | %Mn   | %S    | %Si   | %Cr   | %Ni   | %Mo   | %P    | %V   | Mn+Ni+Cr+Mo+V |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---------------|
| Resultado | 0.060 | 1.200 | 0.009 | 0.488 | 0.074 | 0.050 | 0.030 | 0.012 | 0.02 | 1.37          |
| AWS máx.  | 0.150 | 1.600 | 0.035 | 0.750 | 0.200 | 0.300 | 0.300 | 0.035 | 0.06 | 1.75          |

**Propiedades Mecánicas del Metal Depositado**

|           | Resistencia a la Tensión |       | Límite Elástico |       | Elongación | Impacto Charpy | Humedad   |      |
|-----------|--------------------------|-------|-----------------|-------|------------|----------------|-----------|------|
|           | Mpa                      | psi   | Mpa             | psi   | %          | J              | Resultado | %    |
| Resultado | 531                      | 76971 | 434             | 62882 | 31         | 158            | Resultado | 0.24 |
| AWS mín.  | 490                      | 70000 | 400             | 58000 | 22         | 27             | AWS máx.  | 0.60 |

Declaramos que el producto cumple con las especificaciones indicadas y que los parámetros y resultados registrados en este documento fueron conducidos de acuerdo a los lineamientos establecidos en el código ASME sección II, parte C, 2007.

Si desea la mejor recomendación para la aplicación de este producto comuníquese al teléfono 2424-4200.



*David Molina*  
Ing. David Molina  
Jefe Control de Calidad

AVALADO POR LABORATORIO  
ACREDITADO ANTE "EMA"  
ACREDITACIÓN No. MM-0057-006/09  
VIGENTE A PARTIR DEL 2009/05/08

ECAELECTRODOS, S.A.  
31 CALLE 25-50 ZONA 12, COLONIA SANTA ELISA, GUATEMALA. TELEFONO PBX (502) 24244200 - FAX (502) 24423832

Fuente: ECA Electrodo.