



UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA
DE ALUMINIO, APLICADO EN LA RECONSTRUCCIÓN DE
CABEZOTES DE VEHÍCULOS, EN LA RECTIFICADORA DE
MOTORES M. NOBOA”**

AUTOR: José Fernando Cornejo Herrera

TUTOR: Ing. Mg. Jorge Enrique López Velástegui

AMBATO - ECUADOR

Agosto - 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA DE ALUMINIO, APLICADO EN LA RECONSTRUCCIÓN DE CABEZOTES DE VEHÍCULOS, EN LA RECTIFICADORA DE MOTORES M. NOBOA”**, elaborado por el Sr. **José Fernando Cornejo Herrera** portador de la cedula de ciudadanía: C.I. 0503438541 estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Agosto 2021

Ing. Mg. Jorge Enrique López Velástegui

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **José Fernando Cornejo Herrera**, con C.I. 0503438541 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema **“ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA DE ALUMINIO, APLICADO EN LA RECONSTRUCCIÓN DE CABEZOTES DE VEHÍCULOS, EN LA RECTIFICADORA DE MOTORES M. NOBOA”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Agosto 2021



José Fernando Cornejo Herrera

C.I. 0503438541

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Agosto 2021



José Fernando Cornejo Herrera

C.I. 0503438541

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante José Fernando Cornejo Herrera de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA DE ALUMINIO, APLICADO EN LA RECONSTRUCCIÓN DE CABEZOTES DE VEHÍCULOS, EN LA RECTIFICADORA DE MOTORES M. NOBOA”**.

Ambato, Agosto 2021

Para constancia firman:

Ing. Mg. Víctor Rodrigo Espín Guerrero
Miembro Calificador

Ing. Mg. María Belén Paredes Robalino
Miembro Calificador

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicada a mi madre Hilda, que, por su apoyo incondicional a través de la vida universitaria, motivándome a no rendirme, para lograr este nivel profesional.

A mi hermano Alberto que me ha sido una gran fuente de apoyo moral para culminar mi formación académica.

Fernando Cornejo

AGRADECIMIENTO

Agradezco sinceramente a Dios, por darme fuerzas para continuar viviendo, a pesar de mi condición.

Agradezco a los miembros que conforman la empresa M. Noboa principalmente a la ingeniera Catalina Noboa por poder abrirme las puertas para poder realizar el experimento y obtener los datos de la investigación.

Agradezco a mi tutor, por sus enseñanzas, paciencia y comprensión al ingeniero Jorge López para poder guiarme en este arduo trabajo experimental.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.1.1. Investigaciones preliminares.....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Hipótesis.....	5
1.4.1. Variable independiente	5
1.4.2. Variable dependiente.....	5
1.5. Marco Teórico.....	5
1.5.1. Aluminio	5
1.5.2. Obtención del aluminio	9
1.5.3. Soldabilidad del aluminio	16
1.5.4. Métodos para la eliminación del óxido de aluminio	19
1.5.5. Soldadura	21
1.5.6. Soldadura por electrodo revestido (SMAW).....	23
1.5.7. Soldadura de gas inerte de tungsteno (TIG).....	26
1.5.8. Tipos de gases de soldadura.....	31
1.5.9. Equipo de protección personal en soldadura.....	34

1.5.10. Estructuras de las uniones soldadas	35
1.5.11. Defectos en la soldadura	41
1.5.12. Discontinuidades de la soldadura.....	41
CAPÍTULO II	48
METODOLOGÍA	48
2.1. Materiales	48
2.1.1. Cabezote o culata	48
2.1.2. Materiales de conformación de la culata.....	48
2.1.3. Rectificadora	50
2.1.4. Soplete.....	51
2.1.5. Esmeril	51
2.1.6. Mordaza con base giratoria	52
2.1.7. Mesa de trabajo	52
2.1.8. Tintas penetrantes.....	52
2.1.9. Cepillo de acero inoxidable.....	55
2.1.10. Grata.....	56
2.1.11. Amoladora.....	56
2.1.12. Balde con agua	57
2.1.13. Guantes de cuero	57
2.1.14. Zapatos de cuero	57
2.1.15. Overol.....	58
2.2. Métodos.....	58
2.2.1. Nivel o tipo de investigación.....	58
2.2.2. Metodología	59
2.3. Plan de recolección de la información	71
2.4. Selección del equipo de soldadura	71
2.5. Selección de electrodo.....	93
2.6. Cálculo de amperaje de soldadura.....	94
2.7. Parámetros del afiliado del electrodo de tungsteno.....	94
2.8. Material de aporte	98
2.9. Parámetros para soldar aluminio	100
2.10. Defectos presentes en el cabezote	102
2.11. Diagrama de flujo de la recopilación de información del material y equipo ..	104
2.12. Diagrama para realizar la soldadura de reparación TIG	105

2.13. Diagrama de inspección de proceso de soldadura de reparación.....	106
2.14. Procedimiento para la realización de la soldadura.....	107
2.15. Plan de procesamiento y análisis	109
CAPÍTULO III.....	110
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	110
3.1. Análisis y discusión de resultados	110
3.1.1. Recolección de datos.....	110
Ficha 1: Reporte de ensayos de tintas penetrantes	113
Ficha 2: Reporte de ensayos de tintas penetrantes	115
Ficha 3: Reporte de ensayos de tintas penetrantes	117
Ficha 4: Reporte de ensayos de tintas penetrantes	119
Ficha 5: Reporte de ensayos de tintas penetrantes	121
Ficha 6: Reporte de ensayos de tintas penetrantes	123
Ficha 7: Reporte de ensayos de tintas penetrantes	125
Ficha 8: Reporte de ensayos de tintas penetrantes	127
Ficha 9: Reporte de ensayos de dureza	130
Ficha 10: Reporte de ensayos de dureza.	132
Ficha 11: Reporte de ensayos de dureza	134
Ficha 12: Reporte de ensayos de dureza	136
Ficha 13: Reporte de ensayos de dureza	138
3.1.2. Análisis de resultados.....	139
3.1.2.1. Análisis del comportamiento del experimento.....	141
3.2. Verificación de hipótesis.....	150
CAPÍTULO IV.....	151
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	151
4.1. Conclusiones	151
4.2. Recomendaciones.....	152
MATERIAL DE REFERENCIA	154
Referencias bibliográficas.....	154
ANEXOS	159

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS

Figura 1-1. Aplicaciones comunes del aluminio.....	7
Figura 1-2. Estructura cristalina del aluminio.....	7
Figura 1-3. Celdas de aluminio.....	8
Figura 1-4. Proceso Bayer.....	9
Figura 1-5. Diagrama binario.....	10
Figura 1-6. Diagrama aluminio-magnesio.....	15
Figura 1-7. Diagrama aluminio-silicio.....	16
Figura 1-8. Cepillo único para aluminio.....	19
Figura 1-9. Conexión directa-inversa.....	20
Figura 1-10. Químicos convencionales.....	20
Figura 1-11. Clasificación de la soldadura.....	22
Figura 1-12. Partes básicas de unión soldada.....	23
Figura 1-13. Proceso SMAW.....	24
Figura 1-14. Material de aporte de aluminio.....	26
Figura 1-15. Electrodo de aluminio.....	26
Figura 1-16. Proceso TIG.....	27
Figura 1-17. Componentes básicos de la soldadura TIG.....	28
Figura 1-18. Clasificación del electrodo de tungsteno.....	30
Figura 1-19. Gas argón-Indura.....	32
Figura 1-20. Gas helio-Indura.....	32
Figura 1-21. Gas nitrógeno-Indura.....	33
Figura 1-22. Conductividad térmica de los gases.....	34
Figura 1-23. E.P.P. de operario.....	35
Figura 1-24. Discontinuidades de soldaduras.....	42
Figura 1-25. Grietas.....	42
Figura 1-26. Falta de penetración.....	43
Figura 1-27. Concavidad.....	43
Figura 1-28. Concavidad interna.....	44
Figura 1-29. Socavadura.....	44
Figura 1-30. Salpicadura.....	44
Figura 1-31. Falta de continuidad del cordón.....	45
Figura 1-32. Fisura longitudinal.....	45
Figura 1-33. Fisuras.....	46

Figura 1-34. Descuelgues.....	46
Figura 1-35. Porosidades	47
Figura 1-36. Deformaciones	47
Figura 2-1. Cabezote de motor.....	48
Figura 2-2. Cabezote de motor-aluminio	49
Figura 2-3. Cabezote de motor-hierro fundido	50
Figura 2-4. Rectificadora	50
Figura 2-5. Soplete.....	51
Figura 2-6. Esmeril	51
Figura 2-7. Mordaza con base giratoria	52
Figura 2-8. Mesa de trabajo	52
Figura 2-9. Tintas penetrantes.....	53
Figura 2-10. Lata-limpiador.....	54
Figura 2-11. Lata-penetrante.....	54
Figura 2-12. Lata-revelador	55
Figura 2-13. Cepillo de acero inoxidable.....	56
Figura 2-14. Grata	56
Figura 2-15. Amoladora.....	56
Figura 2-16. Balde.....	57
Figura 2-17. Guantes de cuero	57
Figura 2-18. Zapatos de cuero.....	57
Figura 2-19. Overol.....	58
Figura 2-20. Acción de los líquidos penetrantes.....	62
Figura 2-21. Aplicación de limpiador	64
Figura 2-22. Aplicación penetrante.....	64
Figura 2-23. Aplicación de revelador	65
Figura 2-24. Equipo SMAW- INDURA 200 Pro	72
Figura 2-25. Equipo MIG/MAG ELEKTRO	73
Figura 2-26. Equipo TIG- PROWAR	74
Figura 2-27. Equipo TIG- RONCH	79
Figura 2-28. Máscara de soldadura	81
Figura 2-29: Máscara de soldadura fotosensible	82
Figura 2-30. Tapones auditivos.....	85
Figura 2-31. Orejeras de protección.....	86

Figura 2-32. Panel de control RONCH.....	89
Figura 2-33. Leds de control, RONCH.....	90
Figura 2-34. Parámetros de soldadura aluminio.....	91
Figura 2-35. Conexión del equipo TIG.....	92
Figura 2-36. Electrodo de tungsteno.....	94
Figura 2-37. Afilado del electrodo en soldadura TIG.....	95
Figura 2-38: Ángulo de soldadura TIG.....	96
Figura 2-39. Distancia en soldadura TIG.....	96
Figura 2-40. Material de aporte.....	99
Figura 2-41. Recipiente del material de aporte.....	99
Figura 2-42. Toma de energía para el equipo TIG.....	100
Figura 2-43. Argón comercial.....	102
Figura 2-44. Cabezote de aluminio con defectos.....	103
Figura 2-45. Procedimiento para reparar un cabezote.....	108
Figura 3-1. Cabezote para ensayar.....	110
Figura 3-2. Cabezote reparado por TIG.....	111
Figura 3-3. Cabezote rectificado.....	111
Gráfico 3-1. Determinación de número de experimentos vs número de discontinuidades.....	141
Gráfico 3-2. Tiempo de Pre-gas vs Amperaje.....	142
Gráfico 3-3. Tiempo de Post-gas vs Amperaje.....	142
Gráfico 3-4. Número de discontinuidades vs Amperaje.....	143
Gráfico 3-5. Dureza Brinell (HB) vs Amperaje.....	143
Gráfico 3-6. Dureza Brinell (HBW) vs Amperaje.....	144
Gráfico 3-7. Amperaje vs Resistencia a la tracción.....	144
Gráfico 3-8. Número de discontinuidades vs Tiempo de Pre-gas.....	145
Gráfico 3-9. Dureza Brinell vs Tiempo de Pre-gas.....	145
Gráfico 3-10. Resistencia a la tracción vs Tiempo de Pre-gas.....	146
Gráfico 3-11. Número de discontinuidades vs Tiempo de Post-gas.....	146
Gráfico 3-12. Dureza Brinell vs Tiempo de Post-gas.....	147
Gráfico 3-13. Resistencia a la tracción vs Tiempo de Post-gas.....	147
Gráfico 3-14. Gráficas de control.....	148
Gráfico 3-15. Gráficas de contorno.....	149
Gráfico 3-16. Gráfica de superficie de parámetros de soldadura.....	149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Características del aluminio.....	6
Tabla 1-2. Clasificación general de aleaciones de aluminio.....	11
Tabla 1-3. Clasificación general de aleaciones de aluminio.....	11
Tabla 1-4. Especificaciones de los tratamientos al aluminio.....	12
Tabla 1-5. Soldabilidad de las diferentes clases de aluminio.....	17
Tabla 1-6. Resumen de significado en electrodos revestidos.....	25
Tabla 1-7. Serie de electrodos, corriente, tipo de arco.....	25
Tabla 1-8. Electrodo de tungsteno comerciales.....	29
Tabla 2-1. Características de la aleación de aluminio-magnesio-silicio.....	49
Tabla 2-2. Características del limpiador.....	53
Tabla 2-3. Características del penetrante.....	54
Tabla 2-4. Características del revelador.....	55
Tabla 2-5. Factores de control del experimento.....	59
Tabla 2-6. Parámetros del experimento.....	61
Tabla 2-7. Durezas de materiales comunes.....	66
Tabla 2-8. Criterios de ponderación.....	75
Tabla 2-9. Categorías de alternativas.....	76
Tabla 2-10. Peso en criterios de equipos.....	76
Tabla 2-11. Peso en costo.....	77
Tabla 2-12. Peso en soldabilidad.....	77
Tabla 2-13. Peso en calidad.....	78
Tabla 2-14. Peso en dimensión.....	78
Tabla 2-15. Peso en manejo.....	78
Tabla 2-16. Elección final de equipos.....	79
Tabla 2-17. Características del equipo TIG-ROCH.....	80
Tabla 2-18. Criterios de evaluación de alternativas para E.P.P.-visual.....	83
Tabla 2-19. Alternativas de máscaras.....	83
Tabla 2-20. Peso en costo.....	83
Tabla 2-21. Peso en manejo.....	84
Tabla 2-22. Peso en confiabilidad.....	84
Tabla 2-23. Elección final de E.P.P.-máscara de soldar.....	84
Tabla 2-24. Criterios de selección para E.P.P.-Orejeras.....	87
Tabla 2-25. Alternativas para E.P.P. de audición.....	87

Tabla 2-26. Peso en tamaño	87
Tabla 2-27. Peso en manejo	88
Tabla 2-28. Peso en comodidad	88
Tabla 2-29. Elección final del E.P.P.- audición	88
Tabla 2-30. Parámetros del panel RONCH.....	90
Tabla 2-31. Parámetros para regular del Panel RONCH	92
Tabla 2-32. Electrodo comercial de tungsteno.....	93
Tabla 2-33. Pre calentamiento de aluminio.....	97
Tabla 2-34. Composición del material de aporte de aluminio	98
Tabla 2-35. Propiedades físicas y mecánicas de aporte de aluminio	99
Tabla 2-36. Soldabilidad con corriente y polaridad	100
Tabla 3-1. Reacciones del operario en el experimento	112
Tabla 3-2. Tabla resumen de Aprobación/Rechazo	129
Tabla 3-3. Resultados de experimento	140

RESUMEN

En esta investigación se involucra piezas provenientes de áreas automotrices, combinando varios parámetros de soldadura TIG, como: amperaje, tiempos de acción de los gases, limpieza de la superficie de aluminio y limpieza por método eléctrico; obteniendo valores de dureza y resistencia a la tracción, debido a que estas piezas son de uso térmico y precisión por lo que no requieren modificaciones excesivas, se utilizaron ensayos no destructivos, esto con el fin de mantener intacto el cabezote de aluminio.

El estudio se logró en colaboración con los talleres de la rectificadora M. Noboa de la ciudad de Ambato. Para efectuar los experimentos se utilizó un diseño de Taguchi, el proceso de soldadura se generó con la ayuda de un operario con el objetivo de mejorar la técnica y la regulación de parámetros de soldadura TIG, analizando las condiciones en las que el equipo pueda trabajar correctamente dando buenos resultados de reparación del material.

Se realizó el análisis de dureza Brinell, apta para materiales no ferrosos según normativa ASTM, proporcionando valores de dureza y obteniendo propiedades tales como la resistencia a la tracción, manteniendo al material base en un buen estado.

Para evaluar la reparación completa en las distintas combinaciones de parámetros, se utilizaron tintas penetrantes, juntamente con el código AWS D1.2 que contiene criterios de aceptación y rechazo de juntas de soldadura de aluminio, siendo esta una referencia, y se ocupó soldadura de reparación que simultáneamente con el proceso de rectificado nos brinda una reparación completa en los cabezotes de aluminio.

PALABRAS CLAVE: Soldadura, TIG, GTAW, Dureza, Ensayos no destructivos, Parámetros de soldadura, Aluminio.

ABSTRACT

This research involves parts from automotive areas, combining several TIG welding parameters, such as: amperage, gas action times, cleaning of the aluminum surface and cleaning by electrical method; obtaining values of hardness and tensile strength, because these parts are of thermal use and precision so they do not require excessive modifications, non-destructive tests were used, this in order to keep intact the aluminum head.

The study was carried out in collaboration with the workshops of the M. Noboa rectifier in the city of Ambato. To carry out the experiments, a Taguchi design was used, the welding process was generated with the help of an operator with the objective of improving the technique and the regulation of TIG welding parameters, analyzing the conditions in which the equipment can work correctly giving good results in repairing the material.

Brinell hardness analysis was performed, suitable for non-ferrous materials according to ASTM standards, providing hardness values and obtaining properties such as tensile strength, keeping the base material in a good condition.

To evaluate the complete repair in the different combinations of parameters, penetrating inks were used, together with the AWS D1.2 code that contains acceptance and rejection criteria for aluminum welding joints, being this a reference, and repair welding was used, which simultaneously with the grinding process gives us a complete repair in the aluminum heads.

KEY WORDS: Welding, TIG, Hardness, Testing Non-destructive, Parameters of welding, Aluminum, GTAW.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

1.1.1. Investigaciones preliminares

Debido a una necesidad de una base teórica para la elaboración del proyecto me he llevado a la revisión de artículos científicos que pueden ser analizados basados en el refuerzo a utilizar en el tema, también a su vez se analizan los archivos del repositorio de la Universidad Técnica de Ambato que se relacionen con el tema de soldadura de aluminio, existen varios temas que poseen una estrecha relación con el tema en análisis y de estas se estudian las conclusiones, a continuación, se presentan las más importantes:

Para Pérez y Tufaro [1], las aleaciones de aluminio son ampliamente utilizadas en industrias, destacando entre ellas la aeronáutica y aeroespacial. Las principales aleaciones, ocupadas por décadas suelen presentar problemas como la fisuración en caliente y porosidad. En especial la serie 7xxx, debido a su alta resistencia mecánica, se la mantiene en un estatus de no-soldable por dichos procesos esto se debe a las bajas propiedades mecánicas de la unión en comparación con el material base en los procesos a los que son sometidos de soldadura.

El estudio realizado por Mohan [2], determina que la soldadura penetrante en aluminio, de una sola pasada. En estas fueron sometidas a experimentos con muchas combinaciones con la velocidad del husillo y soldadura con una profundidad de inmersión en tres niveles. En este experimento fue analizada la resistencia a la tracción y adicionalmente la dureza de la junta. Los resultados son examinados por medio del diseño de Box-Behnken. Debido al análisis se ha descubierto que debido al eje de velocidad es el parámetro más importante que influye en las propiedades tales como la resistencia a la tracción y la dureza.

La información de Liao Tianfa y Xue Jiexiang [3], plantean las condiciones en la soldadura de aluminio 6061 por medio de protección de gases y adicionalmente los parámetros de onda de voltaje expusieron el orden sinusoidal cambio periódico, por lo

que esto generó menos discontinuidades como poros, grietas, etc. Debido a esto la dureza de soldaduras fue mayor por lo que se considera una mejora en este punto.

Para K. Anganan, M. Muthu Krishnan y J. Ganesh Murali [4], la elevada intensidad del calor en el proceso MIG genera un efecto negativo en las propiedades mecánicas del material del aluminio que se está sometiendo al proceso de soldadura, en donde la dureza se ve afectado por la cantidad de la entrada de calor durante el proceso de soldadura. La afectación por el calor la zona de FSW es más estrecha que el proceso MIG.

Para los investigadores Cole y Epstein [5], muchos de los procesos de soldaduras por arco producen a diferente medida partículas, óxidos metálicos y emisiones gaseosas. En los procesos que ocupan gases de protección esta concentración es mayor de partículas sin importar el aluminio ocupado. Las diferentes combinaciones de aleación de base / relleno producen diferentes niveles de partículas, óxidos metálicos y gaseosas emisiones. La aleación de relleno es el principal causante de estas partículas.

La investigación de Shih Jing-Shiang, y Tzeng Yih-Fong [6], brinda la relación S / N de la resistencia a la flexión aumenta en 4.3260db, y el de la dureza aumenta en 1.4995db sobre la base de óptimo diseño al comparar con los valores basados en la corriente diseño. Esto indica que el diseño óptimo podría mejorar las múltiples características de rendimiento de la soldadura.

Para los investigadores Bingrong Zhang, Maurizio Garro, Marco Leghissa, Angelo Giglio y Costanzo Tagliano [7], el efecto de SDAS en las propiedades mecánicas de la fundición de producción como culatas y motor. Estos bloques analizados en aleaciones A356 y 319. Para lograr evitar la interferencia de otros factores, el estudio fue hecho en moldes de producción con el mismo químico la misma composición, el grado de modificación similar y nivel de porcentaje de porosidad, además, el tratamiento térmico fue realizado en especímenes discontinuados de culatas y bloques de motor.

En la investigación de Romero Román [8], determina que en cabezotes de vehículos Volkswagen, se procede a realizar mediciones por medio de galgas, en la cual se demuestra que si el desgaste es menor a 0.035mm no se realizan rectificadas en estas zonas.

Para Morales Miranda [9], por medio del proceso de soldadura en frío y costura mecánica se da un mejor comportamiento y una mejora de las propiedades, por lo tanto, existe una reparación del material el cual fue hierro fundido gris clase 30 proveniente de la marca NISSAN, teniendo unos resultados óptimos al presentar una reconstrucción total. Gracias a los ensayos no destructivos se analiza los resultados los cuales fueron favorables en su totalidad.

Pérez Salazar [10], en el estudio se analiza el cordón de soldadura con juntas a tope con proceso SMA, debido a esto está realizado con un precalentamiento y sin precalentamiento, esto realizado antes de la soldadura y dando una variación de amperaje en el material el cual es una aleación de aluminio 6005-T6. Por lo que el resultado de la investigación da que el amperaje adecuado para soldar es 80 Amperios, debido a que soporto una carga máxima de 1313,6 kg.

Para Toapanta Bautista [11], la soldadura FSW requiere parámetros regulables para las placas de aluminio 6061 se ha decidido regular la geometría del pin, las velocidades de rotación y avance de la herramienta. En estas son analizadas la velocidad de rotación de la herramienta, debido a la generación de calor en la junta y la temperatura alcanzada en el proceso.

Hidalgo Ortiz [12], en su investigación concluye, en el proceso GMAW, se generan el esfuerzo a cedencia S_y por lo que llegan a valores similares al S_{ut} , esto llega al valor más alto al realizar la soldadura con un amperaje de 148 Amperios, esta propiedad en comparación a la obtenida con el amperaje de 140 Amperios de Inducero, se da un alza en los valores obtenidos de alrededor del 17 %.

1.2. Justificación

A nivel mundial los vehículos se han convertido en unos excelentes medios de transporte gracias a su gran capacidad, tamaño y en su mayor ventaja es la velocidad de viaje desde un lugar a otro. Por su desventaja sus componentes mecánicos provocan un agravio a la contaminación del planeta, por lo que alargar la vida útil de los materiales en los elementos por métodos de recuperación o reparación de estos, es un gran beneficio para el ambiente y para el costo de los propietarios de estas máquinas [2].

La presente investigación nace de la necesidad de poder estudiar cómo tratar de reparar un cabezote por medio de soldadura, dependiendo de su material de aporte o ya sea por el tipo de proceso a tratar, esto con el propósito principal de poder identificar las posibles soluciones que se le puede brindar a estos elementos automotrices, como los beneficios que brindaran los procesos de soldadura para reparar cabezotes [8].

La investigación busca proporcionar datos e información que serán útiles a todos los desarrolladores de motores, técnicos de reparación y todos los talleres artesanales que se dedican al área de rectificación, además que será un referente en la institución y mundial.

Debido a que se dedican a la reparación de cabezotes por otros medios, se carece con suficientes investigaciones referentes al tema, pero existen varios trabajos que indican soldadura por aluminio, lo cual el presente trabajo tiene como finalidad aplicarla a reparación de cabezotes de motores [9].

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Desarrollar un análisis de reparación de un cabezote de aluminio por medio de procesos de soldadura, para alargar la vida útil de los elementos.

1.3.2. Objetivos específicos

1.3.2.1. Investigar las características del material base por medio de fuentes bibliográficas para obtener datos y características de este material.

Por medio de una investigación bibliografía se determinará el origen del material que está diseñado y construido los cabezotes del motor, para así realizar una reparación de acuerdo con un proceso adecuado para este.

1.3.2.2. Seleccionar el proceso y material óptimo de aporte para la soldadura de aluminio.

Mediante análisis de proveedores y técnicas de soldadura optar para elegir un proceso de soldadura adecuado para la reparación de la soldadura, examinar los materiales de aportes mediante catálogos y bases bibliográficas para escoger los elementos finales.

1.3.2.3 Establecer parámetros óptimos de proceso para una correcta unión de materiales.

A través de pruebas de ensayos y error probar cual es la mejor forma de obtener un resultado favorable para lograr reparar las imperfecciones presentes en los cabezotes de aluminio, debido al desgaste y uso de este componente del motor.

1.3.2.4. Seleccionar ensayos no destructivos para verificar si la reparación del cabezote es apta para que siga en funcionamiento.

Finalmente realizar ensayos no destructivos para la comprobación de la reparación mediante el método de soldadura adecuado, la selección de los ensayos será basados en métodos que pueden ser ocupados en la rectificadora, generando un procedimiento para la utilización de estos.

1.4. Hipótesis

¿La variación de Amperaje, y el tiempo de aplicación del gas permitirá mejorar el proceso de soldadura de aluminio en los cabezotes de vehículos?

1.4.1. Variable independiente

Parámetros técnicos de soldadura

1.4.2. Variable dependiente

Optimización de proceso de soldadura de aluminio en los cabezotes de vehículos

1.5. Marco Teórico

1.5.1. Aluminio

El aluminio es un material muy abundante en la naturaleza, por eso está presente de varias formas en minerales en los cuales están el feldespato, arcillas, corindón, de todos estos la bauxita y la criolita se ocupan en el campo metalúrgico, para la refinación por medios de varios procesos obteniendo el aluminio que comúnmente es ocupado. Esto se da gracias al proceso electrolítico llamado Hall-Hérault [13].

Las características que posee el aluminio puro se detallan en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1. Características del aluminio [13]

Características	
Color	Blanco azulado
Conductividad	Muy buena
Maleabilidad	Muy buena
Peso específico	2,7 kg/dm ³
Temperatura de fusión	660°C
Conductividad eléctrica	Buena
Conductividad térmica	Buena
Resistencia a la corrosión	Muy buena

1.5.1.1. Aplicaciones del aluminio

Las aplicaciones que se le da al aluminio son variadas, debido a sus propiedades físicas, por su bajo peso en comparación al acero por lo que es más aplicado a construcciones metálicas en industrias que necesitan ligereza en sus diseños, en ejemplo se encuentra los vehículos de transportes terrestres como los trenes y automóviles, adicionalmente la industria aeronáutica y espacial la ocupan para sus diseños [13],[14].

Un campo industrial al que le da uso al aluminio se encuentra en la electricidad debido a su buena conductividad eléctrica, son aplicadas en las líneas de alta tensión.

Varias aplicaciones diversas y comunes se encuentran en la cocina, otros ejemplos de esto están el papel aluminio, empaques para la comida, chapas cubiertas de edificios, utensilios, esto gracias a su resistencia a la corrosión.

Cabe destacar a que el planeta Tierra, conlleva el 8% de la conformación de la corteza terrestre, por lo que suele estar presente en rocas, minerales, plantas y efectivamente animales.



Figura 1-1. Aplicaciones comunes del aluminio [13]

1.5.1.2. Estructura cristalina del aluminio

Este metal se compone principalmente de una estructura cristalina cúbica centrada en las caras (FCC), esto indica que sus átomos están localizados en los vértices del cubo, por lo que los centros se encuentran en las caras del cubo. Se la llama así debido a su origen inglés “Face Centered Cubic” [13],[14].

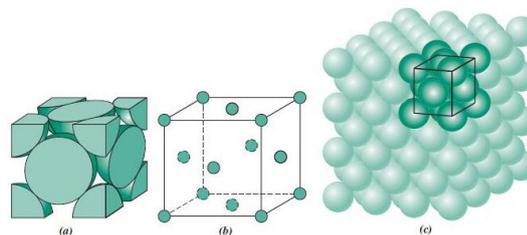


Figura 1-2. Estructura cristalina del aluminio [14]

La estructura FCC presenta un número equivalente de átomos de cuatro en cada celda. De estos, seis átomos se encuentran centrados uno en cada cara respectivamente, pero que comparte la mitad con la celda contigua, un octavo de átomo se encuentra en cada vértice de la celda, lo que equivale a cuatro átomos. Esto se demuestra con una sencilla fórmula de cálculo.

$$\text{Número de átomos} = 6\left(\frac{1}{2}\right) + 8\left(\frac{1}{8}\right)$$

$$\text{Número de átomos} = 4$$

En esta estructura la celda unitaria cristalina cúbica centrada en las caras (FCC) donde los átomos de cada vértice entran en contacto entre sí a lo largo de la diagonal del cubo, esto se aprecia en la figura 1-3.

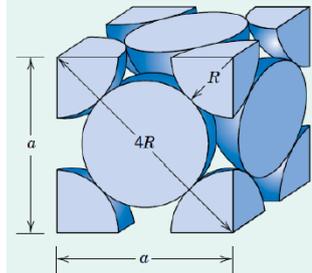


Figura 1-3. Celdas de aluminio [14]

El número de coordinación de la estructura cristalina FCC es 12, en respecto al factor de empaquetamiento es de 74% del volumen de la celda unitaria FCC está ocupado por átomos y el 26% es de espacio vacío, esto se presenta en este tipo de estructuras.

1.5.1.3. Metalurgia del aluminio

Para la obtención del aluminio es necesario, pasarla por una serie de procesos, para que este sea el material que conocemos. Primero el mineral que se extrae se llama bauxita la cual se obtiene la alúmina, al cual se le da un uso industrial, a su vez, existen otros minerales donde podemos encontrar tales como silicatos, óxidos, sulfatos, fluoruros de aluminio y de sodio [15].

La fórmula de la bauxita simplificada se representa en la siguiente fórmula:

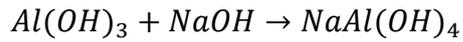


Para lograr procesar estos minerales se ocupa un proceso llamado Bayer, principalmente es la disolución de la bauxita con un químico originado del sodio (hidróxido sódico).

1.5.1.4. Proceso Bayer

La meta de este procedimiento llamado “BAYER” es, retirar los hidróxidos de aluminio en el mineral de la bauxita, donde los óxidos de hierro y de la sílice que la impurifican [15].

El efecto/ reacción que se encuentra presente en este proceso se rige por la disolución del hidróxido de sodio (Na OH).



Aluminato sódico soluble

1.5.1.5. Esquema básico del proceso Bayer

En la figura 1-4 se puede apreciar el proceso Bayer, con lo que se logra obtener la alúmina, es un proceso es muy complejo por lo que se tiene varias formas de procesar este mineral, cabe recalcar que en ciertos casos estos pueden contener poca cantidad de material extraíble, por lo que resulta ser costoso y debido a esto toma una gran inversión para lograr mantener a flote esta producción [15].

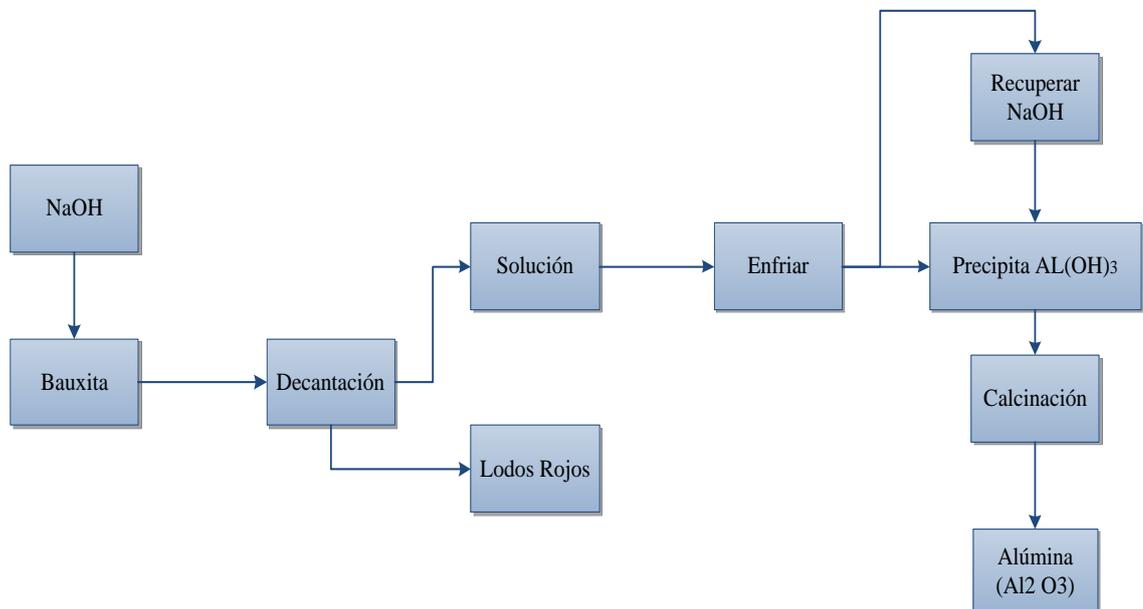


Figura 1-4. Proceso Bayer [15]

1.5.2. Obtención del aluminio

Para la obtención de este metal, se empieza por medio de la alúmina y agregando electrólisis, pero solo es obtenible la disolución de alúmina, en cambio en la mezcla fundida se encuentra la criolita (5 Na F. 3 Al F3) y alúmina [15].

La razón principal que se evita la electrólisis directa en la disolución acuosa de alúmina es debido al potencial de la deposición del aluminio, dependiendo de la reacción fundida y el principal problema de la alúmina es la temperatura de fusión mayor a 2.000 °C.

1.5.2.1. Diagrama binario (criolita-alúmina)

El estado que se genera de los diferentes estados obtenidos por la manipulación de la temperatura [16].

En la figura 1-5, se puede apreciar a detalle este tipo de diagrama.

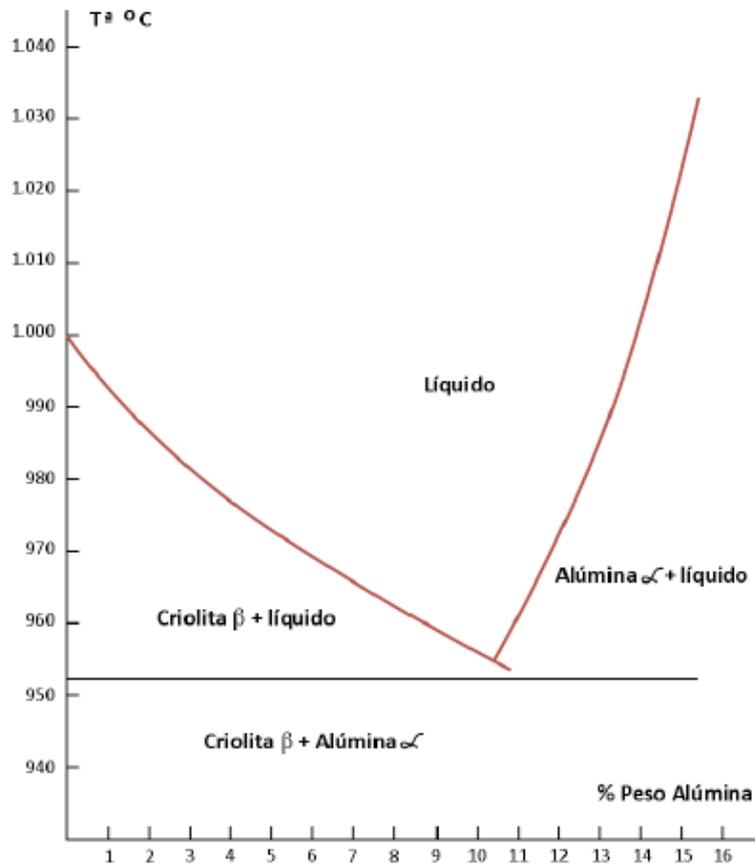


Figura 1-5. Diagrama binario [16]

1.5.2.2. Aleaciones de aluminio

En este tipo de aleaciones provenientes según la clasificación UNS se lo designa por medio de la letra “A” que corresponde al aluminio, en donde esta se ve caracterizada en la unión con los demás metales para formar una nueva estructura y la aleación correspondiente tiene su respectiva caracterización que se encuentra normado [13].

Se lo reconoce por medio de cuatro dígitos de esta manera:

- El primer número indica el tipo de aleación.

- El segundo indica los límites de las impurezas o en su caso la modificación de la aleación original.

En la siguiente Tabla 1-2 se puede apreciar esta clasificación a más detalle.

Tabla 1-2. Clasificación general de aleaciones de aluminio [14]

Denominación o Series	Modificaciones de la aleación
1XXX	Aluminio de grado de pureza 99% o superior
2XXX	Cobre
3XXX	Manganeso
4XXX	Silicio
5XXX	Magnesio
6XXX	Magnesio y Silicio
7XXX	Zinc
8XXX	Otros Elementos
9XXX	Series No utilizadas

En términos generales las denominaciones AISI-SAE o las series para denotar aluminio para fundiciones, se utiliza la siguiente clasificación, mostrada en la siguiente tabla.

Tabla 1-3. Clasificación general de aleaciones de aluminio [17]

Denominación o Series	Modificaciones de la aleación
1XX.X	Aluminio de grado de pureza 99% o superior
2XX.X	Aluminio-Cobre (Conocido como Duraluminio Al-Cu)
3XX.X	Aluminio-Silicio-Cobre-Magnesio. (Al-Si-Cu/Mg)
4XX.X	Aluminio-Silicio (Al-Si)
5XX.X	Aluminio- Magnesio (Al-Mg)

Denominación o Series	Modificaciones de la aleación
7XX.X	Aluminio-Zinc (Al-Zn)
8XX.X	Aluminio-Estaño (Al-Sn)
9XX.X	Otros elementos
6XX.X	Series no utilizadas o no usuales

Para la denominación de los demás dígitos se debe tomar en cuenta la letra que brinda información del tratamiento recibido, por lo que al ser varios se debe tener en cuenta la denominación connotada y en la tabla se puede apreciar los diferentes tratamientos que reciben las aleaciones [18].

En este punto al ser varios procesos que se les puede brindar a los materiales, en el significado de los que no tienen una numeración adicional, solo indica el tratamiento al que es sometido.

Tabla 1-4. Especificaciones de los tratamientos al aluminio [18]

Denominación	Especificación
O	Se le brinda un recocido sea su naturaleza de fundición o forja.
O1	Se le brinda a un recocido a altas temperaturas y se lo deja a un enfriamiento lento.
O2	Se le da un tratamiento termo-mecánico independientemente de su naturaleza.
O3	Sometido a un homogenizado, esto es un tratamiento térmico de difusión a elevadas temperatura.
H	Muestra el estado de acritud, realizado en materiales dados endurecimiento por la deformación.
H1	Endurecimiento por la deformación y sin tratamientos adicionales posteriores.

Denominación	Especificación
H2	Se brinda por exceso de endurecimiento por la deformación adicionalmente se brinda un recocido obteniendo suavidad en el material.
H3	Se refiere a la propiedad de acritud y el estabilizado del material.
H4	Se establece a la acritud mediante lacado y pintado, se les brinda un recocido adicional para la pintura.
T	Muestra el endurecimiento por un tratamiento térmico mediante endurecimiento por la deformación posterior.
T1	Enfriamiento de un proceso de fabricación sometido a altas temperatura el envejecimiento se lo brinda de manera natural.
T2	Enfriamiento desde la fabricación sometido a altas temperaturas, y posteriormente se brinda un envejecimiento de manera natural.
T3	La solución es sometida térmicamente, el proceso es en frío y se brinda un envejecimiento hasta lograr una condición estable.
T4	Equivalente a la T3 omitiendo el proceso en frío.
T5	Proveniente de altas temperaturas de fabricación y adicionalmente se envejece artificialmente.
T6	Proceso realizado térmicamente y el envejecimiento es de forma artificial.
T7	Proceso realizado térmicamente y el envejecimiento es de forma que llegue a una estabilización completa.
T8	Proceso trabajado en frío y se le da un envejecimiento artificial, por disolución.

Denominación	Especificación
T9	Proceso trabajado en frío y se le da un envejecimiento artificial, por solución.
T10	Enfriamiento proveniente de altas temperatura, se lo trabaja en frío y se envejece artificialmente hasta estabilizar la solución.
F	Material en estado bruto, producto del proceso al que fue efectuado.
W	Material tratado térmicamente y proceso de envejecimiento natural.

1.5.2.3. Diagrama de fase aluminio- magnesio

En este tipo de diagramas las propiedades del material se van alterando, dependiendo de los componentes a los que están involucrados, dado al endurecimiento que se necesita los porcentajes acoplados, la dureza del grano y varios factores más serán adaptados por este medio [14].

Las propiedades de las aleaciones de aluminio-magnesio están inspeccionadas por endurecimiento por solución sólida de la matriz de aluminio, endurecimiento por dispersión por la fase, y solidificación, que controla el tamaño primario del grano, así como la naturaleza del microconstituyente eutéctico.

En este tipo de aleaciones se proporciona buena resistencia, con la ventaja que presentan son más ligeras que el aluminio puro, una propiedad mecánica adicional que se permite mecanizar de manera sencilla y óptima.

En estas aleaciones generalmente poseen buenas resistencias a la corrosión, como los elementos aleantes como magnesio se encuentra en poca cantidad, esto suele ser menor al 10%. Suele tener otros elementos aleantes tales como silicio, cobre, zinc, en bajas cantidades, pero a estas se las denomina aleaciones ternarias.

En la figura 1-6, se visualiza el diagrama por completo, con sus respectivas fases.

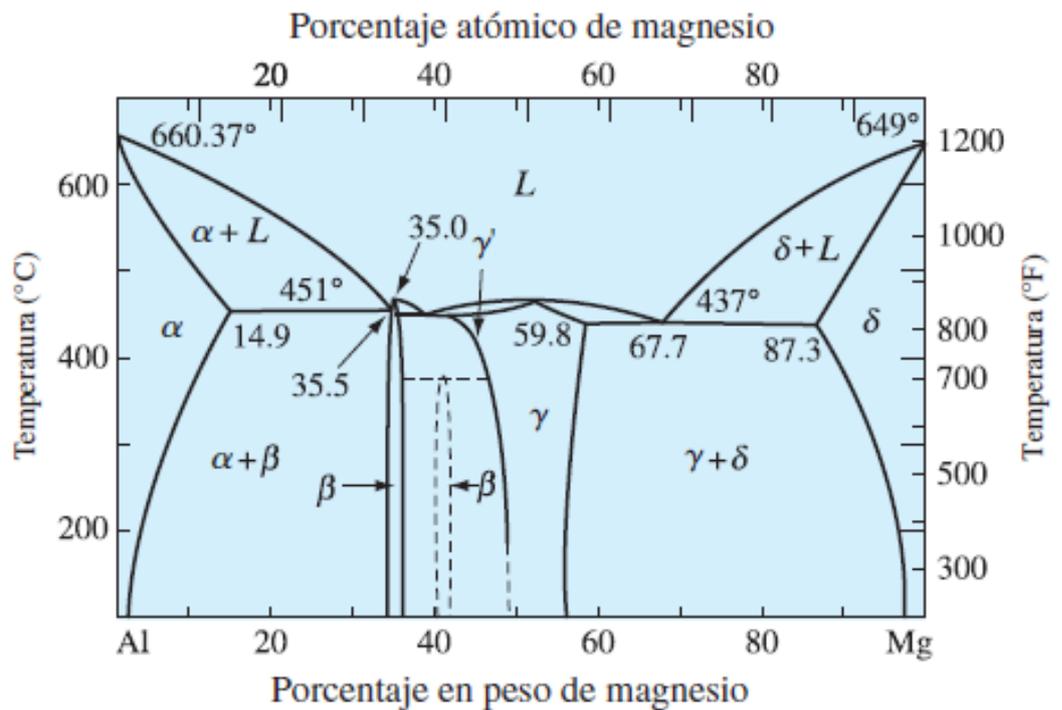


Figura 1-6. Diagrama aluminio-magnesio [14]

1.5.2.4. Diagrama de fase aluminio- silicio.

Este tipo de diagramas son aplicables a las aleaciones que necesitan ductilidad en los elementos a fundirse, por lo que estos además presentan altas resistencia al choque mecánico, buena estabilidad para vibraciones, bajos coeficiente de dilatación en la colada formada de los materiales, pero en desventaja tiene una baja naturaleza ante la mecanización esto se debe al silicio, que genera algo de abrasión en la mezcla.

El diagrama de estos dos metales es muy simple debido a que presenta, pocas curvas y la presencia de la fase β de silicio, muchos de los autores metalúrgicos detallan que este factor es esencial en este diagrama [19].

En este diagrama solo existe un punto eutéctico de 12.5% de silicio a una temperatura de 577°C.

En la figura 1-7, se puede apreciar de mejor manera, las fases presentes en esta aleación.

Diagrama Aluminio - Silicio

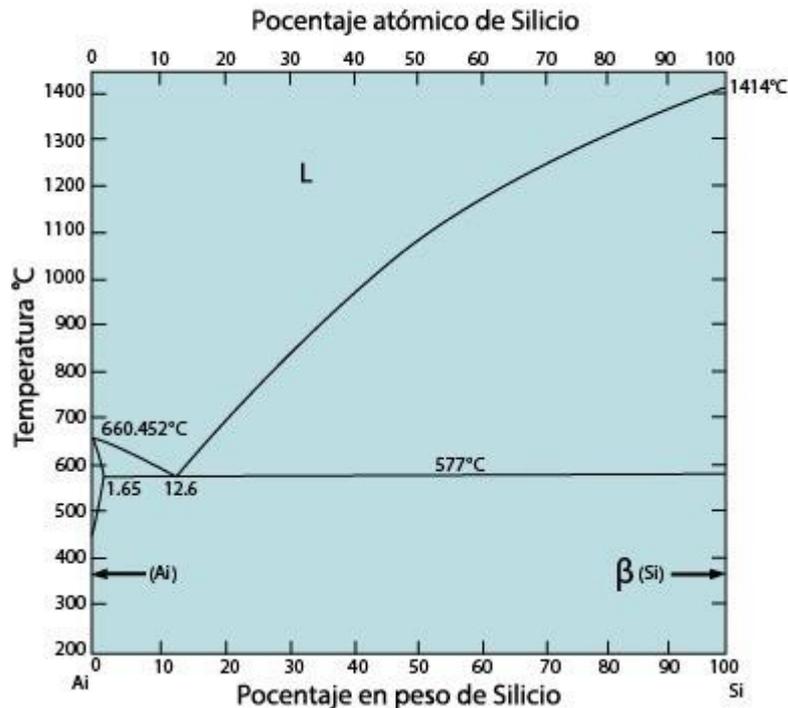


Figura 1-7. Diagrama aluminio-silicio [19]

1.5.3. Soldabilidad del aluminio

El aluminio al ser un material ligero debido a su densidad, se lo ocupa en diversas áreas industriales hasta ser un elemento indispensable en varios campos, pero mayormente están remachadas o empernadas, debido a la complicación que se genera al intentar soldar este material, entre los inconvenientes más frecuentes se encuentran:

La alúmina o frecuentemente llamado óxido de aluminio (Al_2O_3), la principal característica de este óxido es que tiene una temperatura de fusión de 2030°C, superando a la temperatura del aluminio de 660°C, y debido a este fenómeno presenta mayor densidad en este punto, por lo que representa un impedimento al momento de ejecutar una soldadura.

La sola presencia de alúmina en la superficie de este metal es el origen de la insoldabilidad; el gran problema que se presenta con este óxido es que se oponen a la correcta generación de un cordón de soldadura. Cabe destacar que en las aleaciones de aluminio durante el calentamiento existe un riesgo de rotura.

En algunas aleaciones se presentan un ciclo térmico de soldadura, que se genera en el material base y la zona fundida, la precipitación de compuestos definidos de la solución sólida genera una baja de las características mecánicas y en parte se disminuye la resistencia a la corrosión.

Mientras tanto, las aleaciones de aluminio poseen un coeficiente de expansión térmica alta, comparado con la mayoría de los metales que entran en la categoría de soldables. Con los metales soldables se tienen menores deformaciones, mientras que el aluminio con ciertos parámetros y procesos generan discontinuidades por lo que hay deformaciones y grietas [20].

Varios procesos de soldadura son aptos para generar una unión relativamente buena, mientras estén los parámetros correctamente distribuidos, para la obtención de una junta soldada en aluminio sin protección de gases, esta soldadura crea discontinuidades tales como porosidades, o malas penetraciones debido a la generación de alúmina en el material, la alúmina es el factor principal que determina la soldabilidad, conjuntamente con los materiales presentes en la aleación.

En la siguiente Tabla 1-5 se puede visualizar los procesos de soldadura admitidos por las diferentes aleaciones de aluminio.

Tabla 1-5. Soldabilidad de las diferentes clases de aluminio [20]

Tipo de aleación	Designación		Tipo de Proceso			
	UNE	Aluminum Association	MIG/TIG	Por resistencia/ Puntos	Soldeo Fuerte	Soldeo Blando
No bonificable	L-3001	1100	A	A	A	A
	L-3810	3003	A	A	A	A
	L-3820	3004	A	A	B	B
	L-3360	5052-5652	A	A	C	C
	L-3321	5083	A	A	X	X
	L-3322	5086	A	A	X	X
	L-3390	5454	A	A	X	X
	----	5456	A	A	X	X

Tipo de aleación	Designación		Tipo de Proceso			
	UNE	Aluminum Association	MIG/TIG	Por resistencia/ Puntos	Soldeo Fuerte	Soldeo Blando
Bonificable	L-3140	2024	C	A	X	C
	L-3191	2219	A	A	X	C
	L-3420	6061	A	A	A	B
	L-3441	6063	A	A	A	B
	L-3431	6101	A	A	A	A
	L-3451	6351	A	A	A	A
	L-3741	7005	A	A	B	B
	L-3731	7039	A	A	C	B
	L-3710	7075	C	A	X	C

En la tabla los términos aplicados tienen un significado que se da a continuación:

- A= Soldadura muy buena
- B= Soldadura buena
- C= Soldadura regular
- X= No aplicable

1.5.3.1 Factores que influyen en la soldabilidad

Debido que las características de los materiales influyen en gran parte en la capacidad de ser soldado, por lo que al estar destinada a una correcta unión entre materiales se necesita, analizar los siguientes factores [21]. Tales como:

- Los procesos de soldadura
- Procedencia del material base y espesor de este
- Naturaleza de los elementos aleantes
- Tecnología y secuencia de soldadura
- Velocidad y técnica de soldadura

- Velocidad de enfriamiento, energía y calor suministrado por medios externos.
- Temperatura de someter precalentamiento
- El tipo de unión soldada
- Características térmicas del material base y del material de aporte

Estos factores pueden ser una solución ante un problema de soldabilidad de una aleación de aluminio.

1.5.4. Métodos para la eliminación del óxido de aluminio

Para tratar de evitar problemas con las soldaduras en este material es recomendable utilizar métodos químicos, mecánicos y eléctricos que combaten el fenómeno del óxido [22].

1.5.4.1. Método mecánico

El método más fácil y económico es por medio de un cepillo de acero inoxidable o a su vez de alambre de latón, el cual es la herramienta ocupada para limpiar la superficie del aluminio, por medio de este método es fácil quitar el óxido del material, cabe destacar que es necesario realizar pasadas continuas para quitarlo. Adicional a esto se debe dar un único uso a esta herramienta debido a que si se contamina es recomendable descartar a este elemento y reemplazarlo [22].

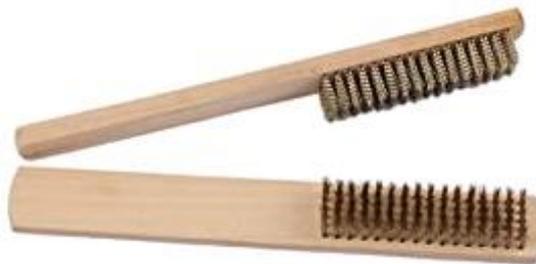


Figura 1-8. Cepillo único para aluminio [22]

1.5.4.2. Método eléctrico

El método eléctrico es aplicado al equipo de soldadura, ya que esta posee la función de inversión de polos, gracias a esta ventaja es posible arrancar el óxido de la superficie a soldar, por medio de una conexión a una corriente alterna, además debe estar conectado el electrodo al polo positivo del equipo, esto provocara un decaído en la zona que se vaya a soldar [22].

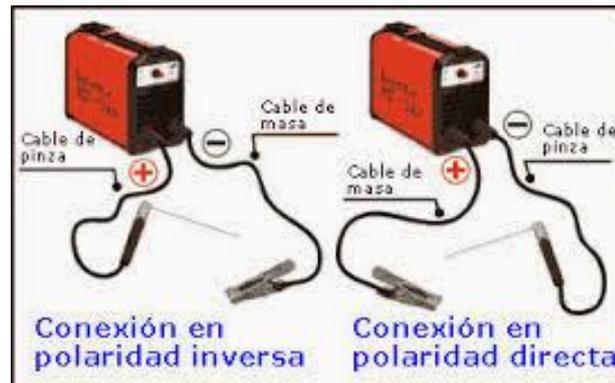


Figura 1-9. Conexión directa-inversa [22]

1.5.4.3 Método químico

Este método generalmente es más costoso debido a la cantidad del químico ocupado comparado con la superficie que se va a soldar, en este caso se puede utilizar alcohol desnaturado, desengrasantes comerciales y en casos extremos se suele utilizar acetona, pero este último da complicaciones en la salud del operario debido a esta razón se abstiene de ocuparlo, en todo caso este método quita el óxido de la superficie del aluminio [22].



Figura 1-10. Químicos convencionales [22]

1.5.5. Soldadura

Un proceso versátil que permite la unión de metales por medio de un material de aporte de la misma composición a los del material base, es un proceso muy ocupado en las industrias en conjunto con los empernados, remaches, etc.

En lo que se diferencia principalmente con otros procesos, es que la soldadura utiliza la energía calorífica para la unión de los materiales en contacto, dándose un aporte externo de un material metálico o no metálico.

La soldadura como proceso de unión brinda varias ventajas con respecto a métodos de unión tales como pernos y remaches, los beneficios son:

- Economía en la materia prima
- Estructura más ligera
- Posibilidad de generar piezas de gran tamaño
- Posibilidad de reparación y corte de piezas
- Aumento de productividad y reducción de costo de fabricación
- Reducción de costo de equipos tecnológicos
- Uniones herméticas
- Eliminación de ruidos
- Posibilidad de colocación de piezas con perfiles especiales de una manera sencilla y práctica.
- Tiempo de elaboración corto y menos costoso.

Entre las desventajas de la soldadura se encuentran principalmente:

- Dificultad de mantenimiento, en maquinarias y ensambles.
- Necesidad de profesionales capacitados, para la realización de diferentes procesos de soldadura.

En la siguiente figura 1-11 se distingue una clasificación general de los procesos de soldadura.

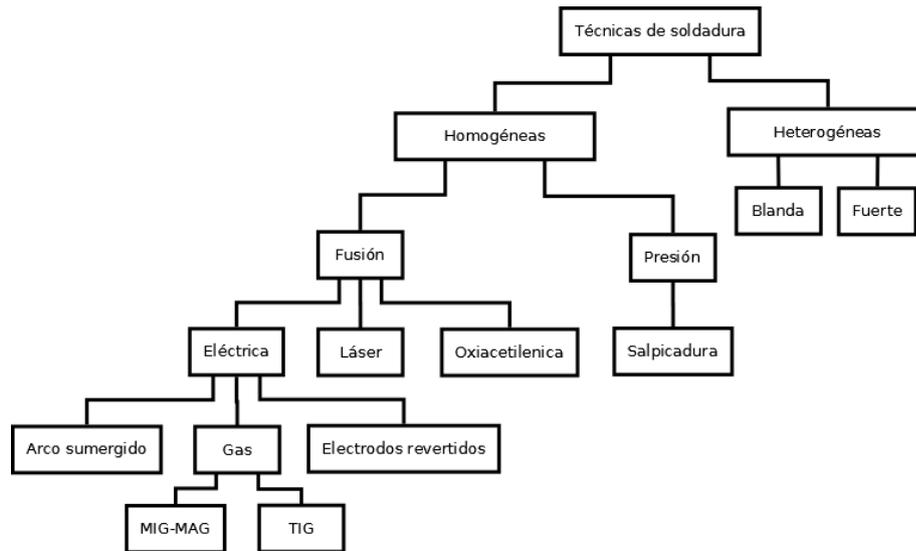


Figura 1-11. Clasificación de la soldadura [23]

1.5.5.1. Elementos fundamentales de la soldadura

En el proceso de soldadura al tener varios elementos, se distinguen en general [21],[24]:

- **Metal base:** Es el material para soldar, constituido como la placa base a unir.
- **Metal de aporte:** Material que varía su constitución dependiendo del material de base, este al ser sometido a una temperatura se vuelve semilíquido que une a los materiales, adaptándose a la placa base. Contiene propiedades similares al metal a soldar.
- **Chaflanes:** Superficies o chaflanes dedicadas a recibir al material de aporte, son realizadas en el metal base, dependiendo de la necesidad a tratar.
- **Junta soldada:** El conjunto de la unión de material base más el material de aporte.
- **Cordón de soldadura:** Elemento generado tipo costura que une a los materiales, formado del material de aporte, protegido por una capa de escoria en algunos casos dependiendo del proceso al que fue sometido.
- **Fuente de calor:** Ofrece el calor necesario para el material de aporte, tornándolo al estado semilíquido y uniéndolo al material base.

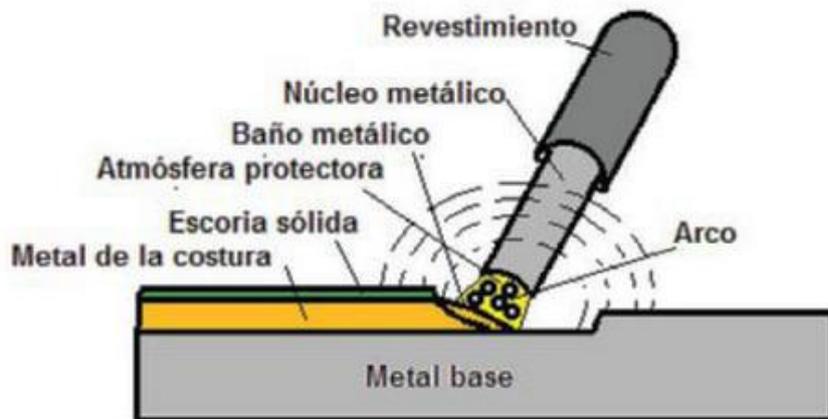


Figura 1-12. Partes básicas de unión soldada [25]

1.5.6. Soldadura por electrodo revestido (SMAW)

Este proceso significa “Arco manual con electrodo revestido” es un proceso que dispone de varios años de antigüedad, perfeccionado en el año 1907, debido a esto es muy ocupado en varios campos industriales, en este proceso se requiere de un electrodo para generar el arco, y ser depositado en el material base, dispone gran variedad de metales de aporte, pero algunos metales necesitan condiciones especiales para ser aplicados, debido a esta limitante es necesario optar por otro proceso de soldadura. En el proceso SMAW se da una calidad buena y resistente de juntas soldadas, a la vez este proceso presenta limitaciones en posiciones dependiendo del electrodo a soldar [25].

Las ventajas que aporta este proceso son los bajos costos de inversión, y gran variedad de electrodos, está entre los procesos más sencillos para soldadura, pero al ser uno de los primeros procesos desarrollados presenta varios inconvenientes respecto a otros procesos como MIG o TIG [24].

1.5.6.1. Elementos de la soldadura por electrodo revestido

Los elementos que tiene una soldadura SMAW, son varios entre los más importantes se encuentran:

- **Plasma:** Se denomina al paso del arco voltaico generado por la corriente.

- **Cordón de soldadura:** Costura generada del material de aporte anclado al metal base, es el punto de unión de metales.
- **Baño de fusión:** Parte caliente donde se genera la unión del material de aporte, en donde se unen con los gases protegiendo a este de impurezas del entorno.
- **Electrodos:** Material de aporte, este dispone de diferentes diámetros y longitudes comerciales, varían en su composición de metal y revestimiento.
- **Escoria:** Carcasa de protección generada por el revestimiento ayuda a la protección del cordón ante la exposición de la intemperie, el cual contiene varios agentes contaminantes y dañinos para el cordón.
- **Gas de protección:** Generado por el revestimiento del electrodo, lo mantiene libre de impurezas durante el proceso de soldadura.



Figura 1-13. Proceso SMAW [25]

1.5.6.2. Electrodo de soldadura SMAW

La regulación de material de aporte está normado por las asociaciones AWS y ASME que ayudan con información y los detalles en simbología de electrodos para este tipo de proceso de soldadura, la denominación que se aplica en los electrodos revestidos es la siguiente [26]:

$$E - XX YZ$$

- E= Conlleva el significado de electrodo para proceso SMAW.

- XX= Estos dos dígitos representan la resistencia que están a tracción de material, y por lo que viene dado en lb/in² (libras /pulgada cuadrada).
- Y=El tercer dígito indica las posiciones para poder realizar la soldadura.
- Z=El dígito final indica entre varias cosas el tipo de corriente, y tipo de revestimiento, que son muy importantes para poder realizar el proceso.

En la Tabla 1-6, se puede apreciar de un resumen, de los dígitos adicionalmente de un ejemplo.

Tabla 1-6. Resumen de significado en electrodos revestidos [26]

CIFRA	SIGNIFICADO	EJEMPLO
Las 2 ó 3 primeras	Mínima resistencia a la tracción	E 60 XX = 60 000 lb/pulg ² (mínimo).
Penúltima	Posición de soldadura	E XX1X = toda posición E XX2X = plana y horizontal E XX4X = P, H, VD, SC
Ultima	Tipo de corriente Tipo de escoria Tipo de arco Penetración Presencia de compuestos químicos en el revestimiento	

En la tabla 1-7, se presenta una recopilación de las características adicionales como tipo de arco y la penetración de los dígitos al final del electrodo.

Tabla 1-7. Serie de electrodos, corriente, tipo de arco [26]

ULTIMA	E-XX10	E-XX11	E-XX12	E-XX13	E-XX14	E-XX15	E-XX16	E-XX17	E-XX18
Tipo de corriente	CDPI e+ Polaridad invertida	CA o CD e+ Polaridad invertida	Ca o CD e+ Polaridad Directa e-	CA o CD e+ Ambas Polaridades	CA o CD e+ Polaridad invertida	CD e+ Polaridad invertida	CA o CD e+ Polaridad invertida	CD e+ Polaridad invertida	CA o CD e+ Polaridad invertida
Tipo de revestimiento	b Orgánico	Orgánico	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Bajo Hidrogeno	Bajo Hidrogeno	Bajo Hidrogeno	Bajo Hidrogeno
Tipo de arco	Fuerte	Fuerte	Mediano	Suave	Suave	Mediano	Mediano	Suave	Mediano
Penetración	c Profunda	Profunda	Mediana	Ligera	Ligera	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana

1.5.6.3. Electrodo para aluminio

1.5.6.4. Electrodo para soldadura de aluminio AL SI12 Din 1732

Tipo de electrodo de aluminio para soldadura SMAW, está diseñado para ser aplicado con aleaciones de aluminio simple, aluminio forjado y de fundición, pero con la condición de que posean más del 7% de silicio como elemento principal de aleación. Puede ser aplicado como electrodo de recargue. Este electrodo brinda una buena soldabilidad sin porosidad [27].



Alcode 12SI

Ref.	Descripción	Clasificación
18151050	ELECTRODOS ALUMINIO SI12 2.5	

Figura 1-14. Material de aporte de aluminio [27]

1.5.6.5. Electrodo para soldadura de aluminio y sus aleaciones Grilumin 14

Tipo de electrodo para soldadura SMAW con aporte de aluminio este electrodo es también es conocido como “Electrodo universal de aluminio – silicio” está diseñado para soldar aluminio y sus diversas aleaciones [27].



Grilumin 14

Ref.	Descripción	Clasificación
18152100	ELECTRODOS ESPEC.GRILUMIN 14 2.5 mm	Grilumin 14 (DIN 1732: EL-AISI 5)
18152130	ELECTRODOS ESPEC.GRILUMIN 14 3.2 mm	
18152160	ELECTRODOS ESPEC.GRILUMIN 14 4.0 mm	

Figura 1-15. Electrodo de aluminio [27]

1.5.7. Soldadura de gas inerte de tungsteno (TIG)

Este tipo de soldadura es denominada “Tungsten inert gas”, es una soldadura eléctrica por un electrodo no consumible, en el proceso se da una protección por gas regulable, se brinda un material de aporte que al ser consumido es unido al material base adaptándose a sus características. La soldadura TIG puede ser aplicada sin material de aporte, perfecto para realizar soldaduras de bajo impacto y alto impacto, este proceso

comparte similitudes con el proceso MIG pero presenta mejoras, en Estados Unidos este proceso fue patentado como "TIG" (Tungsten inert gas), mientras que en Europa se la llama "GTAW" (Gas Tungsten Arc Welding) [28].

Adicionalmente la denominación optada en Estados Unidos de América se debe a la asociación AWS, la cual adoptó el término de GTAW, así que las dos denominaciones mostradas son válidas para este proceso. La referencia que adquiere por tomar el nombre es debido al metal tungsteno o wolframio "W", de allí su respectiva denominación [29].

El proceso consiste en un arco eléctrico que viene dado entre un electrodo de tungsteno con la pieza a soldar, que le suministra el calor necesario proporcionado por el equipo. Este electrodo de tungsteno cabe recalcar que no se funde y el metal de aportación es dado después para formar un cordón, destacando que si se puntea este no necesita material de aporte. La protección que suele brindarse es por medio del gas, crea una atmósfera que recubre el metal fundido y lo protege de impurezas en el proceso, el gas más ocupado en este proceso es el argón, y la mezcla de argón con helio, existen una gran variedad de gases para mejorar la calidad de la soldadura [24],[30].

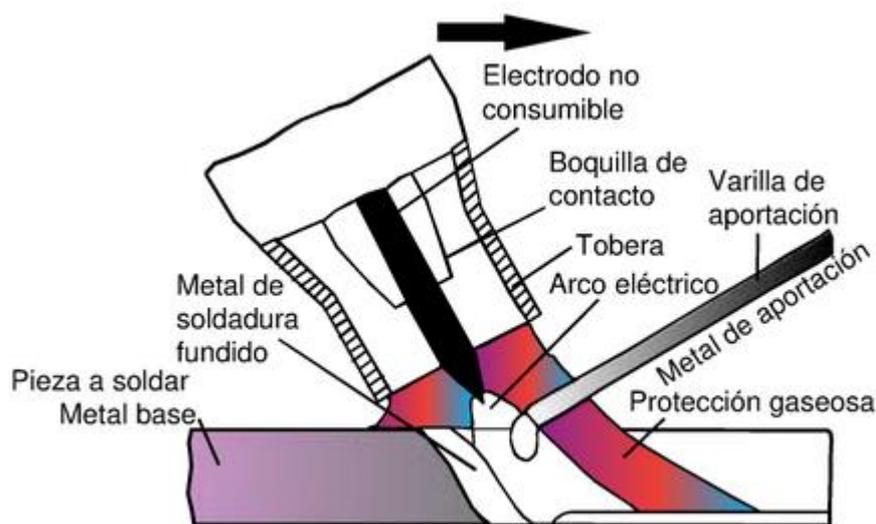


Figura 1-16. Proceso TIG [23]

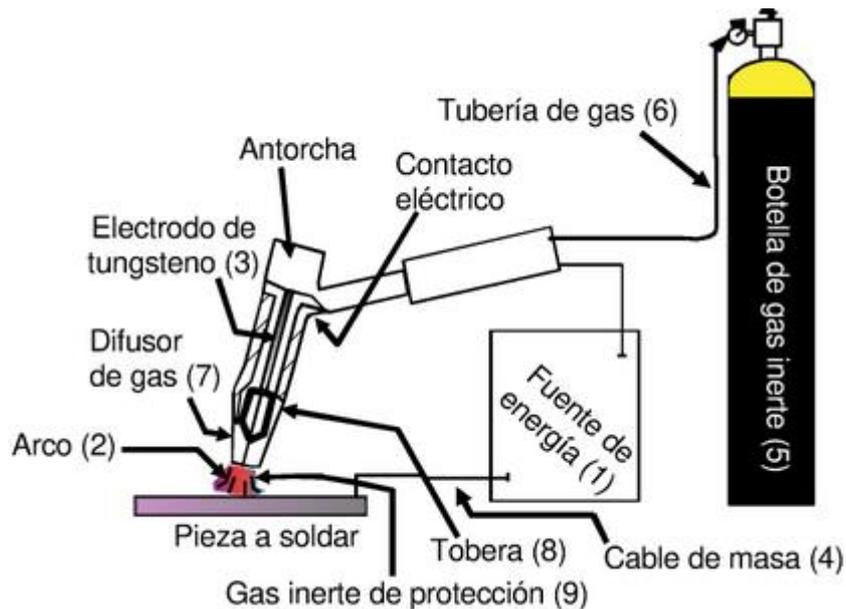


Figura 1-17. Componentes básicos de la soldadura TIG [28]

1.5.7.1. Electrodo de tungsteno

Un electrodo no consumible que ofrece varias ventajas al momento de soldar, tales como que el tungsteno soporta altas temperaturas, permite el afilado según la necesidad al material a soldar, según esto existe tablas reguladas que mejoran la deposición del material de aporte. Este tipo de electrodos pueden presentarse comercialmente en tungsteno puro dedicado a soldadura de aluminio, con identificación de punto verde. Los electrodos de tungsteno dopados con torio o zirconio facilitan su encendido por lo que ofrecen una mejora en la estabilización del arco, son muy ocupados en la industria debido a estos factores, adicionalmente existen electrodos que poseen una mezcla con cerio o lantano, en la tabla 1-8 se aprecia los diferentes electrodos de tungsteno disponibles.

Dependiendo de las puntas de estos electrodos son reconocidos la composición química, y son aplicados a varios metales a soldarse por este motivo, esto gracias a su capacidad de ser afilados, la necesidad de corriente, material de aporte, voltaje, composición de materiales, etc.

Tabla 1-8. Electrodo de tungsteno comerciales [49]

Diámetro del electrodo (mm)	Corriente continua (A)	Tungsteno puro y dopado con zirconio	Tungstenos dopados con cerio, torio o lantano
1	15-80	10-30	20-60
1.6	50-150	30-80	50-120
2.4	100-250	60-130	80-180
3.2	200-400	100-180	160-250

Nota: Los valores sin unidades, se encuentran en Amperios.

Los electrodos de tungsteno son ampliamente utilizados en el campo industrial, por este motivo necesita un cuidado especial para mantenerlos activos, que no se contaminen de elementos ajenos a este para que se encuentre en un estado aceptable y poder ocuparlo a su debido tiempo.

Cabe destacar que los electrodos dopados con torio contienen material radioactivo y pueden suponer un riesgo a la salud, adicionalmente generan un daño medioambiental, debido a que el polvo resultante del afilado de este tipo de electrodos es especialmente peligroso si se ingiere o se inhala. Por lo que algunas organizaciones han prohibido al torio, debido a las complicaciones a largo plazo que suelen presentar los soldadores en su estado de salud, pueden ser sustituidos por electrodos dopados con lantano, cerio o zirconio [29].

Como forma comercial y representativa de estos electrodos, destacan la característica de la temperatura de fusión del tungsteno la cual bordea los 3400°C por lo que estos electrodos no presentan desgaste en sus funciones de manera rápida ni abrupta, esto depende de factores como calidad del material, y habilidad del soldador al manipular este elemento.

Algunas normas rigen y brindan información de estos electrodos tales normas son EN 26848 e ISO 6848.

Los siguientes términos son ocupados en la siguiente figura 1-18:

- CA= Corriente Alterna
- CCPD= Corriente continua polaridad directa

Metal	Tipo de corriente	Tungsteno
Aluminio, aleaciones de aluminio	CA	 Puro  Dopado con zirconio  Dopado con cerio  Dopado con torio  Dopado con lantano
	Onda cuadrada CA	 Dopado con zirconio  Dopado con cerio  Dopado con torio  Dopado con lantano
Cobre, aleaciones de cobre	CCPD (corriente continua polaridad directa)	 Dopado con cerio  Dopado con torio
Aleaciones de magnesio	CA	 Dopado con zirconio  Dopado con cerio  Dopado con torio  Dopado con lantano
Aceros al carbono	CCPD	 Dopado con cerio  Dopado con torio  Dopado con lantano
Aceros inoxidables	CCPD	 Dopado con cerio  Dopado con torio  Dopado con lantano

Figura 1-18. Clasificación del electrodo de tungsteno [29]

1.5.7.2. Aplicaciones de la soldadura TIG

El campo de la soldadura TIG, es muy amplia debido a su versatilidad y facilidad de aporte de material, gracias a esto da una calidad excelente de soldadura, este proceso es aplicable en materiales como [24]:

- Acero inoxidable
- Cobre y sus aleaciones
- Aleaciones ligeras aluminio-magnesio

- Titanio
- Metales varios

1.5.7.3. Partes básicas de una soldadura TIG-GMAW

Las partes que componen un equipo de soldadura TIG se describen a continuación:

- Pistola
- Electrodo de tungsteno
- Varilla de metal de aportación
- Pieza
- Mordaza de masa
- Entrada de masa
- Entrada de agua
- Salida de agua
- Soldadora
- Cables eléctricos de conexión
- Fluxómetro
- Reductor de presión y manómetro
- Botella de argón
- Economizador
- Tubo de gas

1.5.8. Tipos de gases de soldadura.

Son utilizados en los procesos que requieren una atmósfera protectora, tal caso como en procesos MIG/MAG y TIG, en donde se les da esta función a varios gases para mejorar los cordones de soldadura [31].

1.5.8.1. Argón

Un gas que, gracias a su baja conductibilidad térmica, genera el plasma necesario para que exista una menor expansión por medio de la ionización térmica y debido a esta la dimensión será reducida, pero como ganancia mejora la ionización presente. Este gas es ampliamente utilizado en equipos con soldadura MIG/MAG y TIG, esto gracias a que facilita el encendido del arco y lo mantiene estable [31].



Figura 1-19. Gas argón-Indura [31]

1.5.8.2. Helio

El helio permite mejorar los valores del arco, esto con respecto al valor de la energía, este gas es el indicado para materiales en conductividad térmica alta o también en materiales refractarios. El helio produce ventajas tales como la corriente más uniforme, y ayuda en la penetración de forma parabólica, este gas al estar suministrado al cordón mejora la velocidad de movimiento de la antorcha [31].



Figura 1-20. Gas helio-Indura [29]

1.5.8.3. Nitrógeno

El nitrógeno posee bajo costo de adquisición, este se ocupa para soldadura como el cobre, debido a su alta conductividad térmica y su comportamiento inerte [31].



Figura 1-21. Gas nitrógeno-Indura [31]

1.5.8.4. Mezcla de argón y helio

Debido a que necesita mejores propiedades físicas en los cordones de soldadura, y una optimización en la calidad, se emplea una mezcla de gases, tales como el argón y el helio, para poder potenciar el arco además de mejorar la penetración, existe en varios porcentajes de mezcla, la más general de 75% de helio y el 25% de argón [31].

1.5.8.5. Conductividad térmica de los gases

Esta propiedad influye directamente al perfil del cordón, adicionalmente a la geometría y profundidad de penetración, la velocidad con la que aplica la soldadura es enormemente influenciada por la conductividad, debido a este fenómeno en metales como el aluminio y aceros inoxidable es necesario mezclar algunos gases para obtener mejoras en las propiedades físicas y químicas [32].

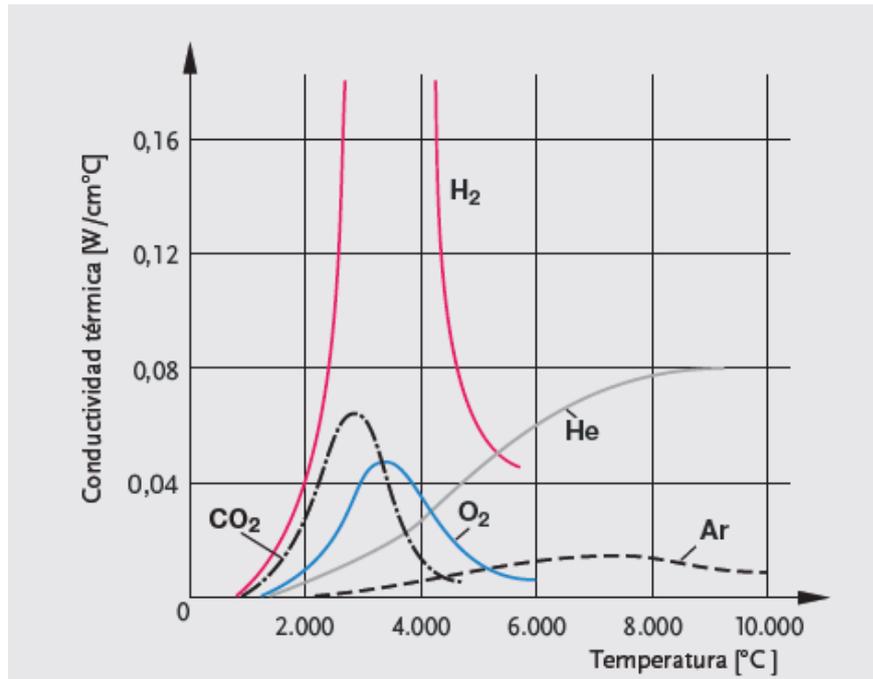


Figura 1-22. Conductividad térmica de los gases [32]

1.5.9. Equipo de protección personal en soldadura

Debido a que la soldadura es un proceso muy peligroso sin los equipos de protección necesarios, se busca evitar riesgos por medio de objetos que permitan salvaguardar los sentidos del operario, para que así pueda realizar el proceso sin exponerse a peligros ni enfermedades a largo plazo [33].

Entre los equipos de protección que se dan destino para la soldadura se encuentran:

- **GORRO:** Diseñada de un material resistente que protege la parte superior de la cabeza, evitando quemaduras en el cabello y la piel, es ocupada cuando existe soldadura en altura [34].
- **MASCARILLAS RESPIRATORIAS:** Las mascarillas están diseñadas para evitar la entrada de gases y partículas al momento de soldar, salvaguardando el sistema respiratorio del operario. En el mercado existen variedad de estos artículos dependiendo de la necesidad a utilizarse.
- **MÁSCARA DE SOLDAR:** Objeto que se usa para mantener libre de la exposición directa del material arrojado por la soldadura, además resguarda de la radiación del proceso que se aplique, por lo que evita la exposición directa del arco, protegiendo la vista del operario.

- **GUANTES DE CUERO:** Este objeto vienen en pares comerciales, diseñados para proteger las manos evitando quemaduras.
- **COLETO O DELANTAL DE CUERO:** Diseñado especialmente para evitar salpicaduras y quemaduras proveniente del proceso de soldadura, impidiendo así que los rayos ultravioletas del arco no lleguen directamente al operario.
- **ZAPATOS DE SEGURIDAD:** Protegen los pies a ser expuesto a quemaduras o caídas de material, impidiendo golpes directos en el operario. Estos zapatos están diseñados en un material duro, salvaguardando esta zona del cuerpo.

Con esto se detalla en la siguiente figura 1-23 los equipos que se utilizan en el proceso de soldadura.



Figura 1-23. E.P.P. de operario [34]

1.5.10. Estructuras de las uniones soldadas

Debido a que las uniones soldadas se emplean energía, generan un cambio en las estructuras esto por cambios bruscos de temperatura y la adaptabilidad del material que se está aportando, hay varias zonas que resultan afectadas de cierta manera, esto se puede apreciar en las zonas fundidas, de influencia térmica y la zona de transición [21],[35].

1.5.10.1. Fuentes de calor: ciclos térmicos

Por la cantidad de procesos de soldaduras que existen en la actualidad, tales como soldadura por protección de gases, o soldadura con electrodo revestido, o por arco fundente, independientemente del método ocupan una fuente de calor, la cual por medio de la puesta en marcha de la fuente ya sea de forma directa o indirecta, con esto se logra fundir un material metálico.

Abarcando todos los procesos por soldadura generan unión en zonas pequeñas, debido a esta razón las fuentes de calor suelen moverse para obtener la unión de las piezas en una longitud que se encuentra prescrita.

Por medio de la energía térmica aplicada al sector de soldadura, el efecto de ser calentado y enfriado en diferentes tiempos, hace que estos se expongan a varios ciclos térmicos [21],[35].

El ciclo térmico se precisa como la aplicación de una cierta cantidad de calor expresada por la temperatura en un tiempo de proceso de soldadura, el cual está ya debe estar determinado, este tiempo suele ser son relativamente corto.

Una fuente de calor generalmente brinda la máxima cantidad de calor, de igual manera la temperatura se eleva por este fenómeno, el funcionamiento consta que el sector calentado va con su punto de aplicación y se extiende a los extremos, por lo que necesita parámetros tales como:

- Parámetros energéticos
- Intensidad de aplicación
- Tensión eléctrica
- La velocidad de desplazamiento de la fuente de calor
- Distancias que se van a soldar
- Uniformidad de desplazamientos
- Tipos de gases
- Zona de unión

1.5.10.2. Zonas estructurales de las uniones soldadas

Por medio de estudios en la soldadura y análisis físico y químicos, se dan análisis a las zonas que se afectan con el calor, tales como las zonas de fusión de los materiales, también es analizado los cambios estructurales en las zonas mencionadas, adicionalmente sufren el cambio de propiedades mecánicas debido a la temperatura [21],[35].

Los fenómenos son estudiados por medio de los factores que intervienen a continuación:

- Material de aporte se funde por la aplicación de calor, por lo que este se solidifica en un tiempo determinado, lo que este fenómeno ocurre de manera similar a un proceso de fundición.
- La soldadura actúa de manera similar a la fundición, los bordes son equivalentes a los de un molde de fundición, este se refiere al material inmediato en la zona de fusión que no va a fundirse, pero se encuentra en altas temperaturas, esto implica tener temperaturas desde el centro hacia la zona que no se encuentra calentada, generando un tratamiento térmico variable, esto hará que se afecte la zona y por consiguiente las reacciones químicas en la zona de fusión.

Para poder realizar un análisis más completo se necesita realizar una macrografía en la zona la unión soldada para poder visualizar las siguientes zonas:

- **La zona fundida:** Formada de material líquido, solidificado en la cual ha ocurrido las transformaciones físicas y químicas, a la vez sus cambios estructurales.
- **La influencia térmica:** Esta zona se refiere a la parte del material base, en la zona fundida que no ha sufrido fusión, es el sector adyacente que en esta involucra el cambio de microestructura por la energía empleada, esto cabe destacar que se generan en varias de las aleaciones ferrosas y a su vez en las aleaciones no ferrosas.

1.5.10.3. Zona fundida: formación de la costura

La zona fundida al estar en contacto con el material base, genera un perfil recto, generalmente se da en procesos de soldadura por electrodo revestido, oxiacetilénica, etc. En muchos de los casos es la fusión de los materiales base y de aporte, químicamente hablando es la unión de estos dos materiales [21],[35].

Los factores varían en la zona fundida o costura, son:

- Las altas temperaturas del proceso
- Los fundentes y los tipos de revestimientos
- Tipo de proceso de soldadura utilizada

No obstante, para obtener una zona fundida de calidad, las condiciones óptimas y certeras para que el metal pase de estado líquido a sólido, necesita de lo siguiente:

- Modificaciones químicas
- Absorción de gases
- Precipitación de compuestos de la solución sólida
- Transformaciones eutécticas
- Modificaciones estructurales

1.5.10.4. Modificaciones químicas

Correspondiente a que el material aportado genera reacciones químicas, por lo conlleva cambios en ciertas partes de la zona afectada, esto se da por condiciones de [21],[35]:

- Perdidas por oxidación
- Impurezas del material

Esto influye en las propiedades del material, tales como mecánicas, físicas y químicas.

1.5.10.5. Pérdida de elementos por oxidación

Consecuente de un proceso de soldadura, indiferente del método que se haya ocupado conlleva pérdidas de los elementos, la razón principal son los óxidos, generalmente se

presenta este fenómeno en las aleaciones de aceros, esto se debe a que los óxidos provenientes del silicio y magnesio no tienden a disolverse en el metal líquido por lo tanto generan silicatos, debido a esto forman inclusiones en las costuras, adicionalmente las porosidades son desarrolladas por este fenómeno [21],[35].

1.5.10.6. Fijación de elementos perjudiciales

Cuando se encuentra un proceso de soldadura los metales, estos son impregnados con otros elementos tales como el carbono, fosforo y azufre, esto ingresando a la zona fundida, en caso de la soldadura SMAW, esto viene dado por los electrodos, en específico por el revestimiento, esto suele generar pérdidas en sus propiedades mecánicas. Esto no ocurre en los hierros fundidos, debido a que no se da la fijación de carbono como en otros procesos [21],[35].

1.5.10.7. Fijación de elementos favorables

A causa del proceso de soldadura que se efectúa, también se aportan varios elementos beneficiosos para la junta, estos elementos mejoran las propiedades físicas, mecánicas y químicas [21],[35].

Teóricamente esto es muy factible, pero puesto en práctica se pierde algunos componentes del revestimiento, y existe contaminación por parte de agentes externos presentes en el ambiente.

1.5.10.8. Absorción de gases

El proceso de soldadura que ocupa protección de gases, existe contaminación en la nube donde hay materiales externos que entran, se adhieren y obligan al cordón a crecer, por lo que este sufren modificaciones químicas, físicas, y una notable baja en las propiedades mecánicas en los materiales [21],[35].

1.5.10.9. Precipitación de compuestos de la solución sólida

La fusión genera una precipitación desde la solución sólida, esto inflige una variación en las propiedades mecánicas o químicas de la unión. Esto en el caso de la soldabilidad de aceros inoxidables austeníticos, tenemos soldaduras regulares debido al fenómeno de la precipitación de los carburos de cromo, esto ocurre en un rango de temperatura

de [420 y 850] °C, lo cual suscita en una disminución en la corrosión de estos materiales. [21],[35].

1.5.10.10. Transformaciones eutécticas

La propiedad de la soldabilidad radica en varios factores, tales como al metal mismo que va a soldarse y el material de aporte, por lo cual se relacionan a las transformaciones eutécticas, la microestructura depende de estos fenómenos un ejemplo práctico es el siguiente, en el cobre con oxígeno se incita a la formación del eutéctico Cu-Cu₂O en la zona fundida, debido a esto ocasiona una fragilidad en tal punto [21],[35].

1.5.10.11. Modificaciones estructurales

Son un tema de estudio muy amplio debido al problema que ocasionan al momento de soldarse metales, el caso de no aplicarse correctamente una soldadura, solo dando un aporte de energía la estructura interna del material cambiara de una forma que debilita al material base, por lo tanto es un factor para tener en cuenta en cualquier situación de práctica [21],[35].

Las modificaciones se dan principalmente en la zona fundida, estas son principalmente:

- Las modificaciones de la forma y el tamaño conjuntamente con la orientación de los granos afectan el estado fisicoquímico del material recién unido.

Todos estos factores dependen principalmente por el ciclo térmico, que se le da en el proceso de soldadura, la cristalización del material define factores que determinan tamaño, orientación, y principalmente la forma de los granos del material, otros factores que modifican al tamaño de granos es la velocidad de enfriamiento y los tiempos de calentamiento [21],[35].

1.5.10.12. Zona de influencia térmica (ZIT)

Una de las zonas más conocidas en metalurgia y soldadura se refiera a la zona que no se aportado material, ni se ha fundido, pero por la energía térmica cambian las propiedades microestructurales de una manera característica, por lo que influyen las variables como el tipo de soldadura, posición, espesores del material, espesor del

material de aporte, y principalmente de la capacidad energética que se brinda al equipo de soldadura [21],[35].

1.5.10.13. Factores que influyen en la forma y dimensiones de la zona de influencia térmica

En el proceso en sí afecta a los metales, varios parámetros modifican la zona de influencia térmica, esto varía en la apariencia física del cordón, debido a esto la zona de influencia térmica comienza a variar el ancho, este efecto puede evitarse con una boquilla adecuada cuando se trabaja con flujo de caudal de los gases.

La zona depende de algunas influencias extras tales como el espesor del material, esto provocará un crecimiento o decrecimiento en esta zona mencionada, esto principalmente por la energía aportada y adicionalmente el volumen que posee el material [21],[35].

1.5.11. Defectos en la soldadura

Defecto según [36]: Una discontinuidad o discontinuidades que, por naturaleza o efecto acumulado, hacen que una pieza o producto no cumpla con las normas o códigos y especificaciones aplicables. Por lo que esta conlleva a crear un reporte de no conformidad y reparación.

1.5.12. Discontinuidades de la soldadura

La discontinuidad es definida por la AWS [36]: como interrupción en la estructura típica de un material tal como una falta de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas o físicas.

El problema general en soldadura es principalmente es que, al estar sometido a varios procesos anteriores o posteriores, diferentes estados físicos de los metales, este al ser sometido a un proceso independientemente de soldadura, por medio de un soldador, este al tener diferentes técnicas para soldar, generan varias discontinuidades, ya sea calificado o no, el principal problema es que siempre por cualquier proceso va a tener discontinuidades presentes, ya sea al inicio del cordón o al finalizarlo.

Dependiendo de esto las discontinuidades podrán ser permisibles o no, de acuerdo con el tipo, tamaño, distribución de estos y las normas a utilizar generan criterios de aceptación y rechazo.

En la figura 1-24 se aprecian los tipos de discontinuidades de la soldadura más comunes.

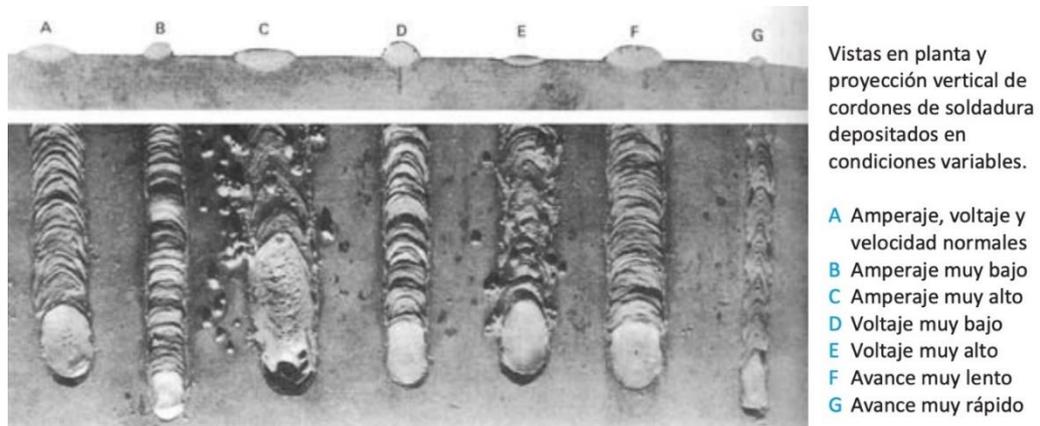


Figura 1-24. Discontinuidades de soldaduras [35]

1.5.12.1 Agrietamientos (Grietas)

Una discontinuidad presente en soldadura son las grietas, este tiene diferentes orígenes, pero su definición es sencilla, es la separación entre el material base y el de aporte, o solo en este último caso, en el de aporte, se la puede visualizar unos ejemplos en la siguiente figura 1-25.

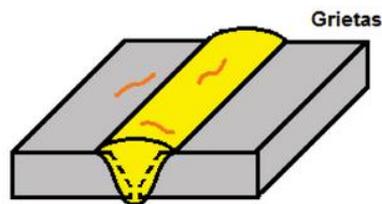


Figura 1-25. Grietas [35]

Los orígenes de las grietas radican en las principales razones:

- **Tensiones residuales:** Ocasionadas por un calentamiento no uniforme y esto genera un cambio en la microestructura de la zona de influencia térmica llamada (ZIT), por lo que dan grietas en el material.
- **Gran diferencia de espesores:** El espesor genera grietas si las diferencias entre estas son significativas, estas producen un agrietamiento en el sector que se encuentre soldando.

- **Absorción de gases ajenos:** Por la presencia de otros agentes que se pueden presentar en la soldadura, estos elementos tales como nitrógeno e hidrógeno producen fragilidad en la junta y agrietamientos.

1.5.12.2. Falta de penetración

Este problema igual que las grietas son peligrosas en las uniones soldadas y es ocasionado a que el metal de aporte no funde las esquinas de la raíz, esta discontinuidad suele ser externo o interno [21],[35].

La falta de penetración es una discontinuidad que no es aceptable en los estándares y se necesita reparación del cordón. Las causas suelen estar atadas a los siguientes parámetros:

- Electrodo muy grueso
- Corriente de soldadura insuficiente para el proceso
- Excesiva velocidad de pasada
- Penetración incorrecta

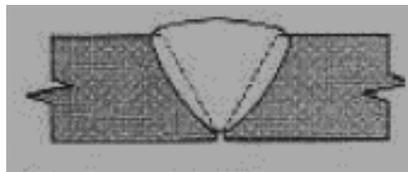


Figura 1-26. Falta de penetración [35]

1.5.12.3. Concavidades

A estas discontinuidades se las suele llamar falta de relleno, es una disminución de refuerzo externo, debido al poco depósito de material en el relleno del cordón. Estas suelen generarse de maneras externas e internas.

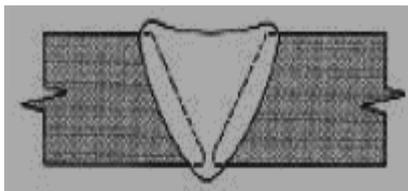


Figura 1-27. Concavidad [35]

Concavidad interna: Discontinuidad originada debido a la primera pasada del material de aporte, se da por el enfriamiento lo que disminuye el espesor en el material base, en la figura 1-28 se aprecia esta discontinuidad.

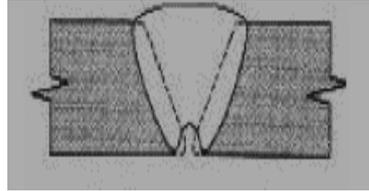


Figura 1-28. Concavidad interna [35]

1.5.12.4. Socavadura

Las socavaduras se dan por sobre montas o por ranuras fundidas que se sitúan en el metal base, y no han sido llenadas por el metal apartado [21],[35].

Frecuentemente se ocasionan por arco incorrecto o un arco húmedo.



Figura 1-29. Socavadura [35]

1.5.12.5. Salpicadura

Estas son discontinuidades en forma de esferas de metal fundido, se deposita de forma aleatoria sobre el cordón y son provocadas por humedad en el electrodo, o por la incorrecta velocidad de llenado del metal de aporte [35].

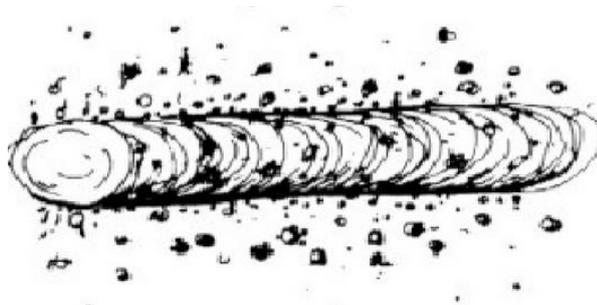


Figura 1-30. Salpicadura [35]

1.5.12.6. Falta de continuidad del cordón

Se da por interrumpir el cordón continuo y este al ser una nueva sección o reanudación del mismo material depositado, se da fallas de fusión transversales, o en ocasiones solo generan surcos y deben ser analizados a fondo para su respectiva aprobación [21],[35].

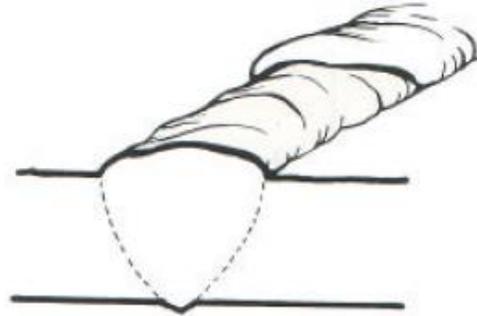


Figura 1-31. Falta de continuidad del cordón [35]

1.5.12.7. Fisuras

Respecto a las fisuras se clasifican en longitudinales, transversales, calientes y frías, cada una comparten orígenes similares debido movimientos bruscos durante el proceso o después de este, donde se producen las fisuras en el centro del cordón [21],[35].

1.5.12.8. Fisura longitudinal

Se dan por enfriamientos bruscos, son bastantes raras, pero se encuentran especialmente en aceros como el AISI 321 y aceros bonificados, en la figura 1-32 se aprecia esta discontinuidad a fondo [21],[35].



Figura 1-32. Fisura longitudinal [35]

1.5.12.9. Fisuras transversales

Se dan frecuentemente en aceros duros y por la mezcla de elementos externos al enfriarse, y esta discontinuidad puede expandirse hasta el metal base.

1.5.12.10. Fisuras en caliente

Se da este nombre porque se originan cuando se está solidificando la junta, por lo que suele estar ligada a las impurezas del material base y a elementos como (azufre y fósforo). Se producen en varios metales ferrosos y no ferrosos [21],[35].

1.5.12.11. Fisuras en frío

Estas son ocasionadas al estar enfriándose la junta, agentes externos como el hidrógeno tienen contacto con el cordón produciendo estas fisuras.

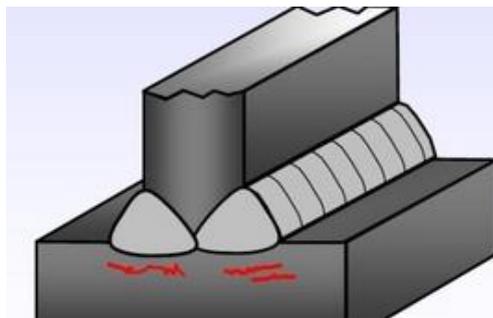


Figura 1-33. Fisuras [35]

1.5.12.12. Descuelgues

Se presentan en los cordones soldados, originados principalmente por un exceso de fusión del baño de soldadura [21],[35].

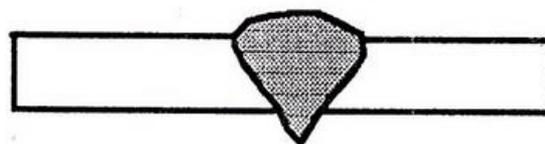


Figura 1-34. Descuelgues [35]

1.5.12.13. Porosidades

Los poros suelen ser provocadas por las reacciones químicas presentes en el baño de fusión y que dan lugar a la formación de gases.

Esta discontinuidad esta originada por un enfriamiento rápido del cordón, y los gases quedan atrapados sin poder salir, provocando que las burbujas queden solidificadas con el tiempo [21],[35].

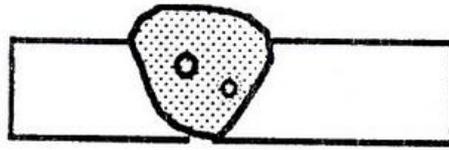


Figura 1-35. Porosidades [35]

1.5.12.14. Deformaciones y alabeos

Esta discontinuidad tiene su origen en la presencia de tensiones residuales, que son dados por el aporte de calor durante la ejecución de la soldadura para mantener fluido el baño de fusión, definiéndola es una deformación parcial o total de la junta, que se vuelve un problema al momento de soldar, se pierde la simetría en la distribución del material de aporte, provocando que el ancho del bisel sea disminuido abruptamente [21],[35].

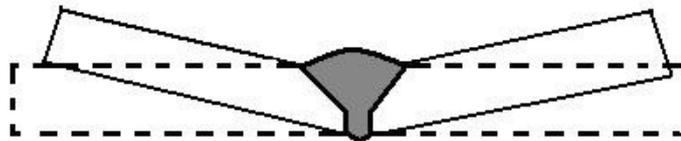


Figura 1-36. Deformaciones [35]

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Son los medios físicos que se utilizaron para realizar el estudio experimental y el análisis de datos.

2.1.1. Cabezote o culata

Es una pieza que se ocupa en el cierre de los cilíndricos, en esta con adición del block suelen ser la cámara de combustión, donde ocurre el proceso termodinámico para el movimiento del vehículo, en esta pieza se instalan los demás elementos como las válvulas, los colectores, los balancines y el árbol de levas.



Figura 2-1. Cabezote de motor

Fuente: Autor

2.1.2. Materiales de conformación de la culata

2.1.2.1. Aleación de aluminio

En la investigación se ha logrado encontrar las aleaciones de aluminio que pueden contener silicio y magnesio, son usadas gracias a su peso reducido y la facilidad térmica que le permite disipar la temperatura en funcionamiento, el costo de estos cabezotes es más elevados debido a los materiales mencionados [37].

La aleación perteneciente a este tipo de cabezotes se encuentra en la unión de aluminio, cobre, silicio y magnesio, por lo que el aluminio mezclado con magnesio y silicio es perfecto para la parte automotriz, en la cuales cabe destacar las series 6042 y 6262 además de poseer su parte comercial en aleaciones tales como la A319 T6, la A356 T6 y la A332 [38].



Figura 2-2. Cabezote de motor-aluminio [37]

En la siguiente tabla se puede apreciar las características presentes de las diferentes aleaciones comerciales de aluminio, los porcentajes, propiedades y cantidades varían según el proveedor al que se acceda en el mercado.

El material ensayado para este caso presenta una fase alfa de 73,4% y una fase beta de 26,6%, por lo que se demuestra que es una aleación Al-Si-Cu-Mg, obteniendo una aleación de aluminio A356. Ver el ANEXO 4 para más características de la aleación ensayada.

Tabla 2-1. Características de la aleación de aluminio-magnesio-silicio [39]

Aluminio con magnesio-silicio					
Aleación	Estado de suministro	Carga a la rotura min (N/mm ²)	Alargamiento al 50%	Dureza Brinell	Peso específico
319	T6	250	2	80	2.6
A319	T6	300	6	90	2.6
356	T6	228	3.5	70	2.6
A356	T6	330	6	95	2.6
6042	T4	205	12	58	2.71
	T6/ T651	310	7	95	2.71
6262	T6	260	8	95	2.71

2.1.2.2. Hierro fundido

La mayoría de los cabezotes son de hierro fundido, ocupados por su bajo costo, gran resistencia mecánica y robustez, debido a esto la resistencia a la deformación es mayor que en comparación a otros metales utilizados para la misma función. Suele estar compuesto de hierro-níquel lo cual lo vuelve un poco difícil de unir por soldadura con métodos convencionales.



Figura 2-3. Cabezote de motor-hierro fundido

2.1.3. Rectificadora

Lo que constituye esta máquina herramienta por arranque de viruta o de abrasión, es utilizada principalmente para la reparación de los cabezotes en su mayoría por defectos, por lo que este puede ser rectificado de tal manera que la superficie pueda volver a ser utilizable.



Figura 2-4. Rectificadora

Fuente: Autor

2.1.4. Soplete

Es un instrumento alimentado con gas por medio de una tubería, este gas de bajo costo es consumido para generar una llama, con este instrumento se pretende quemar el exceso de combustible en los cabezotes, obteniendo una capa lucida de material que pueda ser aplicado a soldadura [40].



Figura 2-5. Soplete [40]

2.1.5. Esmeril

Es una herramienta de desbaste para materiales metálicos, utilizado principalmente en la industria para el afilado de piezas, o para el esmerilado de los chaflanes para soldadura, adicionalmente se lo ocupa en casos para quitar pequeñas rebabas de elementos ya trabajados en proceso anteriores [40].



Figura 2-6. Esmeril [40]

2.1.6. Mordaza con base giratoria

Utilizada en la sujeción de los elementos a rectificar, fijándola entre sus muelas, se lo ocupa para mantener piezas fijas y lograr tener la estabilidad en los procesos a desarrollar [41].



Figura 2-7. Mordaza con base giratoria [41]

2.1.7. Mesa de trabajo

Mesa compuesta de varios entrelazados metálicos para la facilidad de conducción de electricidad por medio de este medio, y que se electrifique la pieza a soldar.



Figura 2-8. Mesa de trabajo

2.1.8. Tintas penetrantes

Son ocupadas para realizar los ensayos no destructivos, por medio de estas se detectan grietas o discontinuidades superficiales, consiste en un kit de tintas que al ser aplicado permiten visualizar las discontinuidades. El kit completo para el ensayo se presenta en tres latas de producto, las cuales consisten en limpiador, tinta penetrante y revelador. Es muy sencillo de usar, práctico y de fácil interpretación.



Figura 2-9. Tintas penetrantes

2.1.8.1. Características del kit de tintas penetrantes

Lo conforman comercialmente tres latas en aerosol, adicionalmente un pequeño manual de uso, el contenido debe ser aplicado según el proceso correspondiente para detectar los defectos, discontinuidades-grietas, cada lata consiste en:

- **Detector de grietas – limpiador**

Tabla 2-2. Características del limpiador. [42]

Características del limpiador	
Marca	WEICON
Olor	Diluyente
Características	Evaporación sin dejar residuos
Estabilidad de almacenaje	24 meses
Color	Trasparente
Resistencia a la temperatura	0 hasta +50°C
Alcance	Limpiador especial neutro para la inspección mediante colorantes penetrantes. Adecuado para metales, muchos plásticos, materiales cerámicos, vidrio etc. Hay que comprobar la compatibilidad con los plásticos
Almacenamiento	Contenedor bajo presión. Proteger de temperaturas mayores de +50°C y de la luz directa del sol.



Figura 2-10. Lata-limpiador [42]

- Detector de grietas – penetrante

Tabla 2-3. Características del penetrante [43]

Olor	Diluyente
Características	Muy buena capacidad de fluencia
Estabilidad de almacenaje	24 meses
Color	Rojo
Resistencia a la temperatura	0 hasta +50°C
Alcance	Adecuado para metales, muchos plásticos, materiales cerámicos, vidrio etc. Hay que comprobar la compatibilidad con los plásticos
Almacenamiento	Contenedor bajo presión. Proteger de temperaturas mayores de +50°C y de la luz directa del sol.



Figura 2-11. Lata-penetrante [43]

- **Detector de grietas – revelador**

Tabla 2-4. Características del revelador [44]

Olor	Diluyente
Características	Muy Indicación segura de fallos en materiales
Estabilidad de almacenaje	24 meses
Color	Blanco
Resistencia a la temperatura	0 hasta +50°C
Alcance	Adecuado para metales, muchos plásticos, materiales cerámicos, vidrio etc. Hay que comprobar la compatibilidad con los plásticos
Almacenamiento	Contenedor bajo presión. Proteger de temperaturas mayores de +50°C y de la luz directa del sol.



Figura 2-12. Lata-revelador [44]

2.1.9. Cepillo de acero inoxidable

Cepillo constituido de alambres de acero, utilizado para limpiar el óxido generado en el material naturalmente o por factores como ampliación de químicos en la superficie del cabezote, el uso que se debe darle es únicamente a los cabezotes, debido a que si se ocupa en otro material este se puede contaminar con partículas externas que pueden intervenir en el proceso de soldadura.



Figura 2-13. Cepillo de acero inoxidable

2.1.10. Grata

Disco compuesto de alambres, utilizado para la limpieza del material, se la acopla a la amoladora permitiendo quitar la escoria en materiales metálicos.



Figura 2-14. Grata [40]

2.1.11. Amoladora

Herramienta eléctrica diseñada especialmente para el corte, limpieza de materiales metálicos, por medio de adaptar discos removibles para diferentes usos, en este caso se lo utiliza para limpieza del material.



Figura 2-15. Amoladora [40]

2.1.12. Balde con agua

Balde plástico provisto con agua a temperatura ambiente, para que sirva de refrigerante de la pistola y así evitar recalentamientos.



Figura 2-16. Balde

2.1.13. Guantes de cuero

Guantes diseñados para soportar el trabajo en caliente de materiales que van a hacer expuestos altas temperaturas, protegiendo las manos de quemaduras. Los guantes de cuero son versátiles y prácticos en estos casos.



Figura 2-17. Guantes de cuero [45]

2.1.14. Zapatos de cuero

Calzado especialmente diseñado para proteger de golpes, y evitar quemaduras debido al material caliente desprendido en el proceso de soldadura.



Figura 2-18. Zapatos de cuero [45]

2.1.15. Overol

Ropa compuesta de tela jean, diseñada específicamente para trabajos en caliente y frío, protege al usuario de polvo, suciedad y agentes externos, ocupada en el proceso de soldadura debido a esto evita las salpicaduras generadas por el proceso TIG.



Figura 2-19. Overol [45]

2.2. Métodos

2.2.1. Nivel o tipo de investigación

Exploratorio:

Este método permitirá conocer inicialmente todos los parámetros que influyen en la investigación, establecerá los fundamentos de donde parte todo el proceso investigativo en función de las propiedades del material base, que será de gran beneficio para obtener las características principales, por medio de este se analizará el material de aporte, y opción para una correcta unión de materiales.

Descriptivo:

En este trabajo experimental se utilizará un método descriptivo ya que los detalles con que se desarrolle el proceso investigativo son importantes para establecer los resultados de este, por lo cual serán registrados con imparcialidad.

Bibliográfico:

Mediante este método se obtendrá información de estudios y aplicaciones similares o que tengan relación con la temática propuesta de fuentes internacionales; debido a esto será empleado en conseguir fuentes externas para completar este tipo de proceso.

2.2.2. Metodología

Dado que el objetivo de estudio será analizar el proceso que se puede brindar para la reparación de cabezotes de aluminio de motores a combustión interna, se adopta un diseño experimental el que se aplicará de manera directa ya adoptará un diseño experimental verdadero, considerando que el tema contiene un sustento teórico suficiente, por lo que se procedió a realizar una investigación experimental la cual nos da a detalle cómo se puede proceder a dar reparación de cabezotes de aluminio de motores a combustión interna.

2.2.2.1. Diseño del experimento

Para el desarrollo del experimento se emplea el método ortogonal Taguchi para enfocar el proceso de investigación en los efectos principales, que pueden obtenerse de las variables, este método permite desarrollar un diseño balanceado que reduce más el tiempo y costos asociados al experimento.

Para analizar los parámetros del equipo, para obtener una reparación buena del cabezote, se propone un experimento diseñado por el método de Taguchi, el cual permite escoger los parámetros más consistentes para conseguir los mejores resultados en el entorno de trabajo.

Debido a esto se opta por mantener contraste algunos parámetros, del equipo y la manipulación radica en controlar los parámetros expuestos en la siguiente tabla 2-5.

Tabla 2-5. Factores de control del experimento

Factores de Control			
Nombre	Unidad	Niveles	
Amperaje	Amperios (A)	120	130
Pre-flujo	Segundos (s)	0	1
Post-flujo	Segundos (s)	0	1

Fuente: Autor

2.2.2.2. Diseño Factorial

El diseño factorial involucra el número de factores controlables y el número de niveles para estimar todas las posibles combinaciones. El número de experimentos o arreglos se estima mediante la siguiente fórmula:

$$A = F^n$$

Donde:

A: Arreglo (número de corridas)

F: Número de factores.

n: Número de niveles de cada factor.

Datos:

Número de factores de control (F): 3

Niveles de cada factor (n): 2

$$L=n^F$$

$$L=2^3$$

$$L=8$$

Resultado: Diseño factorial L8.

Se obtiene un diseño con 8 experimentos, probando así la mejor estrategia para controlar los parámetros y brindar una reparación completa y perfecta. Para esto se altera los valores de tiempos y amperaje en el equipo. El diseño fue realizado en un software de experimentos.

De esta forma logramos obtener un experimento sencillo y práctico, acomodándose a los recursos disponibles en la rectificadora, por lo que facilitara el desarrollo del experimento y la obtención de datos.

En la tabla 2-6 se visualiza la generación del número del experimento con sus parámetros para ser aplicado en el equipo a soldar.

Tabla 2-6. Parámetros del experimento.

Experimento	Amperaje	Pre-Flujo	Post-Flujo
1	120	0.2	0.1
2	121	0.5	0.9
3	129	0.7	0.8
4	122	0.4	0.2
5	125	0.5	0.5
6	128	0.5	0.1
7	127	0.9	0.3
8	127	0.4	0.2

Fuente: Autor

2.2.2.3. Normativas para ensayos no destructivos

2.2.2.4. Métodos de inspección no destructivos

Los métodos de inspección no destructivos serán aplicados a que dan indicadores de las discontinuidades que se encuentran presentes en las uniones soldadas, debido a esto permiten conservar las probetas o los elementos a las que son aplicados, la ventaja que conlleva es su fácil aplicación, poco tiempo e interpretación de los resultados.

2.2.2.5. Inspección visual

Una prueba sencilla que servirá al ser aplicada de manera indirecta por todos los operadores de soldadura, debido a que terminado un proceso revisan a vista las imperfecciones y discontinuidades en los cordones realizados, de una manera superficial, inspeccionar visualmente es una técnica muy fácil de usar y solo deberá ser ejecutada por personas que conozcan del tema. [46].

2.2.2.6. Inspección por líquidos penetrantes

Este tipo de ensayo permitirá detectar y visualizar discontinuidades presentes en la superficie, tales como grietas, fisuras y poros, su campo es amplio en materiales ferrosos y no ferrosos, llegando su alcance a materiales como vidrios, plásticos, etc.

Esta inspección requiere de pocos equipamientos y la ventaja que ofrece es amplia ya que no implica una geometría definida para su uso.

Por medio de este método se logra, una detección superior a las de que otros ensayos no destructivos tales como radiografía, o ultrasonido.

2.2.2.6.1. Fundamentos del método de tintas penetrantes

Este método utilizará la capacidad que tienen algunos líquidos para penetrar y mantenerse en las cavidades y grietas presentes en las superficies de los elementos a ensayar, estos brindan información de las discontinuidades que no se pueden ver normalmente, la propiedad que tiene los líquidos se llama capilaridad y está ligada a la tensión superficial del penetrante, además depende del ángulo de contacto con la superficie que forma [47].

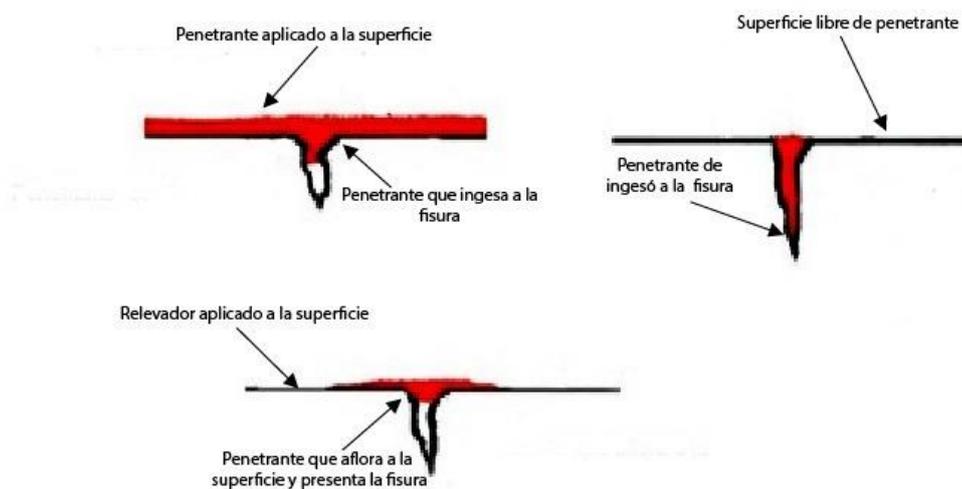


Figura 2-20. Acción de los líquidos penetrantes [47]

El contacto que ejerce una gota del líquido de penetrante en cualquier superficie da un punto donde se da tres fuerzas provocadas por la tensión superficial.

En donde factores mencionados, tales como el coeficiente de penetración dependen del fabricante y más de la acción del líquido penetrante en acción.

Debido a esto las condiciones con el que se debe tomar en cuenta, es la temperatura ambiente para ser aplicado, y el tipo de material a ensayar.

2.2.2.6.2. Clasificación de líquidos penetrantes

La norma que rige esta clasificación en específico es la ASTM E-165 esta se emplea principalmente para los líquidos penetrantes, siendo los siguientes:

Penetrantes posts emulsificable: Este tipo de penetrantes, necesitan ser removidos por medio de un emulsificador en un intervalo de tiempo. No es apto tratar de removerlos por medio de agua.

Penetrantes lavables con agua: Como su nombre mismo indica, este puede ser removida por medio de agua, una condición en este penetrante para sea removido, la temperatura del agua no debe exceder los 40°C. Este penetrante es ideal para discontinuidades que tienen poca profundidad.

Penetrantes removibles con solvente: Están diseñados para remover al penetrante, con la condición que ya haya sido removido por una limpieza anterior, por lo que la superficie quedara limpia, sin rastros de líquido coloreado [47].

En este caso se realizará la utilización de los penetrantes removibles con solvente, ya que son sencillos de encontrar en el mercado nacional, además del costo inicial es muy bajo y fácil de conseguir.

2.2.2.6.3. Reveladores

La revelación de las indicaciones de discontinuidades es el proceso mediante el cual el líquido penetrante entra en las profundidades de grietas o cavidades en el tiempo determinado, por la aplicación del revelador se da un tiempo de secado de forma que aumente la visibilidad de las indicaciones [47].

Los reveladores de polvo seco: Un polvo fino que no se endurece, este se aplica directamente o se espolvorea en la superficie a examinar, es ocupado en tintas penetrantes fluorescentes.

Los reveladores no acuosos: Se trata de un polvo que se encuentra en un líquido no volátil, volviéndolo el más utilizado debido a su fácil manejo en aerosoles.

Los reveladores acuosos: Se disponen en presentaciones de polvos que se agregan agua para su uso, las indicaciones de este especifican que deben ser cuidadoso en la concentración de este revelador.

2.2.2.6.4. Proceso a seguir para inspección por tintas penetrantes

Para lograr una buena inspección por tintas penetrantes se debe seguir un orden en específico, el cual se indica a continuación:

Limpiar la superficie a ensayar: Se debe remover grasas, aceites u otros agentes que impidan el paso de la tinta para que no exista el falso resultados de discontinuidades, aplica el limpiador en la superficie a ensayar, dejándola actuar un cierto tiempo, luego pasar un paño para quitar el exceso de este líquido.



Figura 2-21. Aplicación de limpiador

Fuente: Autor

Aplicación del penetrante: Se debe aplicar el líquido en la superficie, por medio de la propiedad de capilaridad este entrara en las discontinuidades, haciéndolos los más notorios a simple vista, y reconocible para un inspector o en su caso a un especialista del tema, este debe actuar por lo menos de 3 a 5 min para tener resultados apropiados. En caso de no tener los resultados deseados o por exceso de humedad se debe repetir el proceso.



Figura 2-22. Aplicación penetrante

Fuente: Autor

Aplicación del revelador: Como último paso, se debe aplicar el revelador pulverizado, esta capa de revelador se debe colocar de manera uniforme, para visualizar las discontinuidades presentes en la soldadura, tiene un color blanco, suele secar el penetrante dejando las manchas rojizas en el área de la discontinuidad.



Figura 2-23. Aplicación de revelador

Fuente: Autor

Nota final: Para tener los resultados correctos dependen del cuidado en los procesos y exactitud de un operador o inspector al ejecutar los pasos previos, para poder evaluar correctamente según la norma o código que se vaya a aplicar.

2.2.2.7. Ensayo de dureza Brinell

Para este tipo de ensayos se toma como referencia la norma ASTM E10-78 en donde detalla los parámetros aplicables para el proceso de las comprobaciones de dureza, por medio de indentación con el uso de una máquina calibrada, en el cual se aplica fuerza por medio de una bola fabricada de un acero estándar, este tiene la cualidad de ser extraduro o su vez se puede aplicar una de carburo de tungsteno, esta tiene un diámetro la cual se designa como "D", dándose una aplicación de una fuerza "P" contra la superficie del material a encontrar su dureza, se la aplica en un tiempo llamado "t" , esto dará al origen de una huella con forma de casquete esférico de diámetro "d" sobre el material que se busca la dureza. Por consiguiente, lo que se incrusto "d" es el valor medido en el ensayo, es del casquete en la superficie del material [48].

La dureza Brinell (HB) viene definida entonces por la siguiente expresión:

$$HB = P / S$$

Donde los términos son dados son los siguientes:

- HB= Dureza Brinell
- P= Fuerza suele expresarse en Kilopondios. Kp.
- S= Casquete generado en la superficie del material, se lo da en unidades de mm²

Cuando se necesita generar un análisis más amplio se suele ocupar con el valor del diámetro de la bola o indentador, que suele estar dado en milímetros, es aplicable con la fórmula:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Donde los términos son:

- HB= dureza Brinell
- P= Fuerza suele expresarse en Kilopondios. Kp.
- S= Casquete generado en la superficie del material, se lo da en unidades de mm²
- D= Diámetro de la bola indientador dado en mm.
- "d" es el diámetro medio de la huella en superficie del material ensayado, en mm.

2.2.2.7.1. Tabla de materiales con durezas Brinell

Tabla 2-7. Durezas de materiales comunes. [48]

Material	Dureza Brinell
Aluminio	20 HB
Cobre	35 HB
Acero (blando)	120 HB
Acero inoxidable	250 HB
Acero de herramientas	500 HB
Níquel	90 HB

Material	Dureza Brinell
Aleaciones de Níquel	Entre 95-476 HB
Vidrio	482 HB
Magnesio, cinc, latón fundido	Entre 11-158 HB
Metales antifricción	Entre 6-78 HB
Plomo, estaño, soldadura blanda	Entre 3-39 HB
Maderas	Entre 1-7 HB

Para el proceso de ensayos, se debe seguir los siguientes pasos:

- Preparación de la pieza a ensayar, con la superficie limpia.
- Colocación en la base de la máquina.
- Establecimiento de la carga adecuada para el material a ensayar.
- Colocar el indentador para el material a ensayar.
- Regular el tiempo de aplicación de la carga en la superficie.
- Centrar el indentador al nivel de la superficie de la probeta.
- Aplicar la carga esperar el tiempo requerido y quitar la carga.
- Medir la superficie de la huella generada en la superficie de la probeta para obtener y calcular el valor de su dureza.

2.2.2.7.2. Correlación de dureza

En varias ocasiones se correlacionan el valor numérico de la dureza con el valor numérico de la resistencia estática del material ensayado, para los diferentes materiales queda de la siguiente manera:

- Para los aceros ordinarios recocidos y con menos del 0,8% de contenido en carbono, se tiene la expresión.

$$\sigma_e = 0.346 HB$$

- Para aceros al cromo-níquel y algunas aleaciones de aluminio se dan entre el intervalo de valores de $0,34$ y $0,35 \cdot HB$
- Para fundición gris $0,1 \cdot HB$

2.2.2.7.3. Fórmulas para el cálculo de la dureza Brinell

Para lograr un cálculo de la dureza se ocupan las siguientes fórmulas:

- Numero de dureza Brinell

$$HBN = \frac{F}{\pi * h * D}$$

- Profundidad de la huella

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

- Área del ahuellamiento

$$A = \pi * h * D$$

- Resistencia a la tracción

$$Rt = 3.45 * HBN$$

- Dureza Brinell en función al diámetro de la huella

$$HB = \frac{P}{1,5808D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

- Dureza Brinell en función de la profundidad de huella

$$HB = \frac{P}{3,1416 * D * h}$$

2.2.2.8. Operación de variables

2.2.2.8.1. Variable Independiente: Parámetros técnicos de soldadura.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍA	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN
<p>La soldadura es un proceso de fijación en donde se realiza la unión de dos o más piezas de un material, usualmente logrado a través de la coalescencia (en la cual las piezas son soldadas fundiendo, se puede agregar un material de aporte que al fundirse, forma un charco de material fundido entre las piezas a soldar y al enfriarse, se convierte en una unión fija a la que se le denomina cordón.</p>	Tipos de soldadura	SMAW	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de electrodo • Amperaje 	<ul style="list-style-type: none"> *Recolección de datos * Observación directa * Fichas de datos *Códigos de soldadura *Catálogos de proveedores de soldadura * Normas ASTM *Investigación *Bibliografía
		TIG	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de gas protector • Parámetros de Gas • Tipo de Corriente • Amperaje • Tipo de Electrodo 	

2.2.2.8.2. Variable Dependiente: Optimización de proceso de soldadura de aluminio en los cabezotes de vehículo.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN
<p>Optimización hace referencia a la acción y efecto de optimizar.</p> <p>En términos generales, se refiere a la capacidad de hacer o resolver alguna cosa de la manera más eficiente posible y, en el mejor de los casos, utilizando la menor cantidad de recursos.</p>	Eficiencia	Penetración	<ul style="list-style-type: none"> • Completa • Incompleta 	<ul style="list-style-type: none"> *Recolección de datos * Observación directa * Fichas de datos * Normas ASTM * Ensayos no Destructivos *Investigación Bibliografía
		Discontinuidades	<ul style="list-style-type: none"> • Externas • Internas 	
		Dureza	<ul style="list-style-type: none"> • Brinell 	

2.3. Plan de recolección de la información

Para obtener los datos y la información necesaria se realizó la investigación bibliográfica, por medio de compilación de datos, libros, revistas y catálogos referentes a la soldadura por todo tipo; para el estudio se pudo conseguir especificaciones de catálogos reconocidos en la industria de soldadura, para tener las condiciones óptimas para la mejora del proceso de soldadura en aluminio.

Se busca la información que brinde los parámetros para evitar del óxido que se genera en la superficie del aluminio, por lo que es un factor muy importante para tomar en cuenta, debido a esto se buscó recopilar información de cómo combatir este problema, por medio de factores mecánicos, químicos y eléctricos. Teniendo estos datos de las reparaciones generadas se procederá a generar fichas de la manipulación del arco en donde se estudiara la calidad de la penetración de la soldadura que se ha realizado, visualizando las diferentes discontinuidades que se presenta en las condiciones planteadas en el diseño del experimento, mediante el código estructural de soldadura de aluminio serán analizadas para ver su condición de defecto, aceptando o rechazado estos resultados por ensayos no destructivos los cuales son eficaces para el análisis de este tipo de piezas en mantenimiento, y para verificar su dureza será analizadas por medio de ensayos de dureza Brinell de los que afectan en mínimo la pieza, manteniendo de manera intacta al cabezote.

2.4. Selección del equipo de soldadura

Por medio de una tabla de ponderación se realiza el análisis, para seleccionar el equipo que beneficiaría en completo a la empresa, por medio de esto se podrá tener un equipo de calidad y durabilidad.

2.4.1. Alternativa 1

Equipo de soldadura SMAW: Utiliza el principio de fusión la cual aplica una fuente de calor de naturaleza termoeléctrica. En este se crea un arco voltaico que brinda el calor necesario para que el electrodo de aporte se funda y se una con el metal base, pero sin antes este crear una atmósfera protectora al baño de fusión.



Figura 2-24. Equipo SMAW- INDURA 200 Pro

Fuente: Autor

Ventajas:

- Costo inicial bajo, accesible para empresas.
- Proceso simple
- Proceso portable
- Acceso a juntas en lugares difíciles posición.
- Se puede ocupar en campo (exteriores).
- Capacidad de soldar la mayoría de los metales ferrosos y no ferrosos.

Limitaciones:

- La productividad, las velocidades de deposición con electrodo revestido son menores que con procesos con protección por gas.
- Los electrodos para ser conservados necesitan de procesos adicionales.
- Limitaciones en cordones de soldadura, longitud promedio del electrodo.
- El rendimiento del electrodo revestido es de 60% resulta en la práctica menor que el alambre macizo del proceso Mig-Mag con un 95%.
- Capacitación necesaria para desarrollar todas las posiciones de soldadura.

2.4.2. Alternativa 2

Equipo de soldadura MIG/MAG: En este proceso de soldadura se da un gas de protección de gas inerte o activo dependiendo del caso, este gas actuará en una

atmósfera de protección, por lo que el electrodo o material de aporte es un hilo continuo.



Figura 2-25. Equipo MIG/MAG ELEKTRO

Fuente: Autor

Ventajas

- Capacidad de lograr cordones muy largos
- Costos bajos de soldadura
- Facilidad y simplicidad del proceso
- Resultados de gran calidad
- Menos resultados de salpicaduras sobre superficies. (Soldadura más estética)
- Flexibilidad de soldadura en todas las posiciones
- Posibilidad de automatizar el proceso
- Amplia gama de metales a soldar desde frágiles hojas utilizado hasta las carrocerías de aluminio común puede someterse a este proceso.

Limitaciones:

- Concentración total al momento de generar cordones.
- El proceso MIG/MAG no se puede aplicar en aceros gruesos, debido a su incapacidad para penetrar la superficie.
- Cuando las superficies metálicas no están limpias, este proceso de soldadura tiende a genera discontinuidades, no brindan los resultados deseados.

- Sensibilidad a las corrientes de aire, esto impide que se pueda efectuar en exteriores, cerca de puertas, ventanas abiertas y en zonas donde exista mucha ventilación natural.
- Los equipos MIG-MAG son más caros y difíciles de transportar.
- Necesidad de disponer de un contenedor de gas, los equipos portátiles no tienen la posibilidad de soldar con gas.
- Complejidad a la hora de aplicar algunas adaptaciones del equipo necesarias para soldar con las variantes mencionadas.

2.4.3. Alternativa 3

Equipo de Soldadura TIG: En este tipo de soldadura se puede aplicar cualquier fuente de voltaje, ya sea alterna o continua, se da el mismo procedimiento para electrificar el material base, la soldadura se da por medio de un electrodo de tungsteno, donde el material de aporte viene dado en varillas de metales a elegir, destaca en este proceso una pistola que debe ser refrigerada, y de la boca de esta pistola emana un gas protector a elegir a la necesidad del material base.



Figura 2-26. Equipo TIG- PROWAR

Fuente: Autor

Ventajas

- La pistola es ligera y maniobrable.
- La protección de gas impide la inclusión de escoria.

- La técnica de ejecución es fácil y se tiene buenos cordones de soldadura, en todas las direcciones.
- No se forman escorias que eliminar.
- Se puede soldar la mayoría de los metales ferrosos y no ferrosos.
- Se pueden soldar aleaciones de aluminio, cobre y aceros inoxidable.
- El arco es tranquilo y se puede trabajar fácilmente.
- No se consume el electrodo

Limitaciones

- Capacitación de personal
- Costo de inversión inicial alto
- Necesidad de gas para la soldadura

Criterios de evaluación

Tabla 2-8. Criterios de ponderación

VALOR	CRITERIO
1	Cuando el criterio de las filas es superior (o mejor; >) que las columnas
0,5	Cuando el criterio de las filas es equivalente (=) a las columnas
0	Cuando el criterio de las filas es inferior (o peor; <) que las columnas

Fuente: Autor

- Se suman las equivalencias, después se le suma una unidad para que aquella idea que no es muy optimista posea un valor nulo.
- Así posteriormente, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada idea.
- Al final se suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico de la respectiva idea.

Las alternativas para la elección del equipo de soldadura se las coloca de la siguiente manera:

Tabla 2-9. Categorías de alternativas

CATEGORIA	ALTERNATIVA
A	Equipo de Soldadura (SMAW) Soldadura manual con electrodo revestido
B	Equipo de Soldadura (GMAW) Soldadura de arco metálico con gas
C	Equipo de Soldadura (TIG) Soldadura de tungsteno y gas inerte

Fuente: Autor

Evaluación en peso de cada criterio.

Tabla 2-10. Peso en criterios de equipos

Costo inversión > Soldabilidad > Calidad > Dimensiones > Manejo							
Criterio	Costo inversión	Soldabilidad	Calidad	Dimensiones	Manejo	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo inversión	X	1	1	1	1	5	0,33
Soldabilidad	0	X	1	1	1	4	0,27
Calidad	0	0	X	1	1	3	0,20
Dimensiones	0	0	0	X	1	2	0,13
Manejo	0	0	0	0	X	1	0,07
	Total				Σ	15	1

Se presentan las siguientes variables de evaluación:

Costo de adquisición: Aquí se involucra de inversión, traslado en el equipo de soldadura, para esto se basará en cotizaciones básicas.

Tabla 2-11. Peso en costo

C=B>A					
COSTO	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A	X	1	1	3	0,5
B	1	X	0	2	0,33
C	0	0	X	1	0,17
	Total		Σ	6	1

Fuente: Autor

Soldabilidad: El equipo debe ser empleado para el proceso de soldar aluminio y sus aleaciones. Además de brindar seguridad de poder unir varios materiales adicionales, aparte de los ya mencionados.

Tabla 2-12. Peso en soldabilidad

C=B>A					
SOLDABILIDAD	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A	X	0	0	1	0,17
B	0	X	1	2	0,33
C	1	1	X	3	0,5
	Total		Σ	6	1

Fuente: Autor

Calidad de cordón de soldadura: El equipo generara una calidad aceptable de un cordón de soldadura por lo que tenemos en cuenta el material aluminio y aleaciones de esta. Debido a que los equipos requieren potencia para generar los cordones en diferentes materiales tales como ferrosos y a la vez con los no ferrosos, la utilidad debe ser alta en este aspecto en especial, teniendo en cuenta que se puede aprovechar de mejor manera un equipo de soldar.

Tabla 2-13. Peso en calidad

C>B>A					
CALIDAD	A	B	C	Σ+1	Ponderación
A	X	0	0	1	0,17
B	0	X	1	2	0,33
C	1	1	X	3	0,5
	Total		Σ	6	1

Fuente: Autor

Dimensiones: El equipo tendrá dimensiones de catálogos, los cuales son necesarios para tenerlos ubicados en el taller.

Tabla 2-14. Peso en dimensión.

B=C>A					
DIMENSIÓN	A	B	C	Σ+1	Ponderación
A	X	0	0	1	0.14
B	1	X	1	3	0.43
C	1	1	X	3	0.43
	Total		Σ	7	1

Fuente: Autor

Manejo: El equipo para soldar aluminio debe ser versátil y fácil manipulación.

Tabla 2-15. Peso en manejo

C>B>A					
MANEJO	A	B	C	Σ+1	Ponderación
A	X	0	0	1	0.17
B	1	X	0	2	0.33
C	1	1	X	3	0.5
	Total		Σ	6	1

Fuente: Autor

Elección total de los equipos para soldadura.

Tabla 2-16. Elección final de equipos.

Criterio	Costo inversión	Soldabilidad	Calidad	Dimensiones	Manejo	Σ	Prioridad
A	0.5	0,17	0,17	0.14	0.17	1.15	3
B	0.33	0,33	0,33	0.43	0.33	1.75	2
C	0.17	0,5	0,5	0.43	0.5	2.1	1

Fuente: Autor

Nota final: Debido a lo planteado, a la ventajas y desventajas presentadas en apartados anteriores se da la preferencia al equipo de soldadura TIG, debido a su gran capacidad de unión de materiales, además de poder generar soldaduras más elegantes y vistosas con la misma fuente eléctrica de procesos similares. Por lo que con esto se busca en el mercado nacional equipos de soldadura TIG/SMAW.

2.4.4. Elección del equipo de soldadura

La marca que se ha decidido ocupar es un equipo RONCH, la cual abastece con las características para suministrar las necesidades de la empresa. Esta al estar integrada al mercado nacional es más fácil, su obtención y mantenimiento, brindando correcciones de tensión y corriente para regular el arco, además que una ventaja adicional es que posee procesos adicionales como la soldadura SMAW, con esto se pretende ocupar el equipo para más tareas, ofreciendo varios parámetros de soldadura con el equipo mencionado.



Figura 2-27. Equipo TIG- RONCH

Fuente: Autor

En la tabla 2-17, se puede analizar los diferentes aspectos presentes en el equipo adquirido esto puede ser analizando en manuales, que son encontrados al momento de adquirir el equipo.

Tabla 2-17. Características del equipo TIG-RONCH

PARÁMETROS						
Modelo	200TIGP AC/DC				Up/down slope	0~10
Frecuencia (Hz)	50/60				Peso neto	7kg
Corriente de entrada (V)	1~220/230±10%				Dimensiones (mm)	410×146×278
Potencia de entrada nominal (KW)	8.6 (AC MMA)	6.1 (AC TIG)	8.9 (DC MMA)	6.4 (DC TIG)	Rango de ancho de pulso (%)	5~95
Corriente de entrada nominal (A)	39.1 (AC MMA)	30.5 (AC TIG)	40.7 (DC MMA)	28.3 (DC TIG)	Eficiencia (%)	>85
Ciclo de trabajo (40°C 10min)	AC TIG		MMA & DC TIG		Voltaje en vacío (V)	52
	155A 60%		140A 60%			
	120A 100%		110A 100%		Frecuencia de pulso (Hz)	0.5~200
Rango de corriente (A)	10~200 (AC TIG)		10~170 (MMA & DC TIG)		Clase de aislamiento	H
Pre-flujo	0~2				Clase de protección	IP23
Post-flujo	0~10				Refrigeración	AF

Fuente: Autor

2.4.5. Elección de equipo de protección de seguridad para soldar

Por medidas de seguridad, al exponerse un operario a una operación de soldadura por medio del arco es necesario darle una protección específica para poder evitar problemas en la salud de este, en el mercado hay varias alternativas con las que se analizará las que más beneficie a la empresa.

2.4.6. Alternativa 1

Máscara de soldadura con vidrio reemplazable: Casco convencional que se comercializa para realizar varios tipos de soldadura que va desde soldadura con electrodo revestido, hasta procesos más complejos como procesos MIG o TIG. Provisto de una bisagra para el reemplazo de los diferentes tipos de vidrios de soldadura, este debe ser movido el momento de generar el arco, para la protección visual en el proceso. Son económicos, prácticos y sencillos de manipular.

Ventajas:

- Bajo costo de adquisición
- Reemplazable en los vidrios
- Tamaño de la cabeza regulable
- Elementos removibles

Desventajas:

- Cambio manual de vidrio
- Propenso a daños, en el vidrio
- Se puede visualizar en poco tiempo la encendida del arco. (Quemadura en la retina)



Figura 2-28. Máscara de soldadura

Fuente: Autor

2.4.7. Alternativa 2

Máscara fotosensible: Casco provisto con sensores electrónicos que regulan la visibilidad al momento de encender el arco, estos pueden ser regulables dependiendo de la necesidad.

Ventajas:

- Facilidad de uso
- Mas sensible a la luz, mayor facilidad de realizar procesos de soldadura.
- Regulación de vidrios
- Mayor comodidad ante el arco
- Adaptabilidad del rango del vidrio
- Compatible con más equipos de protección personal.
- Mejor calidad de material de fabricación
- No genera el espasmo de ver al arco
- Cambio automático de visión ante diferente tipo de luz.

Desventajas:

- Mayor costo de adquisición
- Capacitación de personal para uso correcto
- Mayor cuidado ante golpes y caídas



Figura 2-29: Máscara de soldadura fotosensible

Fuente: Autor

Análisis de alternativas.

Tabla 2-18. Criterios de evaluación de alternativas para E.P.P.-visual

Costo inicial > Manejo > Confiabilidad					
Criterio	Costo inicial	Manejo	Confiabilidad	Σ+1	Ponderación
Costo inicial	X	1	1	3	0.375
Manejo	0	X	1	2	0.25
Confiabilidad	1	1	X	3	0.375
	Total		Σ	8	1

Fuente: Autor

Las alternativas para la elección del equipo de protección visual ante el arco de la soldadura se las coloca de la siguiente manera:

Tabla 2-19. Alternativas de máscaras

CATEGORIA	ALTERNATIVA
A	Máscara de soldadura con vidrio reemplazable
B	Máscara fotosensible

Fuente: Autor

Costo inicial: Aquí se involucra la inversión del equipo de protección personal, para realizar el proceso de soldadura.

Tabla 2-20. Peso en costo

B>A				
COSTO	A	B	Σ+1	Ponderación
A	X	1	2	0.67
B	0	X	1	0.33
	Total	Σ	3	1

Fuente: Autor

Manejo: En este punto involucra principalmente el uso que se le da y la versatilidad que conlleva por este medio realizar el proceso de soldadura.

Tabla 2-21. Peso en manejo

B>A				
MANEJO	A	B	Σ+1	Ponderación
A	X	0	1	0.33
B	1	X	2	0.67
	Total	Σ	3	1

Fuente: Autor

Confiabilidad: Se refiere al hecho que se puede generar el arco al inicio del proceso, para producir versatilidad y facilidad al manipular.

Tabla 2-22. Peso en confiabilidad

B>A				
CONFIABILIDAD	A	B	Σ+1	Ponderación
A	X	0	1	0.33
B	1	X	2	0.67
	Total	Σ	3	1

Fuente: Autor

Elección final

Tabla 2-23. Elección final de E.P.P.-máscara de soldar

Criterio	Costo inicial	Manejo	Confiabilidad	Σ	Prioridad
A	0.67	0.33	0.33	1.33	2
B	0.33	0.67	0.67	1.67	1

Fuente: Autor

Nota final: Por lo que queda demostrado que se debe utilizar una máscara fotosensible para un mejor trabajo de precisión en este tipo de proceso, además que por los motivos planteados respecto a la salud de los operarios es necesario este tipo de E.P.P.

2.4.8. Orejeras

Un equipo de protección personal, que salvaguarda y atenúa la audición del operario.

2.4.9. Alternativa 1

Tapones auditivos: Conformado de materiales hipoalergénicos que son fáciles de llevar, lavar, y son desechables.



Figura 2-30. Tapones auditivos

Fuente: Autor

Ventajas:

- Económico
- Color llamativo para fácil ubicación en la zona de trabajo.
- Lavable y reutilizable
- Tamaño pequeño
- Diseño efectivo para ser transportado
- Liviano
- Compacto

Desventajas:

- Dependen del uso del operario, dando un uso incorrecto la vida útil del mismo varia.

2.4.10. Alternativa 2

Orejeras: Resistentes a caídas y mitiga los ruidos fuertes de maquinarias, perfecto para ambientes ruidosos.



**Protección
Auditiva**

Figura 2-31. Orejeras de protección

Fuente: Autor

Ventajas

- Reduce y atenúa el ruido fuerte
- Protege por completo las orejas
- Comodidad en la colocación
- Soporta gran cantidad de ruidos
- Evita la entrada de agentes externos al oído

Desventajas

- Tamaño grande
- Presión en los oídos
- Mayor peso
- Incomodidad al tener mucho tiempo en uso
- Mayor daño ante caídas

Tabla 2-24. Criterios de selección para E.P.P.-Orejas

Tamaño > Manejo > Comodidad					
Criterio	Costo inicial	Manejo	Confiabledad	$\Sigma+1$	Ponderación
Tamaño	X	1	1	3	0.375
Manejo	0	X	1	2	0.25
Comodidad	1	1	X	3	0.375
	Total		Σ	8	1

Fuente: Autor

Las alternativas para la elección del equipo de protección auditiva, ante el choque de electrones del arco de la soldadura se las coloca de la siguiente manera:

Tabla 2-25. Alternativas para E.P.P. de audición

CATEGORIA	ALTERNATIVA
A	Tapones auditivos sencillos
B	Orejas

Fuente: Autor

Se presentan las siguientes variables de evaluación:

Tamaño: En este punto involucra que los protectores sean pequeños para complementar con los demás equipos de protección en soldadura.

Tabla 2-26. Peso en tamaño

A>B				
TAMAÑO	A	B	$\Sigma+1$	Ponderación
A	X	1	2	0.67
B	0	X	1	0.33
	Total	Σ	3	1

Fuente: Autor

Manejo: La versatilidad que tenga el instrumento, respecto al transporte de este en el taller, también involucra la facilidad de uso.

Tabla 2-27. Peso en manejo

A>B				
MANEJO	A	B	$\Sigma+1$	Ponderación
A	X	1	2	0.67
B	0	X	1	0.33
	Total	Σ	3	1

Fuente: Autor

Comodidad Se refiere al hecho de estar colocado el equipo de protección auditivo durante cierto periodo de tiempo.

Tabla 2-28. Peso en comodidad

B>A				
COMODIDAD	A	B	$\Sigma+1$	Ponderación
A	X	0	1	0.33
B	1	X	2	0.67
	Total	Σ	3	1

Fuente: Autor

Elección final

Tabla 2-29. Elección final del E.P.P.- audición

Criterio	Costo inicial	Manejo	Confiabilidad	Σ	Prioridad
A	0.67	0.67	0.33	1.67	1
B	0.33	0.33	0.67	1.33	2

Fuente: Autor

Nota: Por lo que queda claro que la mejor opción es tener los tapones auditivos, que pueden ser ocupados de manera sencilla y no estorban con los demás elementos de protección para soldadura.

2.4.11. Panel de control del equipo RONCH

Al ser un equipo de varios procesos, es necesario regularlo para la soldadura de aluminio, se opta por conocer los reguladores del tablero disponible, para la manipulación de los varios parámetros presentes, por lo que es indispensable saber la nomenclatura del display que se regula los temporizadores de cada sección.

En la figura 2-32 se detalla los diferentes leds, que se regulan al pulsar los diferentes selectores.

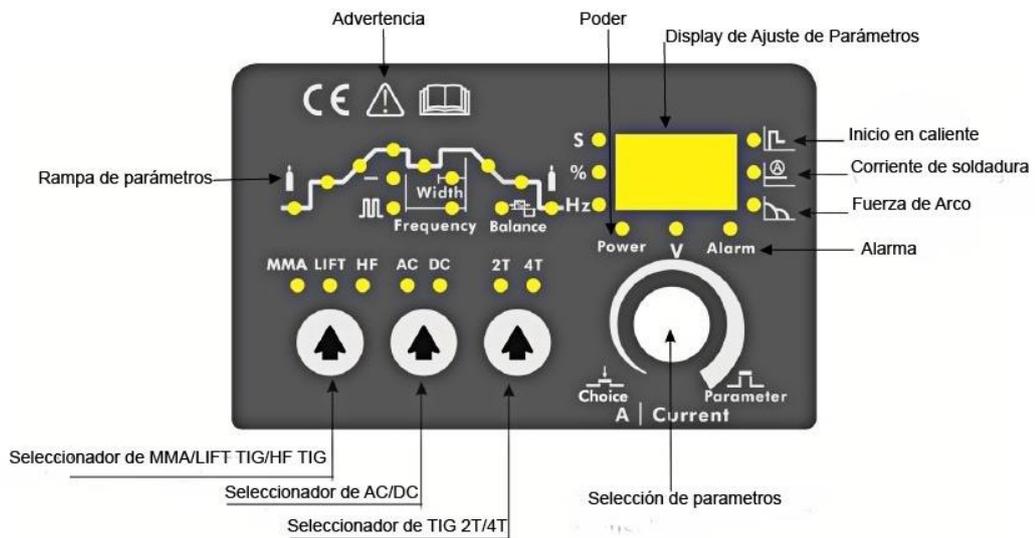


Figura 2-32. Panel de control RONCH

Fuente: Autor

El equipo RONCH dispone de varias ventajas, permitiendo soldadura común de materiales ferrosos y no ferrosos, esto gracias a la regulación de parámetros por medio de los leds, indicando que para cada material a soldarse puede ser ocupadas las diferentes funciones del equipo, puede ser en opción de soldadura SMAW, logrando realizar soldadura de electrodos revestidos hasta 1/8 de pulgada, y para metales más complejos en donde se necesitan mejor penetración y protección esta puede ser seleccionada en el proceso TIG, regular los parámetros depende de la necesidad del metal a soldar, usualmente es ocupada para procesos de soldadura inoxidable con regulación en TIG pulsada, mientras que para materiales no ferrosos, se puede ocupar

la opción de proceso continuo, este debe ser en alta frecuencia variando los parámetros presentes y deseados por el operario.

2.4.12. Curva de parámetros del panel RONCH.

En la curva de parámetros es obligatorio, manipular diversos elementos presentes para los diferentes tipos de soldaduras aplicables por este equipo, en la tabla 2-30 se puede apreciar la definición de cada nomenclatura dada en el panel de la figura 2-33.

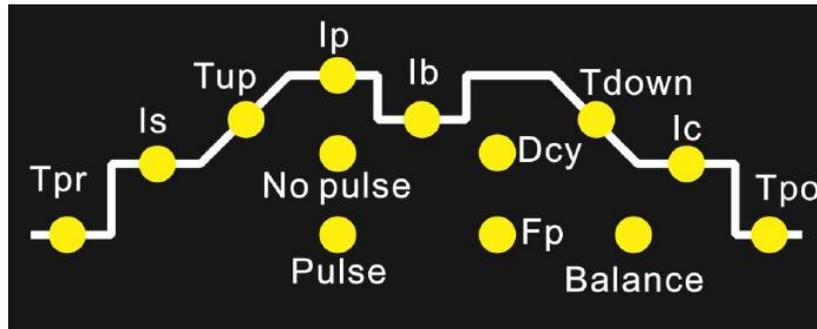


Figura 2-33. Leds de control, RONCH

Fuente: Autor

Tabla 2-30. Parámetros del panel RONCH

Parámetros disponibles donde se han seleccionado los modos 2T y 4T	
<p>Tpr: Tiempo de preflujo de gas</p> <p>Unidades (S)</p> <p>Rango de ajuste 0.0—2.0</p>	<p>Is: Está comenzando actual (solo con 4T)</p> <p>Unidad (A)</p> <p>Rango de ajuste 10-170 (DC); 10-200 (AC)</p>
<p>Tup: Tiempo de pendiente ascendente</p> <p>Unidades (S)</p> <p>Rango de ajuste 0.0—10</p>	<p>Ip: Corriente de soldadura</p> <p>Unidad (A)</p> <p>10-170 (TIG-DC); 10-200 (TIG-AC);</p>
<p>Ib: Amperaje base</p> <p>Unidad (A)</p> <p>10-170 (TIG-DC); 10-200 (TIG-AC)</p>	<p>Dcy: Relación entre la duración del pulso y la duración de la corriente base</p> <p>Unidad (%)</p> <p>Rango de ajuste 5-95</p>

Parámetros disponibles donde se han seleccionado los modos 2T y 4T	
<p>Fp: Frecuencia de pulso</p> <p>Unidad (Hz)</p> <p>Rango de ajuste 0,5—200</p>	<p>Tdown: Tiempo de pendiente descendente</p> <p>Unidades (S)</p> <p>Rango de ajuste 0-10</p>
<p>Lc: Corriente de arco de cráter (solo con 4T)</p> <p>Unidad (A)</p> <p>Rango de ajuste 10-170 (DC); 10-200 (CA)</p>	<p>Tpo: Tiempo de postflujos de gas</p> <p>Unidades (S)</p> <p>Rango de ajuste 0-10</p>
<p>Balance: Equilibrio (solo con TIG-AC)</p> <p>El ajuste de equilibrio se utiliza principalmente para establecer la eliminación de óxido de metal (como aluminio, magnesio y su aleación) durante la salida de CA.</p> <p>Rango de ajuste -5— + 5</p>	

Fuente: Autor

2.4.13. Parámetros para regular en el equipo RONCH.

Para soldar aluminio se debe seguir la regulación de parámetros mostrados en la figura 2-34, esto después que haya sido preparado el cabezote con anterioridad, por lo que en la tabla 2-31 se muestran los parámetros correctos con los que se obtienen mejores resultados de soldadura.

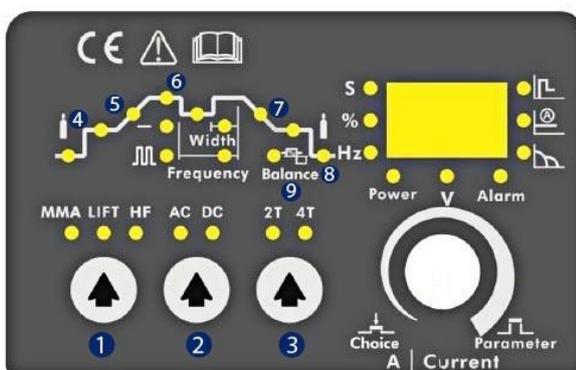


Figura 2-34. Parámetros de soldadura aluminio

Fuente: Autor

Los parámetros deberán estar según se estipula en la tabla 2-31 para tener mejores resultados de reparación del cabezote.

Tabla 2-31. Parámetros para regular del Panel RONCH

Parámetro	
1.- HF	Alta frecuencia
2.- AC	Corriente alterna
3.- 2T	Proceso continuo manual
4.- Pre-Flujo de Gas	0.4 segundos
5.- Pre-Arco	0.5 segundos
6.- Amperaje	127 Amperios
7.- Post-Arco	0.5 segundos
8.- Post-Flujo	0.4 segundos
9.- Balance	-4

Fuente: Autor

2.4.14. Descripción del sistema de conexión para soldadura.

El sistema de conexión es el presentado en la figura 2-35, donde se muestra el equipo conectado de manera que se realiza la operación.



Figura 2-35. Conexión del equipo TIG

Fuente: Autor

Compuesto de los accesorios tales como:

- Antorcha
- Tanque de gas
- Pinza masa
- Equipo de soldar
- Manómetro

Funcionamiento:

La conexión que se realiza está conectada en los 220V, proporcionando la energía eléctrica necesaria para alimentar de forma continua al arco, también se acopla al equipo un tanque de gas que por medio de un manómetro regula el flujo de gas que será proporcionado a la antorcha, la masa será conectada a una mesa de metal que conduce la energía eléctrica y por medio de esta cierra el circuito eléctrico, permitiendo el uso de la antorcha para soldar el metal deseado.

2.5. Selección de electrodo

Para la selección del electrodo de tungsteno se elige por medio de catálogos comerciales presentes en el país, por lo que al ser más común encontrar el electrodo de 1/8 se optó por esta medida comercial y al ser ideal para soldar aluminio facilita su reposición.

Tabla 2-32. Electrodo comercial de tungsteno [49]

Diámetro del electrodo (mm)	Corriente continua (A)	Tungsteno puro y dopado con zirconio	Tungstenos dopados con cerio, torio o lantano
1	15-80	10-30	20-60
1.6	50-150	30-80	50-120
2.4	100-250	60-130	80-180
3.2	200-400	100-180	160-250

2.5.1. Electrodo de tungsteno.

Electrodo con punta de identificación verde, lo cual indica que es tungsteno puro aplicado para la soldadura de corriente alterna (AC). Se utiliza principalmente para la soldadura de aluminio, magnesio, níquel y aleaciones de estos metales. Para ver dimensiones del electrodo revisar ANEXO 7.



Figura 2-36. Electrodo de tungsteno [49]

2.6. Cálculo de amperaje de soldadura

Para el cálculo se necesita el tamaño del electrodo proporcionado del diámetro comercial, lo cual es de 1/8 de pulgada.

Por estas razones el cálculo queda de la siguiente manera, en donde obligatoriamente se debe transformar las pulgadas a milímetros.

$$I = 50 * (D - 1)$$

$$\frac{1}{8} * 25.4 = 3.2 \text{ mm}$$

$$I = 50 * (3.2 - 1)$$

$$I = 110 \text{ Amperios}$$

2.7. Parámetros del afilado del electrodo de tungsteno.

Antes de usarse el electrodo de tungsteno, debe ser preparado por medio de un esmeril especialmente dado para este fin, brindándole la forma más adecuada a la punta de

este, una recomendación que brindan los catálogos de proveedores es ocupar un solo tipo de muela para evitar que se contamine con otros materiales externos.

- Para la soldadura con corriente continua se precisa una punta afilada.
- Para la soldadura con corriente alterna solo se necesita un pequeño biselado, ya que el extremo del electrodo se redondea cuando se inicia el arco.



Figura 2-37. Afilado del electrodo en soldadura TIG [49]

2.7.1. Ángulo de soldadura

Para lograr estabilizar la antorcha es necesario inclinarla en un ángulo, este rango esta entre 70° a 85° con cierta tolerancia según el usuario, esto ayuda al baño de gas que se da en la boquilla, mejorando el baño de fusión para obtener un mejor cordón o unión que se encuentre realizando.

La recomendación general que se da respecto al ángulo, es que la manipulación del baño de fusión será inestable al presentarse a 90° , por lo que se presenta incomodidad y a la vez presenta problemas técnicos.

En la figura 2-38, se puede observar la forma correcta e incorrecta del ángulo de soldadura TIG.

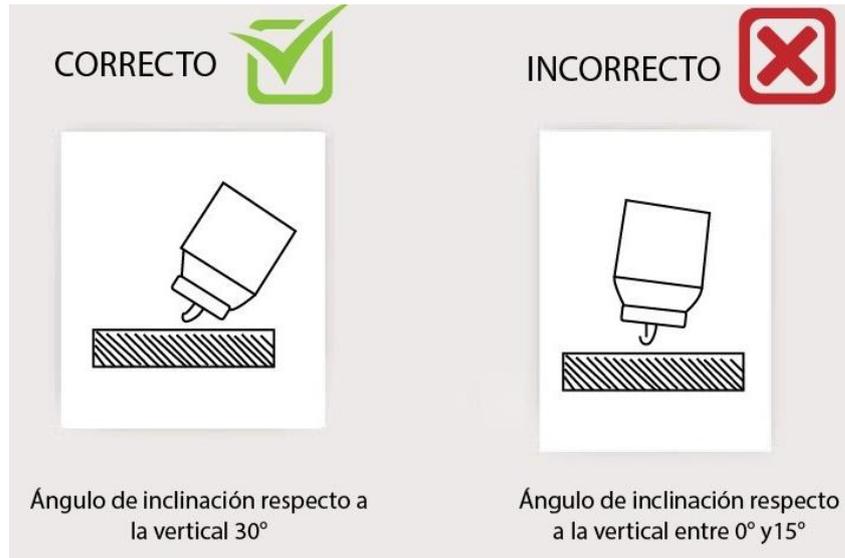


Figura 2-38: Ángulo de soldadura TIG [49]

2.7.2. Distancia de soldadura

Para mantener la tobera estable a una distancia apropiada, es recomendable mantenerla en 5 mm para el electrodo de tungsteno, adicionalmente mantenerla a una distancia de 5 mm del material para una buena fundición del material.

En la figura 2-39 se muestra esta técnica de mejor manera y que es aplicado en la soldadura TIG.

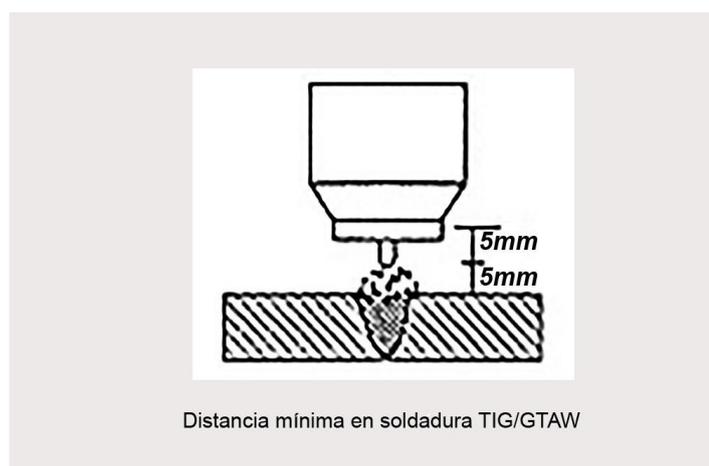


Figura 2-39. Distancia en soldadura TIG [49]

2.7.3. Pre calentamiento

Según [50], especifica que para soldar aluminio y teniendo variación del espesor del material, debe ser aplicado un cierto pre calentamiento, para que la soldadura pueda ser efectuada con normalidad y con esto tener una mejor penetración en el material a soldarse. En el caso de los cabezotes se debe tomar en cuenta que al ser para reparación esta especificación es tomada como referencia. En la tabla 2- 33 se puede apreciar la recomendación especificada para pre calentamiento.

Tabla 2-33. Pre calentamiento de aluminio [50]

Espesor (mm)	Diámetro del Alambre	Diámetro del electrodo de Tungsteno	Temperatura de Pre calentamiento	Corriente de Soldadura	Tasa de Flujo	Diámetro de Boquilla	Comentario
1	1.6	2	-	45~60	7~9	8	Soldadura de brida
1.5	1.6~2	2	-	50~80	7~9	8	Brida o soldadura a tope por un lado
2	2~2.5	2~3	-	90~120	8~12	8~12	Soldadura a tope
3	2~3	3	-	150~180	8~12	8~12	Ranura en V, Soldadura a tope.
4	3	4	-	180~200	10~15	8~12	
5	3~4	4	-	180~240	10~15	10~12	
6	4	5	-	240~260	16~20	14~16	
8	4~5	5	100	260~320	16~20	14~16	
10	4~5	5	100~150	280~340	16~20	14~16	
12	4~5	5~6	150~200	300~360	18~22	14~20	
14	5~6	5~6	180~200	340~380	20~24	14~20	
16	5~6	6	200~220	340~380	20~24	14~20	

Espesor (mm)	Diámetro del Alambre	Diámetro del electrodo de Tungsteno	Temperatura de Pre calentamiento	Corriente de Soldadura	Tasa de Flujo	Diámetro de Boquilla	
18	5~6	6	200~240	360~400	25~30	14~20	
20	5~6	6	200~260	360~400	25~30	20~22	
16~20	5~6	6	200~260	300~380	25~30	16~20	Ranura en X, Soldadura a tope.
22~25	5~6	6~7	200~260	360~400	30~35	20~22	

2.8. Material de aporte

El material de aporte es una varilla de aluminio que se dedica exclusivamente para ser depositado en la soldadura TIG, para lo cual este tipo de material es calificado por la AWS A5.10 por lo que su designación es R4043, la composición que tiene es aluminio al silicio que es perfecto para soldar aluminio al magnesio o con silicio, la deposición del material se torna en cordones atractivos. En el ANEXO 6, se puede apreciar esta varilla de aporte, tal como su longitud y su diámetro.

Aplicación típica: Suele ir dirigido especialmente en partes automóbiles, remolques de camiones y bicicletas [51].

Tabla 2-34. Composición del material de aporte de aluminio [51]

Composición nominal			
Aluminio	Balance	Titanio	0.20 % Max.
Magnesio	0.05% Max.	Cobre	0.30 % Max.
Manganeso	0.05% Max.	Silicon	4-5- 6.0% Max.
Berilio	0.0008 % Max.	Zinc	0.10% Max.
Otros	Cada 0.05% Max.	Hierro	0.80% Max.
Total	0.15% Max.		

Tabla 2-35. Propiedades físicas y mecánicas de aporte de aluminio [51]

Propiedades físicas y mecánicas			
Solidus	574°C (1065°F)	Densidad lbs/cu in	0.097
Liquidus	632°C (1170°F)	Color de post Anodizado	Gris
Soldadura 6061 como placa base			
Fuerza de tensión	27000 psi		
Limite elástico	18000 psi		
Elongación en 2 pulgadas	8%		



Figura 2-40. Material de aporte [51]

2.8.1. Almacenamiento del material de aporte

Para lograr mantener un buen estado del material de aporte de aluminio, y que este no genere óxido en el metal es necesario almacenarlo por medio un contenedor especial, provisto de una capa de plástico, con la que no genere reacciones químicas, adicionalmente conserva al metal en buenas condiciones ante un proceso de soldadura.



Figura 2-41. Recipiente del material de aporte

2.9. Parámetros para soldar aluminio

Para soldar aluminio se debe tomar en cuenta varios factores, en la que deben estar al momento de iniciar la operación de soldadura, tales como alimentación de la fuente, tipo de corriente, tipo de gas, etc.

2.9.1. Fuente de alimentación

El equipo para trabajar debe estar conectada a una fuente de alimentación que la provee de 220V para mantener y alcanzar los amperajes correctos, con esto se logra aumentar el ciclo de trabajo del equipo, alcanzando el máximo rendimiento en los parámetros de operación.



Figura 2-42. Toma de energía para el equipo TIG

2.9.2. Corriente alterna

En este tipo de soldadura se pretende mantener alta frecuencia en el punto del arco, por lo que se busca estabilizarlo por medio de esta corriente, para tener un cordón de calidad intermedia, pero se mantendrá la facilidad de llevar el arco por la superficie del cabezote. En la tabla 2-36 se puede apreciar la corriente con la que se trabaja y la calidad que se genera al cordón.

Tabla 2-36. Soldabilidad con corriente y polaridad [49]

Material	CA	CCPD	CCPI
Magnesio e < 3 mm.	MB	M	B
Magnesio e > 4 mm.	MB	M	M
Aluminio e < 2,5 mm.	MB	M	B

Material	CA	CCPD	CCPI
Aluminio e > 2,5 mm.	MB	M	B
Acero Inoxidable	B	MB	M
Aleaciones de Bronce	B	MB	M
Plata	B	MB	M
Aleaciones de Cr y Ni	B	MB	M
Aceros bajo en C (e < 0,8 mm.)	B	MB	M
Aceros bajo en C (e < 3 mm.)	M	MB	M
Aceros altos en C (e < 0,8 mm.)	B	MB	M
Aceros altos en C (e < 3 mm.)	B	MB	M

En la tabla mostrada la nomenclatura significa:

- CA: Corriente Alterna
- CCPD: Corriente Continua Polaridad Directa
- CCPI: Corriente Continua Polaridad Inversa

Los criterios para soldabilidad por el tipo corriente son los siguientes:

- MB: Muy buena
- B: Buena
- M: Mala

2.9.3. Argón

Gas necesario para la soldadura de aluminio, debido a que este metal presenta una excelente conductividad térmica, se le da una protección con este gas, que resulta ser ideal para proteger las raíces y brindar estabilidad al arco.

La presentación comercial se la puede recargar en centros de mantenimiento de gases según la marca que disponga, o a su vez ser cambiado por otro tanque de gas.

En la figura 2-43, se muestra el tanque con el que se trabajara para la reparación de cabezotes de los motores.



Figura 2-43. Argón comercial [31]

2.9.4. Caudal de gas

El gas se debe mantener constante entre un rango de 6 a 12 litros por minuto, de esta forma lo vuelve ideal para mantener una buena atmósfera de protección en la operación de soldadura. Este caudal se generará de forma laminar, permitiendo visualizar de mejor manera al arco.

La antorcha facilita el flujo de gas, debido a que es incorporada a una ayuda semi-manual en este aspecto técnico. Este es un factor importante en la soldadura TIG, debido a que por medio del caudal se tendrá en cuenta la refrigeración de la antorcha al momento de generar el proceso.

Cabe destacar que en intensidades bajas, no es necesario refrigerar la antorcha, esto debido principalmente a que no se calienta demasiado este elemento.

2.10. Defectos presentes en el cabezote

Los defectos que se encuentran presentes son ocasionados al funcionamiento interno del motor, esto en ocasiones suele deberse principalmente por el empaque del cabezote, no siempre suele ser provocada por este elemento. Pero existen otras razones por la que se originan estos defectos, tal es el caso termodinámico en donde hay un sobrecalentamiento en el motor, la razón principal es que el sistema intenta bombear agua/refringente para el llenado del radiador, y este al bajar bruscamente la temperatura estropea a los elementos en contacto. Una forma preventiva para evitar estos daños es apagar el motor y esperar que se regule la temperatura.

Estos factores varían dependiendo de la marca, año de fabricación y modelo del vehículo, en ocasiones las fisuras que se presentan en el material no quedan expuestas o visibles para generar una soldadura, por lo que los propietarios de los vehículos adoptan la opción del cambio del elemento ya sea por uno nuevo, en ocasiones la elevada cifra de dinero de reemplazo de un elemento tan importante lleva a la búsqueda de soluciones más económicas. Dadas estas razones conlleva a la solución que se adoptará para la reparación de cabezotes por medio de soldadura y rectificado, siendo esta opción mucho más barata y cómoda.

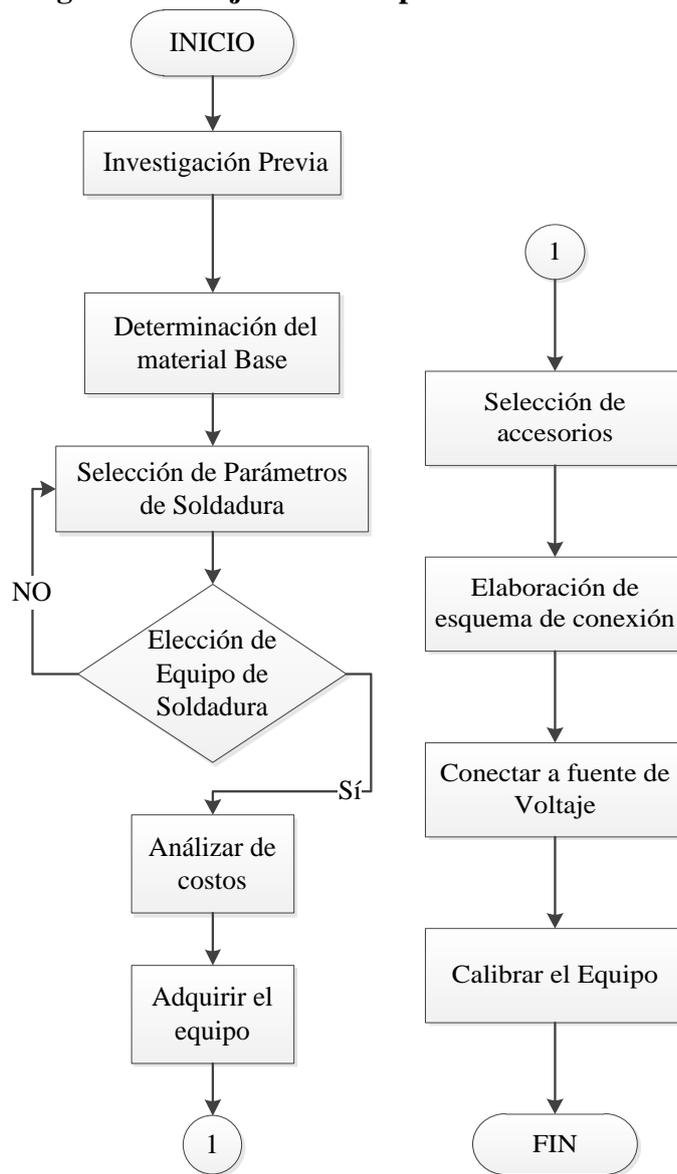
Una fisura o grieta en el cabezote implica una fuga interna dentro de las cámaras de refrigeración, estas provocaran que el refrigerante tenga acceso a los cilindros o los demás elementos móviles del motor, esto hará que el radiador se vaciara constantemente y el aceite se juntara con agua por lo que en pocos minutos el motor aumentara su temperatura al máximo, generando estos daños. En la figura 2-44 se pueden apreciar estos defectos a simple vista.



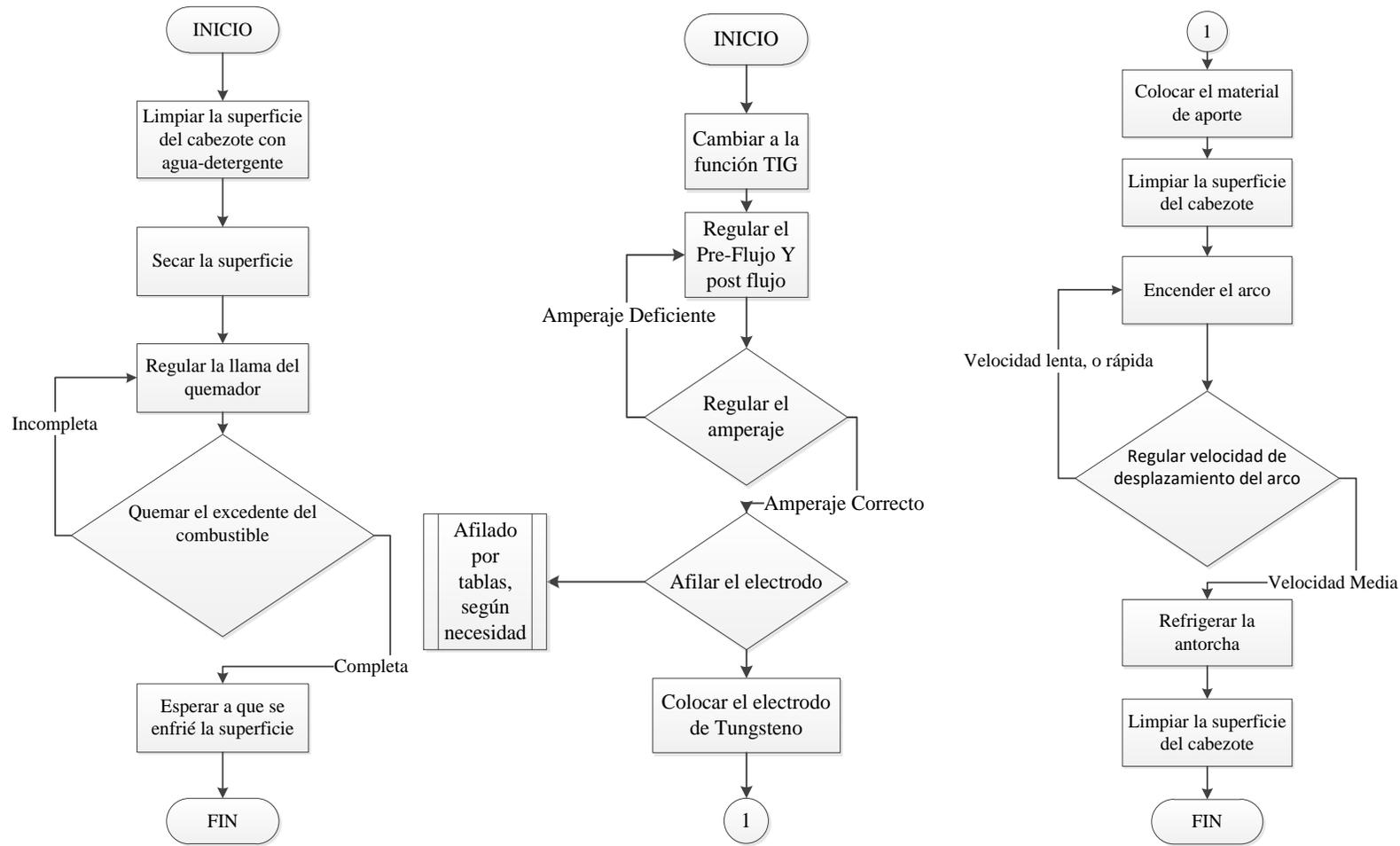
Figura 2-44. Cabezote de aluminio con defectos

Fuente: Autor

2.11. Diagrama de flujo de la recopilación de información del material y equipo

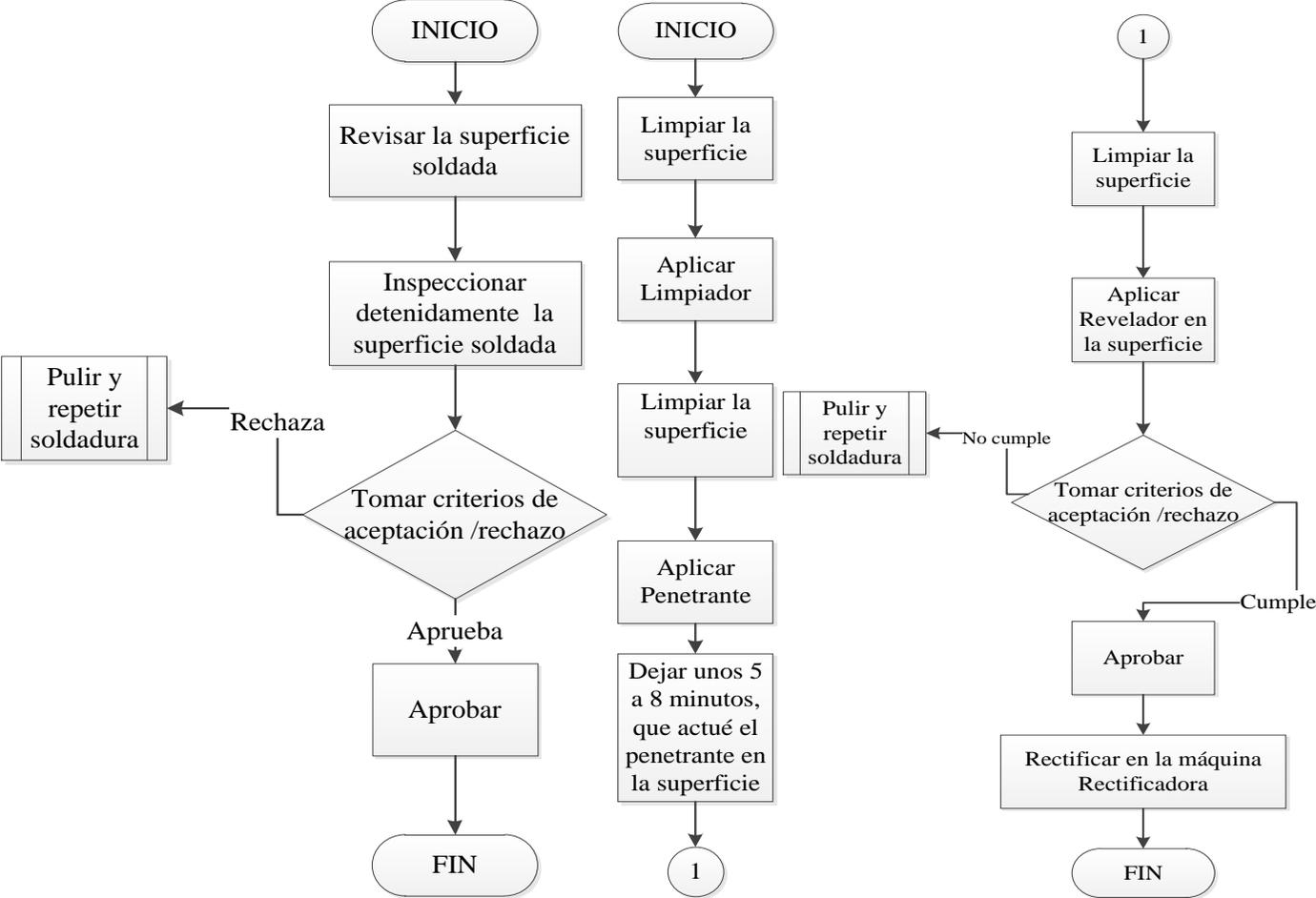


2.12. Diagrama para realizar la soldadura de reparación TIG



Para mayores detalles técnicos revisar los ANEXOS 1,2 y 3.

2.13. Diagrama de inspección de proceso de soldadura de reparación



2.14. Procedimiento para la realización de la soldadura

Para poder realizar la soldadura de reparación de los cabezotes de aluminio, es necesario seguir una serie de pasos de los cuáles son vitales para la obtención de resultados equivalentes de dureza en el elemento a soldar, por medio de los diagramas de procesos se puede evitar la generación de varias discontinuidades en el cabezote. En la figura 2-45, se puede apreciar a más detalle esta serie de pasos, cabe recalcar que se debe tomar en cuenta los parámetros planteados en anteriores tablas.

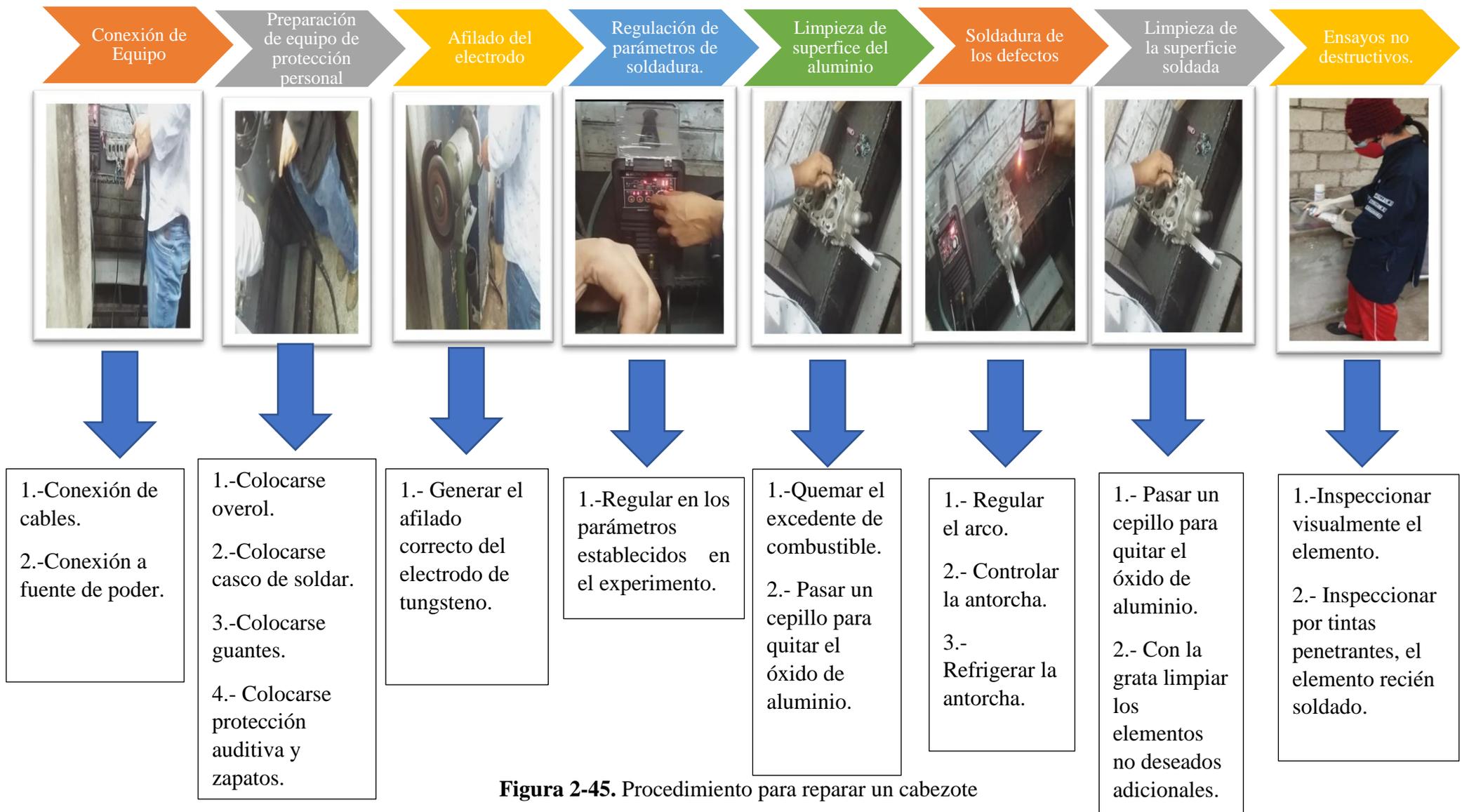


Figura 2-45. Procedimiento para reparar un cabezote

Fuente: Autor

2.15. Plan de procesamiento y análisis

Después de efectuar los ensayos de dureza, se procederá a calcular las medias de dureza que se dieron en este material, se continuará a realizar las fichas estandarizadas para la interpretación de los datos, con esto se pretende ver la dureza de la reparación generada, por su parte el caso de las discontinuidades presentes en los cordones serán analizados por tintas penetrantes y con ayuda de inspección visual, las cuales serán recopiladas en fichas diseñadas a base del código AWS D1.2 referente a soldadura de aluminio, lo cual será un pilar fundamental y referencial para efectuar un criterio de defecto, con ello dar aprobación o rechazo visualizando los cordones, según los apartados del código ya mencionado. Al ser una soldadura de mantenimiento el código se lo toma como referencia para tener datos aplicables a este tipo de procedimiento a efectuarse. Con esto los datos obtenidos serán analizados por medio de gráficas en cuestión de sus parámetros y resultados.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Recolección de datos

Mediante las fichas ya diseñadas, se procedió a detallar cada parámetro, herramientas utilizadas y los diferentes mecanismos para el análisis de los cordones de reparación del cabezote de aluminio.

Debido a esto se procedió a generar las fichas 3-1 hasta la 3-8 en las que se detallan los datos de los ensayos de aprobación y rechazo con respecto a las tintas penetrantes, según el código AWS D.1.2 que detalla los diferentes criterios para este material.

Las fichas desde la 3-9 hasta la 3-13 muestran las durezas presentes en el material que se ha ensayado con la soldadura TIG, y que ha sido mecanizado en una rectificadora.

En la figura 3-1 se aprecia al cabezote con los diferentes problemas respecto al desgaste por el uso continuo del elemento, en la fotografía muestra un deterioro por los ciclos de trabajo a una gran temperatura por lo que este elemento comienza a presentar varios desperfectos, originados principalmente por el trabajo sometido.



Figura 3-1. Cabezote para ensayar

Fuente: Autor

En la figura 3-2 se aprecia el cambio que presenta el elemento al ser soldado por un proceso TIG/GMAW, en estos casos se pretende generar reparación en estos puntos para que esta parte del motor sea puesta en marcha.



Figura 3-2. Cabezote reparado por TIG

Fuente: Autor

En la figura 3-3 se muestra al elemento completamente reparado por medio de un rectificadora en la cual se realizó los respectivos ensayos de dureza. En el ANEXO 5 se puede obtener la información del material ensayado.

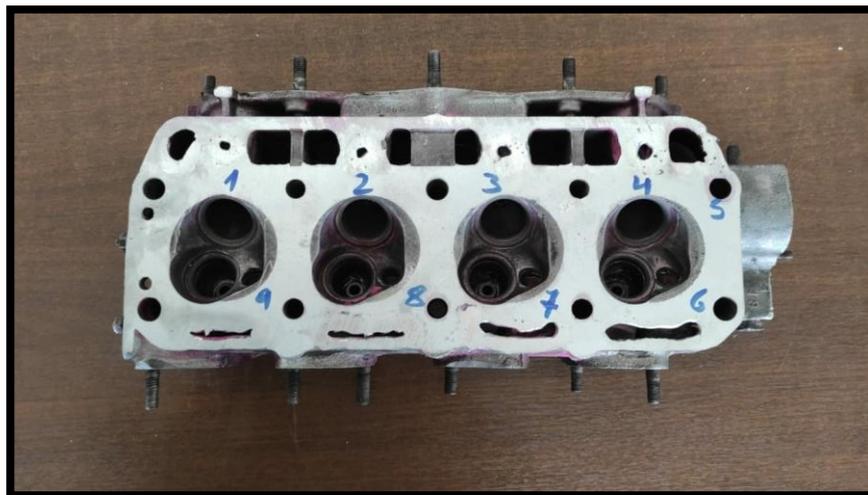


Figura 3-3. Cabezote rectificado

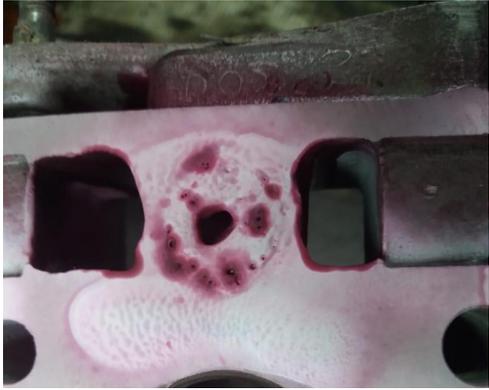
Fuente: Autor

Tabla 3-1. Reacciones del operario en el experimento

Comportamiento físico del arco en la soldadura TIG en reparación de cabezotes de aluminio.	
Número de experimento	Condiciones a la que el operario controla el arco.
1	No se funde el material de aporte, arco más bajo y débil.
2	Salida de gas, genera porosidad, chispeos, y escupe el material de aporte.
3	Mejora la protección de gas, se logra perfeccionar del cordón.
4	No se logra fundir por completo el material de aporte, se logra una actividad en la superficie equivalente al óxido de aluminio que impide la penetración del material.
5	Se funde mejor el material, se complica el desplazamiento del arco a través de la superficie.
6	Mayor velocidad de fundirse el material de aporte, se logra evitar fácilmente la capa de óxido, Penetración estable.
7	Penetración más alta, arco estable. Buena fundición del material de aporte.
8	Se mejora la movilidad del arco y genera un buen cordón. Chispeo al prender el arco.

Fuente: Autor

Ficha 1: Reporte de ensayos de tintas penetrantes

		“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
Informe de tintas penetrantes					
Ficha de registro:		01		Tipo de ensayo:	
				Ensayo no destructivo	
Interesado:			M. Noboa		Inspector:
					Fernando Cornejo
Dirección del interesado:			Verdeloma y Quispicacha. Ciudad de Ambato		
Fotografía del elemento:					
					
Datos informativos generales					
Elemento:		Cabezote de motor		Denominación:	
				C-01	
Conformado de material:			Aleación de aluminio A-356-T6		
Orientación de plano:			Superior		
Soldadura aplicada:			TIG-GTAW		
Instrumento de medida:			Calibre pie de rey-Flexómetro		
Aplicación de soldadura:			Relleno y reparación		
Posición de soldadura aplicada:			Plana		
Material de aporte:		R4043		Temperatura de ensayo:	
				17.6 °C	
Altura:		2597 m		Presión atmosférica	
				1030 hPa	
Iluminación:		200 luxes			
Propiedades del líquido penetrante					
Color:			Rojo		
Presentación:			Lata-aerosol		
Marca del tinte penetrante:			WEIKON		
Olor:			Diluyente		
Resistencia a la temperatura			Hasta 50°C		
Tiempo de acción:			8 minutos de penetración		

Propiedades del líquido limpiador							
Olor:			Diluyente				
Color:			Transparente				
Tiempo de acción:			1 minuto de limpieza				
Objeto de remoción:			Franela/ Papel higiénico.				
Marca del líquido limpiador:			WEIKON				
Propiedades del líquido revelador							
Olor:			Diluyente				
Color:			Blanco				
Marca del líquido revelador			WEIKON				
Tiempo de acción:			5 minutos				
Resultado de la inspección							
Según la AWS D1.2 (Código estructural de soldadura de aluminio)							
N°	Discontinuidades	Coordenadas		Longitud	Diámetro	Resultado de inspección	
		X	Y			Aceptada	Rechazada
1	Poros	11	-50	-----	0.4	X	
2	Poros	13	-53	-----	2.1		X
3	Poros	16	-54	-----	2.2		X
4	Poros	20	-57	-----	0.5	X	
5	Poros	21.5	-58	-----	0.45	X	
6	Grieta	27.7	-56	0.5	-----		X
7	Poros	32.3	-57	-----	3.2		X
8	Socavadura	34.1	-54	0.1	0.2	X	
9	Poros	31.3	-45	-----	2		X
10	Poros	31.3	-48	-----	1.8	X	
11	Grieta	36.7	-42	0.2	-----		X
12	Nido de poros	21.2	-22	-----	3		X
13	Poros	19.8	-40	-----	1	X	
14	Poros	18.8	-38	-----	1.2	X	
<p>Resultado final: El cordón de soldadura al presentar grietas, se las rechaza debido a que en el código AWS D1.2 no acepta esta discontinuidad, por lo que no es factible soldar en los parámetros establecidos.</p>							

Fuente: Autor

Ficha 2: Reporte de ensayos de tintas penetrantes

		“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
Informe de tintas penetrantes					
Ficha de registro:	02	Tipo de ensayo:	Ensayo no destructivo		
Interesado:	M. Noboa	Inspector:	Fernando Cornejo		
Dirección del interesado:	Verdeloma y Quispicacha. Ciudad de Ambato				
Fotografía del elemento:					
Datos informativos generales					
Elemento:	Cabezote de motor		Denominación:	C-02	
Conformado de material:	Aleación de aluminio A-356-T6				
Orientación de plano:	Superior				
Soldadura aplicada:	TIG-GTAW				
Instrumento de medida:	Calibre pie de rey-Flexómetro				
Aplicación de soldadura:	Relleno y reparación				
Posición de soldadura aplicada:	Plana				
Material de aporte:	R4043		Temperatura de ensayo:	17.6 °C	
Altura:	2597 m		Presión atmosférica	1030 hPa	
Iluminación:	200 luxes				
Propiedades del líquido penetrante					
Color:	Rojo				
Presentación:	Lata-aerosol				
Marca del tinte penetrante:	WEIKON				
Olor:	Diluyente				
Resistencia a la temperatura	Hasta 50°C				
Tiempo de acción:	8 minutos de penetración				

Propiedades del líquido limpiador							
Olor:			Diluyente				
Color:			Transparente				
Tiempo de acción:			1 minuto de limpieza				
Objeto de remoción:			Franela/ Papel higiénico.				
Marca del líquido limpiador:			WEIKON				
Propiedades del líquido revelador							
Olor:			Diluyente				
Color:			Blanco				
Marca del líquido revelador			WEIKON				
Tiempo de acción:			5 minutos				
Resultado de la inspección							
Según la AWS D1.2 (Código estructural de soldadura de aluminio)							
N°	Discontinuidades	Coordenadas		Longitud	Diámetro	Resultado de inspección	
		X	Y			Aceptada	Rechazada
1	Nido de poros	35.2	-62.1	2	2.1		X
2	Grieta	43.4	-66.3	1.5	----		X
3	Nido de poros	72.7	-60.4	2	1.2		X
4	Grieta	55.3	-52.1	1.2	----		X
5	Poro	38.4	-53.3	----	1	X	
6	Poro	35.8	-51.5	----	0.5	X	
Resultado final: El cordón de soldadura al presentar grietas, se las rechaza debido a que en el código AWS D1.2 no acepta esta discontinuidad, por lo que no es factible soldar en los parámetros establecidos.							

Fuente: Autor

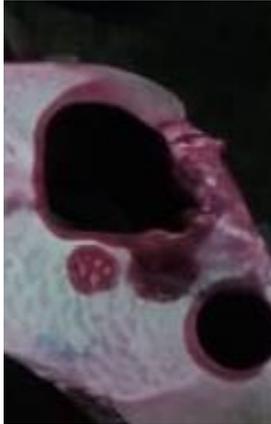
Ficha 3: Reporte de ensayos de tintas penetrantes

		“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”			
		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
Informe de tintas penetrantes					
Ficha de registro:	03	Tipo de ensayo:	Ensayo no destructivo		
Interesado:	M. Noboa	Inspector:	Fernando Cornejo		
Dirección del interesado:	Verdeloma y Quispicacha. Ciudad de Ambato				
Fotografía del elemento:					
Datos informativos generales					
Elemento:	Cabezote de motor		Denominación:	C-03	
Conformado de material:	Aleación de aluminio A-356-T6				
Orientación de plano:	Superior				
Soldadura aplicada:	TIG-GTAW				
Instrumento de medida:	Calibre pie de rey-Flexómetro				
Aplicación de soldadura:	Relleno y reparación				
Posición de soldadura aplicada:	Plana				
Material de aporte:	R4043		Temperatura de ensayo:	17.6 °C	
Altura:	2597 m		Presión atmosférica	1030 hPa	
Iluminación:	200 luxes				
Propiedades del líquido penetrante					
Color:	Rojo				
Presentación:	Lata-aerosol				
Marca del tinte penetrante:	WEIKON				
Olor:	Diluyente				
Resistencia a la temperatura	Hasta 50°C				
Tiempo de acción:	8 minutos de penetración				

Propiedades del líquido limpiador							
Olor:				Diluyente			
Color:				Transparente			
Tiempo de acción:				1 minuto de limpieza			
Objeto de remoción:				Franela/ Papel higiénico.			
Marca del líquido limpiador:				WEIKON			
Propiedades del líquido revelador							
Olor:				Diluyente			
Color:				Blanco			
Marca del líquido revelador:				WEIKON			
Tiempo de acción:				5 minutos			
Resultado de la inspección							
Según la AWS D1.2 (Código estructural de soldadura de aluminio)							
N°	Discontinuidades	Coordenadas		Longitud	Diámetro	Resultado de inspección	
		X	Y			Aceptada	Rechazada
1	Poros	22.5	-53.2	----	1	X	
2	Socavadura	24.7	-51	0.3	0.4	X	
3	Poros	25.4	-65.7	----	0.5	X	
4	Poros	22.3	-45.1	-----	0.7	X	
Resultado final: El cordón de soldadura al no tener discontinuidades tan pronunciadas se procede a ser aceptada, dado el caso los parámetros son óptimos para ser una soldadura de reparación.							

Fuente: Autor

Ficha 4: Reporte de ensayos de tintas penetrantes

		“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”			
		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
Informe de tintas penetrantes					
Ficha de registro:	04	Tipo de ensayo:	Ensayo no destructivo		
Interesado:	M. Noboa	Inspector:	Fernando Cornejo		
Dirección del interesado:	Verdeloma y Quispicacha. Ciudad de Ambato				
Fotografía del elemento:					
Datos informativos generales					
Elemento:	Cabezote de motor	Denominación:	C-04		
Conformado de material:	Aleación de aluminio A-356-T6				
Orientación de plano:	Superior				
Soldadura aplicada:	TIG-GTAW				
Instrumento de medida:	Calibre pie de rey-Flexómetro				
Aplicación de soldadura:	Relleno y reparación				
Posición de soldadura aplicada:	Plana				
Material de aporte:	R4043	Temperatura de ensayo:	17.6 °C		
Altura:	2597 m	Presión atmosférica	1030 hPa		
Iluminación:	200 luxes				
Propiedades del líquido penetrante					
Color:	Rojo				
Presentación:	Lata-aerosol				
Marca del tinte penetrante:	WEIKON				
Olor:	Diluyente				
Resistencia a la temperatura	Hasta 50°C				
Tiempo de acción:	8 minutos de penetración				

Propiedades del líquido limpiador							
Olor:				Diluyente			
Color:				Transparente			
Tiempo de acción:				1 minuto de limpieza			
Objeto de remoción:				Franela/ Papel higiénico.			
Marca del líquido limpiador:				WEIKON			
Propiedades del líquido revelador							
Olor:				Diluyente			
Color:				Blanco			
Marca del Líquido revelador:				WEIKON			
Tiempo de acción:				5 minutos			
Resultado de la inspección							
Según la AWS D1.2 (Código estructural de soldadura de aluminio)							
N°	Discontinuidades	Coordenadas		Longitud	Diámetro	Resultado de inspección	
		X	Y			Aceptada	Rechazada
1	Grietas	50.5	-83.2	2.3	----		X
2	Grietas	53.8	-82.4	3.4	----		X
3	Socavadura	56.9	-63.4	2.1	2.4		X
4	Grietas	52.4	-21.2	1.8	----		X
Resultado final: El cordón de soldadura al tener varias grietas en varios sectores del cordón debe ser rechazado por motivos de control de soldaduras según la AWS D1.2 no se permite grietas.							

Fuente: Autor

Ficha 5: Reporte de ensayos de tintas penetrantes

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA </div>  </div>			
Informe de Tintas Penetrantes			
Ficha de registro:	05	Tipo de ensayo:	Ensayo no destructivo
Interesado:	M. Noboa	Inspector:	Fernando Cornejo
Dirección del interesado:	Verdeloma y Quispicacha. Ciudad de Ambato		
Fotografía del elemento:			
Datos informativos generales			
Elemento:	Cabezote de motor	Denominación:	C-05
Conformado de material:	Aleación de aluminio A-356-T6		
Orientación de plano:	Superior		
Soldadura aplicada:	TIG-GTAW		
Instrumento de medida:	Calibre pie de rey-Flexómetro		
Aplicación de soldadura:	Relleno y reparación		
Posición de soldadura aplicada:	Plana		
Material de aporte:	R4043	Temperatura de ensayo:	17.6 °C
Altura:	2597 m	Presión atmosférica	1030 hPa
Iluminación:	200 luxes		
Propiedades del líquido penetrante			
Color:	Rojo		
Presentación:	Lata-aerosol		
Marca del tinte penetrante:	WEIKON		
Olor:	Diluyente		
Resistencia a la temperatura	Hasta 50°C		
Tiempo de acción:	8 minutos de penetración		

Propiedades del líquido limpiador							
Olor:				Diluyente			
Color:				Transparente			
Tiempo de acción:				1 minuto de limpieza			
Objeto de remoción:				Franela/ Papel higiénico.			
Marca del líquido limpiador:				WEIKON			
Propiedades del líquido revelador							
Olor:				Diluyente			
Color:				Blanco			
Marca del líquido revelador:				WEIKON			
Tiempo de acción:				5 minutos			
Resultado de la inspección							
Según la AWS D1.2 (Código estructural de soldadura de aluminio)							
N°	Discontinuidades	Coordenadas		Longitud	Diámetro	Resultado de inspección	
		X	Y			Aceptada	Rechazada
1	Quemadura	42.8	60.2	----	3.4		X
2	Grietas	53.4	52.3	1.2	----		X
3	Grietas	100.8	20.5	1.5	----		X
Resultado final: El cordón de soldadura al tener varias grietas en varios sectores del cordón debe ser rechazado por motivos de control de soldaduras según la AWS D.1.2 no se permite grietas.							

Fuente: Autor

Ficha 6: Reporte de ensayos de tintas penetrantes

		“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
Informe de tintas penetrantes					
Ficha de registro:	06	Tipo de Ensayo:	Ensayo no destructivo		
Interesado:	M. Noboa	Inspector:	Fernando Cornejo		
Dirección del interesado:	Verdeloma y Quispicacha. Ciudad de Ambato				
Fotografía del elemento:					
Datos informativos generales					
Elemento:	Cabezote de motor	Denominación:	C-06		
Conformado de material:	Aleación de aluminio A-356-T6				
Orientación de plano:	Superior				
Soldadura Aplicada:	TIG-GTAW				
Instrumento de medida:	Calibre pie de rey-Flexómetro				
Aplicación de soldadura:	Relleno y reparación				
Posición de soldadura aplicada:	Plana				
Material de aporte:	R4043	Temperatura de ensayo:	17.6 °C		
Altura:	2597 m	Presión atmosférica	1030 hPa		
Iluminación:	200 luxes				
Propiedades del líquido penetrante					
Color:	Rojo				
Presentación:	Lata-aerosol				
Marca del tinte penetrante:	WEIKON				
Olor:	Diluyente				
Resistencia a la temperatura	Hasta 50°C				
Tiempo de acción:	8 minutos de penetración				

Propiedades del líquido limpiador							
Olor:		Diluyente					
Color:		Transparente					
Tiempo de acción:		1 minuto de limpieza					
Objeto de remoción:		Franela/ Papel higiénico.					
Marca del líquido limpiador:		WEIKON					
Propiedades del líquido revelador							
Olor:		Diluyente					
Color:		Blanco					
Marca del líquido revelador:		WEIKON					
Tiempo de acción:		5 minutos					
Resultado de la inspección							
Según la AWS D1.2 (Código estructural de soldadura de aluminio)							
N°	Discontinuidades	Coordenadas		Longitud	Diámetro	Resultado de inspección	
		X	Y			Aceptada	Rechazada
1	Poros	75.2	45.7	----	0.5	X	
2	Poros	98.4	35.8	----	0.7	X	
3	Poros	85.4	23.2	----	0.2	X	
Resultado final: El cordón de soldadura al solo poseer poros superficiales, se procede a dar de aceptación a este cordón de reparación.							

Fuente: Autor

Ficha 7: Reporte de ensayos de tintas penetrantes

		“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
Informe de tintas penetrantes					
Ficha de registro:	07	Tipo de ensayo:	Ensayo no destructivo		
Interesado:	M. Noboa	Inspector:	Fernando Cornejo		
Dirección del interesado:	Verdeloma y Quispicacha. Ciudad de Ambato				
Fotografía del elemento:					
Datos informativos generales					
Elemento:	Cabezote de motor	Denominación:	C-07		
Conformado de material:	Aleación de aluminio A-356-T6				
Orientación de plano:	Superior				
Soldadura aplicada:	TIG-GTAW				
Instrumento de medida:	Calibre pie de rey-Flexómetro				
Aplicación de soldadura:	Relleno y reparación				
Posición de soldadura aplicada:	Plana				
Material de aporte:	R4043	Temperatura de ensayo:	17.6 °C		
Altura:	2597 m	Presión atmosférica	1030 hPa		
Iluminación:	200 luxes				
Propiedades del líquido penetrante					
Color:	Rojo				
Presentación:	Lata-aerosol				
Marca del tinte penetrante:	WEIKON				
Olor:	Diluyente				
Resistencia a la temperatura	Hasta 50°C				
Tiempo de acción:	8 minutos de penetración				

Propiedades del líquido limpiador							
Olor:				Diluyente			
Color:				Transparente			
Tiempo de acción:				1 minuto de limpieza			
Objeto de remoción:				Franela/ Papel higiénico.			
Marca del líquido limpiador:				WEIKON			
Propiedades del líquido revelador							
Olor:				Diluyente			
Color:				Blanco			
Marca del líquido revelador:				WEIKON			
Tiempo de acción:				5 minutos			
Resultado de la inspección							
Según la AWS D1.2 (Código estructural de soldadura de aluminio)							
N°	Discontinuidades	Coordenadas		Longitud	Diámetro	Resultado de inspección	
		X	Y			Aceptada	Rechazada
1	Poros	20.7	12.5	----	1.7	X	
2	Nido de poros	97.4	27.5	1.5	1.2	X	
3	Poros	85.6	33.6	----	0.4	X	
4	Socavadura	81.7	35.7	0.2	0.1	X	
Resultado final: El cordón de soldadura al solo poseer poros superficiales y a su vez socavadura que no presentan riesgo en la reparación, se procede a dar de aceptación a este cordón de reparación.							

Fuente: Autor

Ficha 8: Reporte de ensayos de tintas penetrantes

		“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
Informe de tintas penetrantes					
Ficha de registro:	08	Tipo de Ensayo:	Ensayo no destructivo		
Interesado:	M. Noboa	Inspector:	Fernando Cornejo		
Dirección del interesado:	Verdeloma y Quispicacha. Ciudad de Ambato				
Fotografía del elemento:					
					
Datos Informativos Generales					
Elemento:	Cabezote de motor		Denominación:	C-08	
Conformado de material:	Aleación de aluminio A-356-T6				
Orientación de plano:	Superior				
Soldadura aplicada:	TIG-GTAW				
Instrumento de medida:	Calibre pie de rey-Flexómetro				
Aplicación de soldadura:	Relleno y reparación				
Posición de soldadura aplicada:	Plana				
Material de aporte:	R4043	Temperatura de ensayo:	17.6 °C		
Altura:	2597 m	Presión atmosférica	1030 hPa		
Iluminación:	200 luxes				
Propiedades del líquido penetrante					
Color:	Rojo				
Presentación:	Lata-aerosol				
Marca del tinte penetrante:	WEIKON				
Olor:	Diluyente				
Resistencia a la temperatura	Hasta 50°C				
Tiempo de acción:	8 minutos de penetración				

Propiedades del líquido limpiador							
Olor:		Diluyente					
Color:		Transparente					
Tiempo de acción:		1 minuto de limpieza					
Objeto de remoción:		Franela/ Papel higiénico.					
Marca del líquido limpiador:		WEIKON					
Propiedades del líquido revelador							
Olor:		Diluyente					
Color:		Blanco					
Marca del líquido revelador:		WEIKON					
Tiempo de acción:		5 minutos					
Resultado de la inspección							
Según la AWS D1.2 (Código estructural de soldadura de Aluminio)							
N°	Discontinuidades	Coordenadas		Longitud	Diámetro	Resultado de inspección	
		X	Y			Aceptada	Rechazada
1	Poros	32.2	15.4	----	0.7	X	
2	Poros	78.4	11.8	----	0.3	X	
Resultado final: El cordón de soldadura al solo poseer poros, se procede a dar de aceptación a este cordón de reparación.							

Fuente: Autor

Tabla 3-2. Tabla resumen de Aprobación/Rechazo

Resumen de los cordones de reparación	
Numero de experimento	Aprobación/ Rechazo
1	Rechazada
2	Rechazada
3	Aprobada
4	Rechazada
5	Rechazada
6	Aprobada
7	Aprobada
8	Aprobada

Fuente: Autor

Ficha 9: Reporte de ensayos de dureza

		“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
Informe del ensayo de dureza					
Datos informativos					
Tipo de estudio:		De laboratorio	Orden N°:	016	
Identificación del componente de estudio:		Cabezote de motor			
Solicitado por:		Fernando Cornejo	Fecha:	24/02/2021	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de Metalografía-FICM			
PARÁMETROS					
Equipo:		Durómetro para metales			
Temperatura ambiente:		18.60°C			
Dureza:		Brinell			
Iluminación:		Luz natural			
Tamaño del indientador:		2,5 mm			
Carga:		187,5 kg			
Identificación:		Punto general del material			
Serie del aluminio:		Aleación de aluminio A356-T6			
Proceso anterior sometido:		-Soldadura -Rectificado			
Gas de soldadura:		Argón			
Estado del componente:		Bueno			
Identificación de empresa:		DC-001			

Especificaciones de la pieza:



RESULTADOS

Numero de medición	Diámetro de la huella medida (mm)	Dureza Brinell (HB)
1	1,65	76,30
2	1,76	65,49
3	1,72	69,19
4	1,67	74,18
5	1,56	86,82
Promedio	1,672	74,4

Conclusión: En el punto general del material la medida de dureza resultante es de 86,82 HB (Brinell), con una resistencia a la tracción de 265 Kpsi

Aprobó:

Ing. Jorge López

Fuente: Autor

Ficha 10: Reporte de ensayos de dureza.

		“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
Informe del ensayo de dureza					
Datos informativos					
Tipo de estudio:		De laboratorio	Orden N°	016	
Identificación del componente de estudio:		Cabezote de motor			
Solicitado por:		Fernando Cornejo	Fecha:	24/02/2021	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de Metalografía-FICM			
PARÁMETROS					
Equipo:		Durómetro para metales			
Temperatura ambiente:		18.60°C			
Dureza:		Brinell			
Iluminación:		Luz natural			
Tamaño del indientador:		2,5 mm			
Carga:		187,5 kg			
Identificación:		Experimento # 3			
Serie del aluminio:		Aleación de aluminio A356-T6			
Proceso anterior sometido:		-Soldadura -Rectificado			
Gas de soldadura:		Argón			
Estado del componente:		Bueno			
Identificación de empresa:		DC-002			

Especificaciones de la pieza:



RESULTADOS

Numero de medición	Diámetro de la huella medida (mm)	Dureza Brinell (HB)
1	1,44	103,96
2	1,55	88,11
3	1,47	99,29
4	1,51	93,48
5	1,45	102,37
Promedio	1,48	97,4

Conclusión: En el punto general del material la medida de dureza resultante es de 97.4 HB (Brinell), con una resistencia a la tracción de 278 Kpsi

Aprobó:

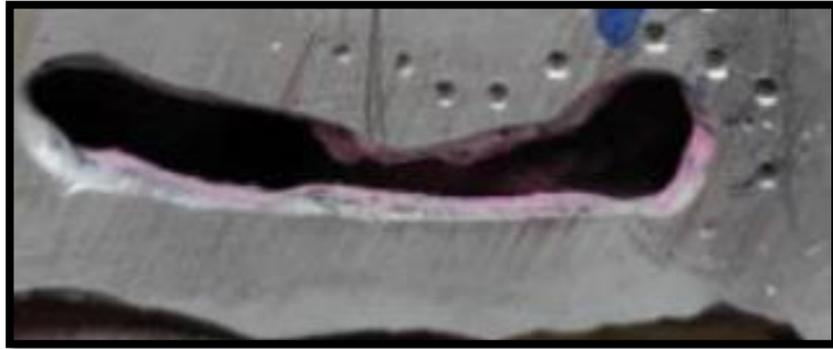
Ing. Jorge López

Fuente: Autor

Ficha 11: Reporte de ensayos de dureza

		“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
Informe del ensayo de dureza					
Datos informativos					
Tipo de estudio:		De laboratorio	Orden N°	016	
Identificación del componente de estudio:		Cabezote de motor			
Solicitado por:		Fernando Cornejo	Fecha:	24/02/2021	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de Metalografía-FICM			
PARÁMETROS					
Equipo:		Durómetro para metales			
Temperatura ambiente:		18.60°C			
Dureza:		Brinell			
Iluminación:		Luz natural			
Tamaño del indientador:		2,5 mm			
Carga:		187,5 kg			
Identificación:		Experimento #6			
Serie del aluminio:		Aleación de aluminio A356-T6			
Proceso anterior sometido:		-Soldadura -Rectificado			
Gas de soldadura:		Argón			
Estado del componente:		Bueno			
Identificación de empresa:		DC-003			

Especificaciones de la pieza:



RESULTADOS

Numero de medición	Diámetro de la huella medida (mm)	Dureza Brinell (HB)
1	1,72	69,19
2	1,7	71,13
3	1,67	71,18
4	1,69	72,13
5	1,74	67,31
Promedio	1,7	70,8

Conclusión: En el punto general del material la medida de dureza resultante es de 70,8 HB (Brinell), con una resistencia a la tracción de 248 Kpsi

Aprobó:

Ing. Jorge López

Fuente: Autor

Ficha 12: Reporte de ensayos de dureza

		“UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
Informe del ensayo de dureza					
Datos informativos					
Tipo de estudio:		De laboratorio	Orden N°	016	
Identificación del componente de estudio:		Cabezote de motor			
Solicitado por:		Fernando Cornejo	Fecha:	24/02/2021	
Centro de estudio y análisis:		Laboratorio de Metalografía-FICM			
PARÁMETROS					
Equipo:		Durómetro para metales			
Temperatura ambiente:		18.60°C			
Dureza:		Brinell			
Iluminación:		Luz Natural			
Tamaño del indientador:		2,5 mm			
Carga:		187,5 kg			
Identificación:		Experimento #7			
Serie del aluminio:		Aleación de aluminio A356-T6			
Proceso anterior sometido:		-Soldadura -Rectificado			
Gas de soldadura:		Argón			
Estado del componente:		Bueno			
Identificación de empresa:		DC-004			

Especificaciones de la pieza:



RESULTADOS

Numero de medición	Diámetro de la huella medida (mm)	Dureza Brinell (HB)
1	1,63	78,49
2	1,58	84,33
3	1,65	76,30
4	1,62	79,62
5	1,64	77,38
Promedio	1,62	79,2

Conclusión: En el punto general del material la medida de dureza resultante es de 79,2 HB (Brinell), con una resistencia a la tracción de 254 Kpsi

Aprobó:

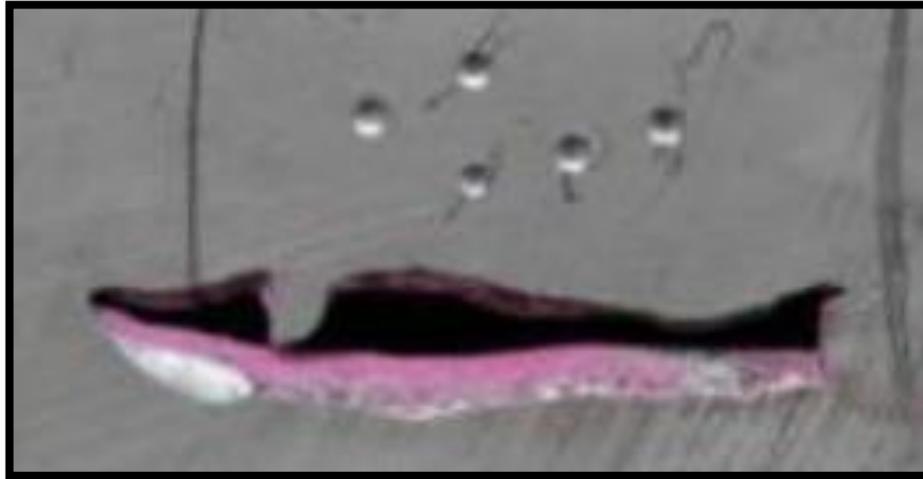
Ing. Jorge López

Fuente: Autor

Ficha 13: Reporte de ensayos de dureza

 “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
Informe del ensayo de dureza			
Datos Informativos			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Orden N°	016
Identificación del componente de estudio:	Cabezote de motor		
Solicitado por:	Fernando Cornejo	Fecha:	24/02/2021
Centro de estudio y análisis:	Laboratorio de Metalografía-FICM		
PARÁMETROS			
Equipo:	Durómetro para metales		
Temperatura ambiente:	18.60°C		
Dureza:	Brinell		
Iluminación:	Luz natural		
Tamaño del indientador:	2,5 mm		
Carga:	187,5 kg		
Identificación:	Experimento #8		
Serie del aluminio:	Aleación de aluminio A356-T6		
Proceso anterior sometido:	-Soldadura -Rectificado		
Gas de Soldadura:	Argón		
Estado del componente:	Bueno		
Identificación de empresa:	DC-004		

Especificaciones de la pieza:



RESULTADOS

Numero de medición	Diámetro de la huella medida (mm)	Dureza Brinell (HB)
1	1,7	71,13
2	1,65	76,30
3	1,62	79,62
4	1,5	94,89
5	1,66	78,23
Promedio	1,62	79,4

Conclusión: En el punto general del material la medida de dureza resultante es de 86,82 HB (Brinell), con una resistencia a la tracción de 255 Kpsi

Aprobó:

Ing. Jorge López

Fuente: Autor

3.1.2. Análisis de resultados

Estos datos resultantes serán evaluados por medio de las propiedades de dureza adaptadas en el material de aluminio, en la tabla 3-3 se especifican los diferentes resultados y variaciones de los parámetros obtenidos previamente, tales como la dureza, amperaje y el tiempo de gas actuante.

Tabla 3-3. Resultados de experimento

Parámetros										Resultados				
Experimento	Corriente	Frecuencia	Proceso	Pre-gas	Pre-arco	Amperaje	Post-Arco	Post-Flujo	Balance	Numero de discontinuidades	Aprobación/Rechazo	Dureza Obtenida		Resistencia a la tracción
												Brinell (HB)	Durómetro HBW	
1	Alterna	Alta	Manual	0,2	0,5	120	0,5	0,1	-4	14	Rechazada	----	----	----
2	Alterna	Alta	Manual	0,5	0,5	121	0,5	0,9	-4	6	Rechazada	----	----	----
3	Alterna	Alta	Manual	0,7	0,5	129	0,5	0,8	-4	4	Aprobada	97,4	646,2	278
4	Alterna	Alta	Manual	0,4	0,5	122	0,5	0,2	-4	4	Rechazada	----	----	----
5	Alterna	Alta	Manual	0,5	0,5	125	0,5	0,5	-4	3	Rechazada	----	----	----
6	Alterna	Alta	Manual	0,5	0,5	128	0,5	0,1	-4	3	Aprobada	70,8	503,8	248
7	Alterna	Alta	Manual	0,9	0,5	127	0,5	0,3	-4	5	Aprobada	79,2	556,6	254
8	Alterna	Alta	Manual	0,4	0,5	127	0,5	0,2	-4	2	Aprobada	79,4	557,6	255

Fuente: Autor

3.1.2.1. Análisis del comportamiento del experimento

Por medio de la gráfica 3-1 se puede visualizar que la tendencia que genera en cuestión al experimento realizado en el proceso de reparación de cabezotes por soldadura TIG, se puede apreciar que con los parámetros dados inicialmente estos generan un impacto alto en las discontinuidades, debido a que estos parámetros suelen fluctuar radicalmente en la primera interpolación de datos al azar en el programa, por lo que es necesario regular de mejor manera todos los parámetros que se tienen en el equipo para generar una mejor condición de los resultados.

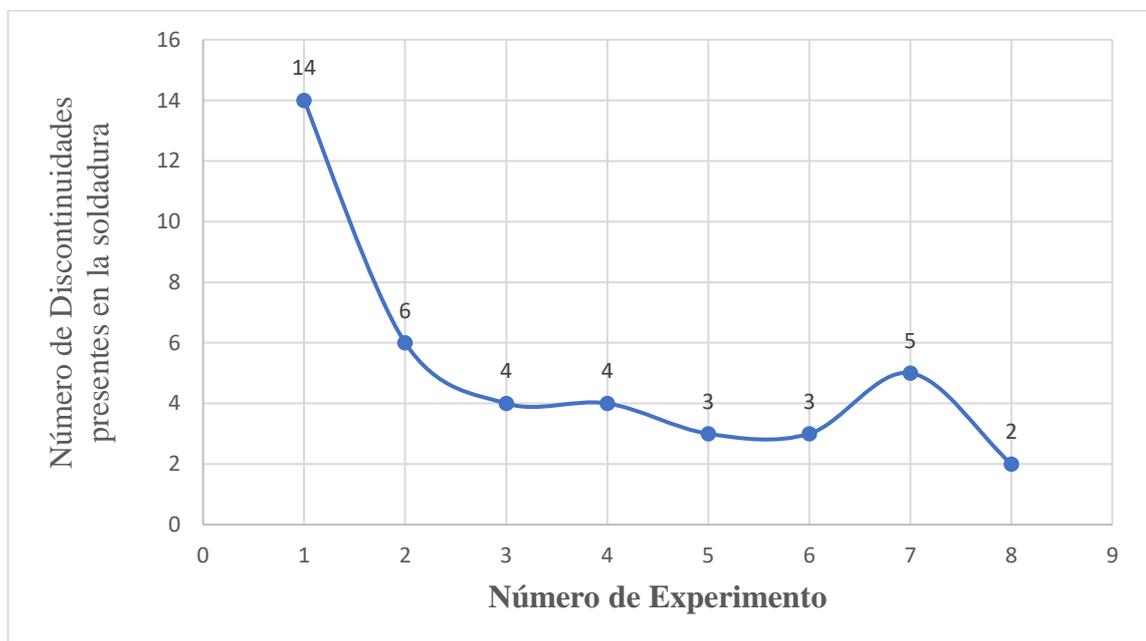


Gráfico 3-1. Determinación de número de experimentos vs número de discontinuidades

Fuente: Autor

En la gráfica 3-2 se demuestra que entre menos gas sea proporcionado al cordón o al punto de reparación de aluminio, este tiende a ser más inestable en el desplazamiento del arco en el material, mientras que por su contraparte entre más alto sea el amperaje proporcionado al arco, este tiende a ser más fácil el desplazamiento, por lo que en la deposición del material será más sencilla y con esto se logra reparar los puntos analizados.

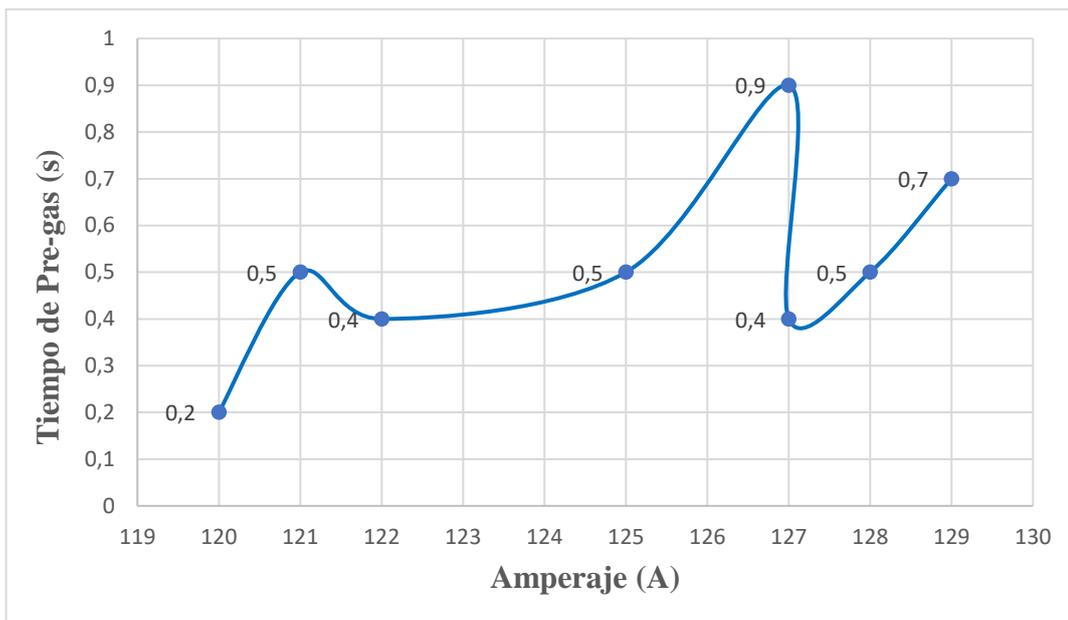


Gráfico 3-2. Tiempo de Pre-gas vs Amperaje

Fuente: Autor

En la figura 3-3 se analiza la acción del gas, después de que se haya apagado el arco, por lo que este tiende a tener una acción protectora sobre el charco de soldadura. En el menor tiempo de acción del post gas de 0.1 segundo este se trabajó con un amperaje de 120 Amperios, mientras que el mayor tiempo empleado es de 0.9 segundos con un amperaje de 121 Amperios.

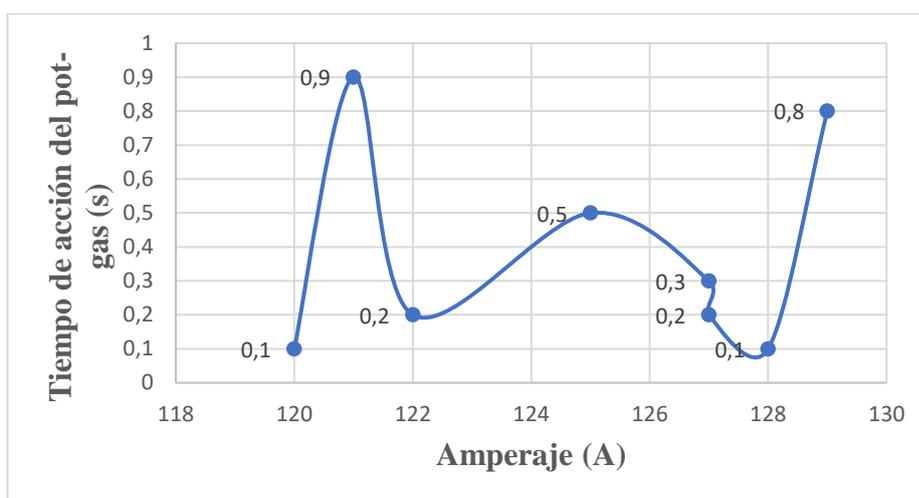


Gráfico 3-3. Tiempo de Post-gas vs Amperaje

Fuente: Autor

Debido a que entre mayor sea la aplicación del amperaje en la soldadura se puede notar una baja en el número de discontinuidades, por lo que en valores medios estos tienden a ser algo bajos debido a los parámetros impuestos previamente, con mayores amperajes se logra tener pocas discontinuidades, por lo que es apto aplicar estos parámetros para evitar así las grietas, esto es visible en el gráfico 3-4.

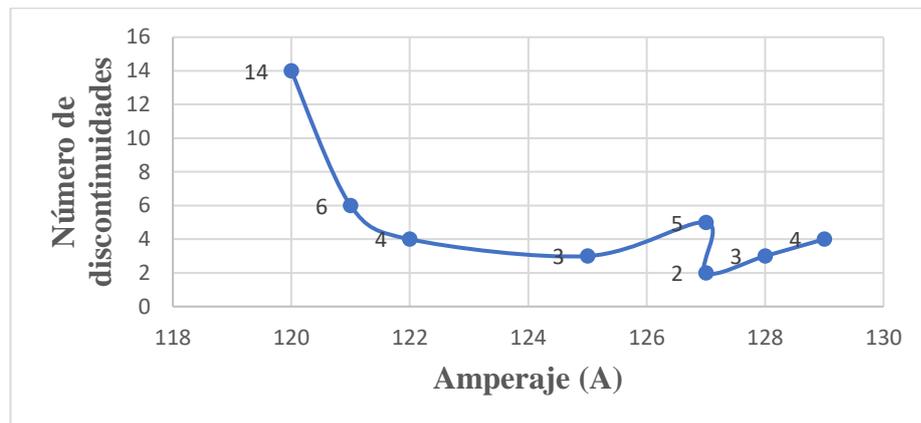


Gráfico 3-4. Número de discontinuidades vs Amperaje

Fuente: Autor

Respecto a la gráfica 3-5 se manifestó la dureza del material base de aluminio, en el cual con los parámetros incorrectos se agrieto de manera abrupta, por lo que estas fueron rechazadas y las que se aprobaron tienen una dureza un poco superior o similar a la del metal base, ocasionado al exceso de amperaje estos tienden a aumentar la dureza por lo que estos generan fragilidad en el metal.

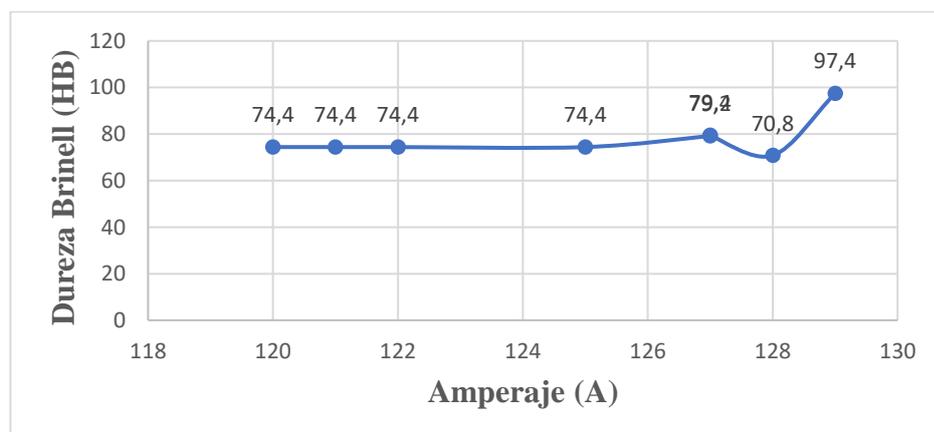


Gráfico 3-5. Dureza Brinell (HB) vs Amperaje

Fuente: Autor

Con respecto a la gráfica 3-6 con su contraparte en la dureza Brinell del durómetro este genera la misma curva que en la de dureza normal, ya que fue calculada en fichas anteriores, por lo que los datos son verificados por medio de esta sencilla curva de valores.

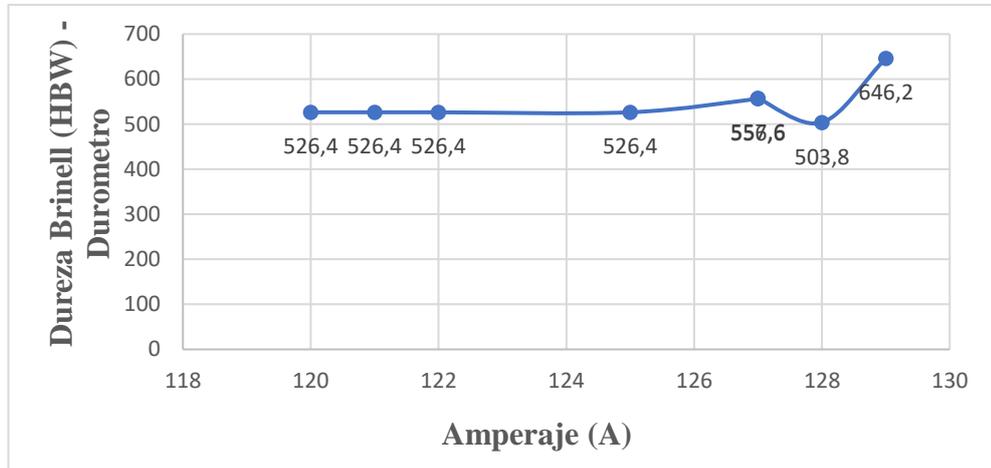


Gráfico 3-6. Dureza Brinell (HBW) vs Amperaje

Fuente: Autor

Con respecto a la gráfica 3-7, se muestra que la resistencia a la tracción, ocasionado a que entre más alto sea el valor de amperaje, el valor numérico de la tracción disminuye abruptamente, este fenómeno es debido principalmente a la unión del metal base y del material de aluminio que se aporta en la soldadura.



Gráfico 3-7. Amperaje vs Resistencia a la tracción

Fuente: Autor

Con respecto al análisis mostrado al tiempo de acción del gas antes del encendido del arco visible en el gráfico 3-8, este da mejores resultados con su acción de proteger el arco, conjuntamente para que vayan de la mano para que este no genere tantas discontinuidades en los cordones de soldadura.

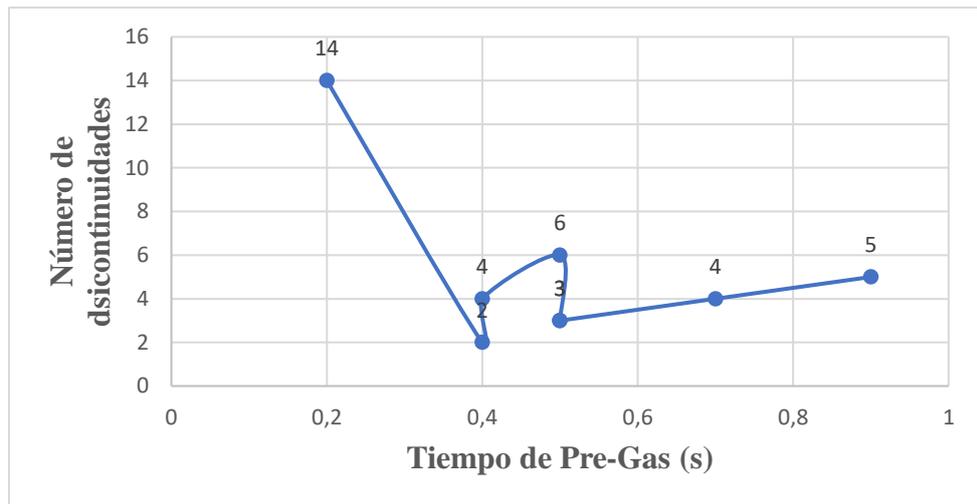


Gráfico 3-8. Número de discontinuidades vs Tiempo de Pre-gas

Fuente: Autor

Con respecto a la dureza Brinell con el tiempo de acción del gas que se mira en el gráfico 3-9, estos mantienen en valores permisibles de dureza, esto se puede ver por medio de mayor intervención del gas actuante que mantiene datos aproximados y normales a la curva que pertenece la dureza normal de la aleación de aluminio.

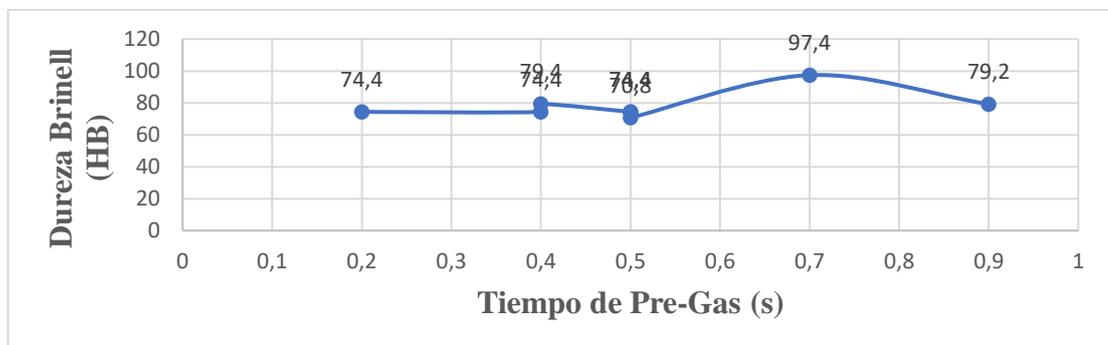


Gráfico 3-9. Dureza Brinell vs Tiempo de Pre-gas

Fuente: Autor

Visualizando la resistencia a la tracción presente en el gráfico 3-10, se transforma según el tiempo de variación del gas actuante, por lo que esta toma valores dispersos que alteran su análisis, pero en los tiempos de mayor actuación este protege al arco dando mejores resultados.

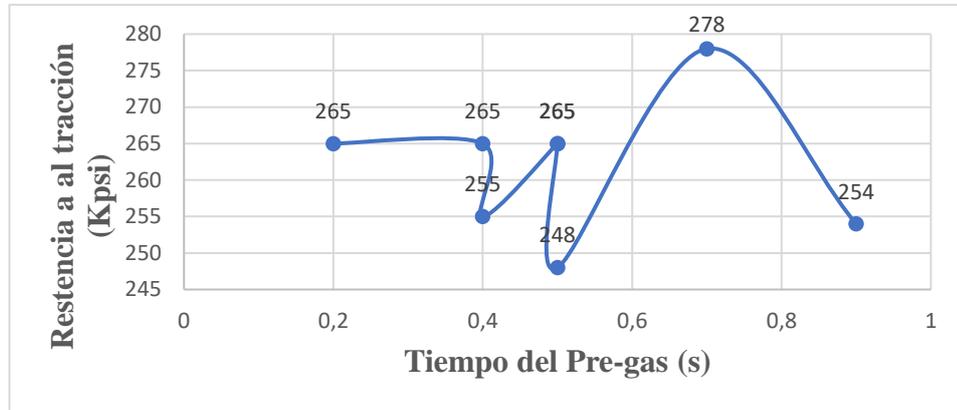


Gráfico 3-10. Resistencia a la tracción vs Tiempo de Pre-gas

Fuente: Autor

Se visualiza en el gráfico 3-11, que por medio del tiempo que está siendo aplicado el gas, después de acabar el cordón, este tiende a proteger de mejor manera al cordón de soldadura recién efectuado, evitando las discontinuidades presentes en el metal.

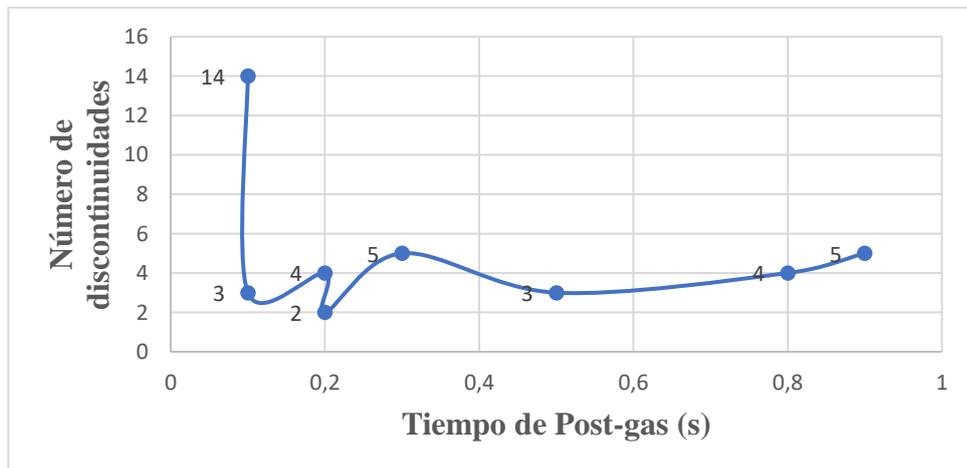


Gráfico 3-11. Número de discontinuidades vs Tiempo de Post-gas

Fuente: Autor

Los valores del gráfico 3-12 respecto al tiempo del gas actuante después de efectuarse el cordón, analizado con la dureza esto se puede apreciar que en tiempos cortos, este permanece en una dureza equivalente a la del material base por lo que es necesario

tenerlo más tiempo para que proteja el baño de fusión, sin generar alteración de esta por medio del gas, evitando así corrosión innecesaria o agrietamientos en el metal. En el tiempo nos brinda resultados similares debido a las condiciones presentadas anteriormente, debido a esto los valores tienen aumentar un poco, manteniéndose en el rango de dureza del metal base.

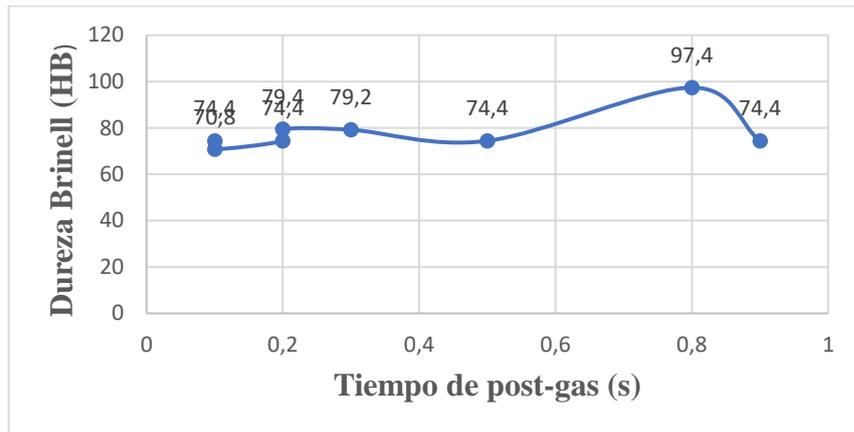


Gráfico 3-12. Dureza Brinell vs Tiempo de Post-gas

Fuente: Autor

En el gráfico 3-13, respecto a la resistencia a la tracción estos nos demuestran que en mayor tiempo de acción después de acabar el arco, el charco evita tener fluctuaciones que generan óxidos y permiten tener valores aproximados al valor normal de resistencia del metal base.

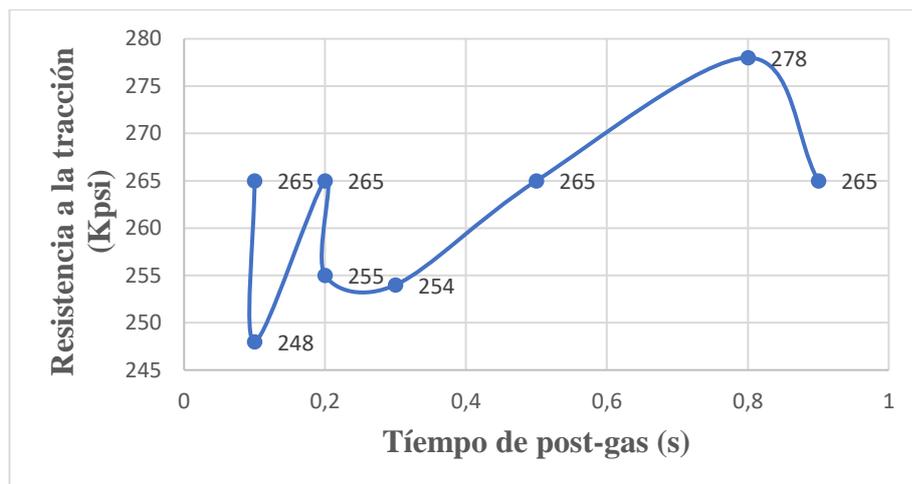


Gráfico 3-13. Resistencia a la tracción vs Tiempo de Post-gas

Fuente: Autor

En la gráfica 3-14, se puede apreciar los valores de discontinuidades, respecto al post-gas, esto brinda rangos de valores en las que el amperaje, será predecible, por lo que se puede pronosticar que entre mayor sea el amperaje el valor de las discontinuidades bajaran, debido a esto el rango de estos parámetros deberá calibrarse dependiendo de la necesidad de operación.

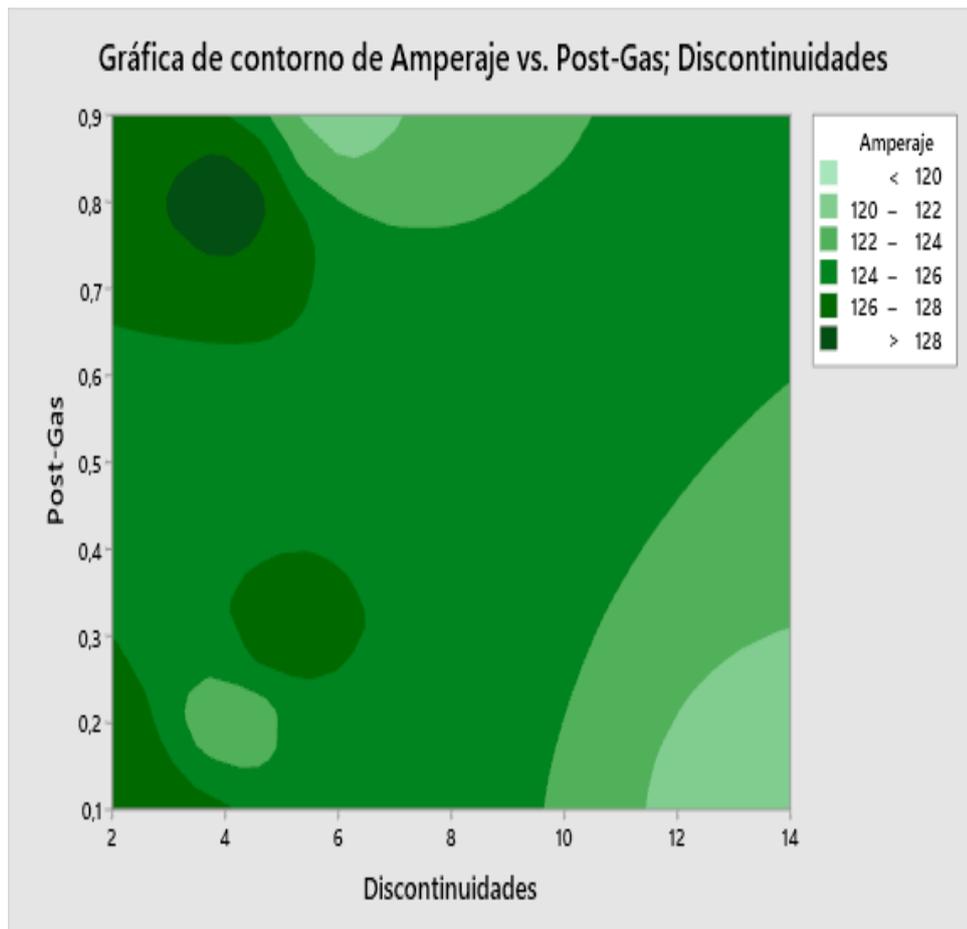


Gráfico 3-14. Gráficas de control

Fuente: Autor

En el gráfico 3-15, se presenta una gráfica de control, en donde el pre-gas es coloreado de color verde donde se presenta el post-gas y las discontinuidades, en esta debido a que el efecto del gas mejora la calidad del cordón de aluminio, este debe en cortos periodos para brindar más calidad al cordón de soldadura.

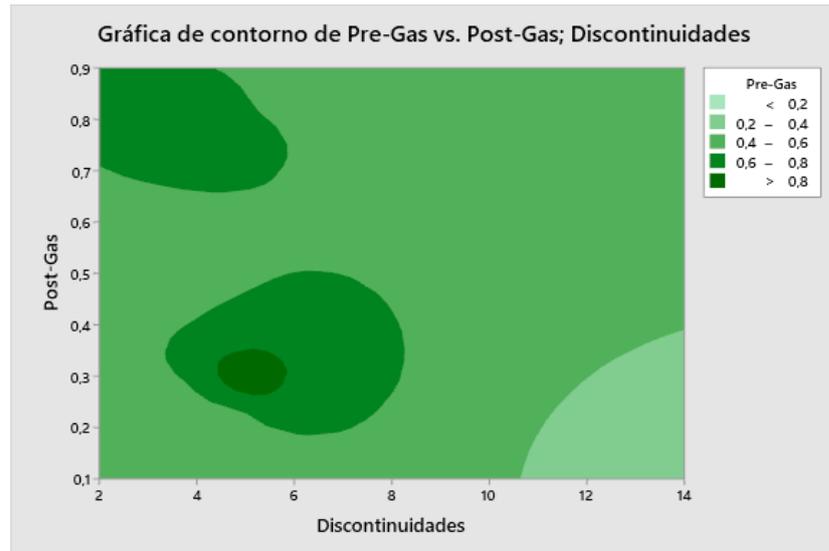


Gráfico 3-15. Gráficas de contorno

Fuente: Autor

Respecto al gráfico 3-16 se visualiza los parámetros fundamentales que influyen en la reparación, donde estos inciden en la dureza del material, por lo que al alterarse estos generan una curva de la superficie mostrada. Estos valores suben de a poco, dependiendo de los parámetros generados en el experimento, la curva representa básicamente los valores adoptados con cada parámetro y ayuda a la calibración de estos.

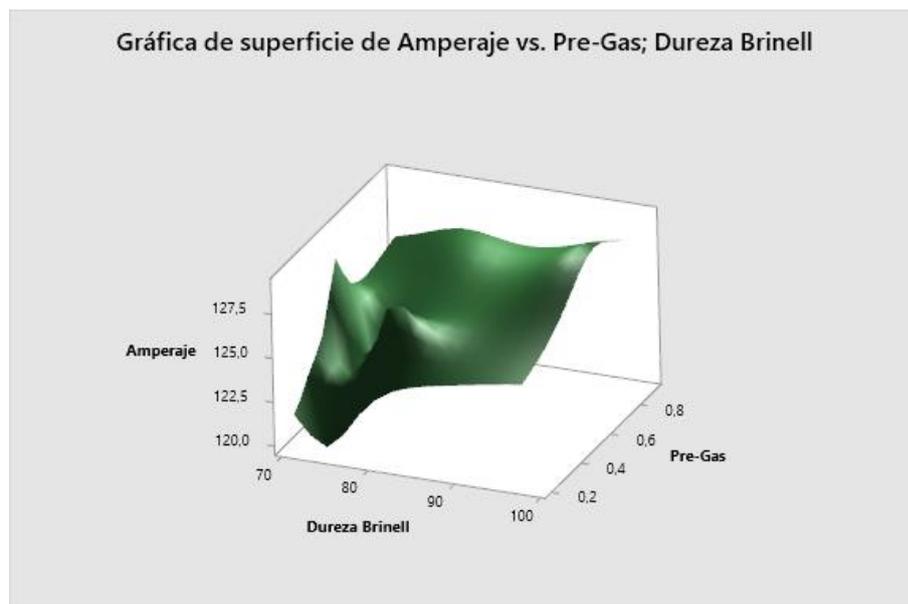


Gráfico 3-16. Gráfica de superficie de parámetros de soldadura

Fuente: Autor

3.2. Verificación de hipótesis

Hipótesis:

¿La variación de Amperaje, y el tiempo de aplicación del gas permitirá mejorar el proceso de soldadura de aluminio en los cabezotes de vehículos?

Mediante el diseño del experimento, en la que se pone a prueba los parámetros mostrados anteriormente, se obtienen resultados de dureza, previamente aplicando el código AWS D.1.2 correspondiente al código estructural de aluminio, estas se aproximan a verificar su estado de aprobación y rechazo de los cordones de reparación. Por lo que entre mayores tiempos de acción del gas y la aplicación del amperaje este entre valores altos, generan una buena reparación en los cabezotes de aluminio.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Los materiales no ferrosos, tal como el aluminio suelen estar presentes en varias áreas de elementos automotrices, tal es el caso de los cabezotes, por lo que el material adecuado para este fin son las aleaciones de aluminio y en especial la aleación que contiene, silicio y magnesio, del cual tienden a tener una dureza en el rango de 58-95 HB, muy poco soldable con métodos convencionales tal como el proceso SMAW y MIG/MAG, estos se pueden ser encontrados en referencias bibliográficas tales como libros y catálogos de proveedores de marcas automotrices.
- El aluminio presente en los cabezotes es apta a soldar por medios de procesos TIG-GTAW, gracias a la atmósfera protectora del gas, que en este caso fue el argón que lo protege de diferentes impurezas que se encuentran en el ambiente de soldadura, el charco generado fue de una manera lenta y debe ser depositada luego de un cierto tiempo, gracias a esta técnica se regula la deposición de material de aporte de aluminio al silicio R4043, que es aplicable para materiales al magnesio y silicio a la vez, teniendo buenos resultados de dureza y una reparación aceptable según los estándares del código de soldadura AWS D1.2.
- Regulando los parámetros del equipo TIG-RONCH, se obtiene mejores resultados, en este caso se debe quemar el excedente de combustible que se encuentra presente en la superficie a soldar, para evitar el óxido en el sector del elemento a repararse se debe limpiar por medio de un cepillo de acero dedicado al único uso en este material, por consiguiente el equipo debe acoplarse a los parámetros de alta frecuencia, en corriente alterna, y para regular el arco, en el pre flujo se debe colocar en 0.4 segundos y el post flujo del gas se regula en 0.4 segundos, para que este genere la atmósfera de protección antes y después del encendido del arco, estos mismos parámetros deben ser aplicados en el encendido del arco el cual debe estar en 0.5 segundos. Para lograr acabar con la capa presente de óxido en la superficie es necesario colocarla en -4 para que

este balance genere el arranque del óxido. Por último, el amperaje a trabajar en el equipo es de 127 Amperios para tener buenos resultados de reparación y dureza.

- Mantener el arco con precisión, debido a que el charco de aluminio, por pocos segundos se desplaza con el movimiento de la mano del operario, por lo que la habilidad del operador radica de forma constante en manipular la antorcha con su debido aporte de aluminio, en el operario recae toda la calidad de la reparación, y que por medio de este se pueda soldar el material por completo.
- Por medio de inspección visual y tintas penetrantes se logra visualizar y mantener el elemento intacto, gracias a esto se permite un análisis de los cabezotes con soldadura TIG-GTAW, con referencia al código de soldadura de aluminio AWS D1.2, se dan criterios de aceptación y rechazo que se pueden ocupar en este tipo de reparaciones, conjuntamente se apoyan en la norma ASTM E-165-95, la cual está dirigida exclusivamente para tintas penetrantes y su diferentes tipos, con el uso correcto que se debe dar a este ensayo no destructivo.

4.2. Recomendaciones

- Utilizar los equipos de protección personal para lograr salvaguardar la integridad y salud del operario, además que protege en mayor medida para mantener los sentidos correctamente ante el uso de procesos de soldadura, evitando así complicaciones a futuro tales como enfermedades que afectan a la visión y a las vías respiratorias.
- El operario debe capacitarse por medio de práctica o cursos para este proceso, debido a que actúa de diferente manera que los procesos convencionales de soldadura eléctrica, por lo que es beneficioso instruirlo en esta soldadura TIG-GTAW, con esto será más fácil la detección de discontinuidades, basadas en la experiencia del soldador esto con la obtención de una noción básica de los defectos en base al código que se deja planteada en capítulos anteriores.
- Para poner en marcha al equipo es necesario conectarla a una fuente de alimentación de energía eléctrica de 220 V, para mejor estabilidad del arco y que se puede mejorar el amperaje de este equipo.

- Debido a que el material a soldar es aluminio, se obliga a quitar la capa de óxido, esto es posible mediante un removedor químico lo cual resulta costoso para el proceso planteado, o se puede aplicar una opción más sencilla, por medio del método mecánico quitando este óxido a través de un instrumento, tal es el caso de un cepillo de acero para quitar y eliminar esta molesta capa.
- Para mejorar la calidad del cordón de reparación se deben efectuar con el material de aporte limpio, ya que si el electrodo de tungsteno o el material de aporte están sucios, estos tienden a dañar la continuidad del arco y por ende se vuelve inestable generando cordones incompletos con discontinuidades.
- Utilizar una mezcla de gases tal como STARGOLD puede mejorar los resultados, adicionalmente esto vendrá acompañado de un soldador experimentado en la técnica de soldadura TIG-GTAW, esto brindará mejores características a la reparación de los cabezotes de aluminio.

MATERIAL DE REFERENCIA

Referencias bibliográficas

- [1] H. Pérez, L. Tufaro, L. Berardo, and H. Svoboda, “Comportamiento frente a la corrosión de uniones soldadas por fricción agitación de AA7075-T651: Evaluación galvánica,” *Revista Materia*, vol. 23, no. 2, p. 12, 2018.
- [2] M. Dhanesh and S. Gopi, “Study on The Mechanical Behaviour of Friction Stir Welded Aluminium Alloys 6061 With 5052,” Tamilnadu, 2017.
- [3] L. Tianfa and X. Jiayang, “Study on the Comparition of Properties between SPMIG and DPMIG Welding of AA6061 Aluminium Alloy,” 2017. doi: 10.1109/ICICTA.2017.104.
- [4] K. Anganan, J. Ganesh Murali, M. Muthu Krishnan, and K. Marimuthu, “Study of Mechanical Properties and Experimental Comparison of Mig and Friction Stir Welding Processes for aa6082-t6 Aluminium alloy,” Coimbatore, 2014.
- [5] H. Cole, S. Epstein, and J. Peace, “Particulate and gaseous emissions when welding aluminum alloys,” *J. Occup. Environ. Hyg.*, vol. 4, no. 9, pp. 678–687, 2007, doi: 10.1080/15459620701516162.
- [6] J. S. Shih, Y. F. Tzeng, and J. Bin Yang, “Principal component analysis for multiple quality characteristics optimization of metal inert gas welding aluminum foam plate,” *Mater. Des.*, vol. 32, no. 3, pp. 1253–1261, 2011, doi: 10.1016/j.matdes.2010.10.001.
- [7] B. Zhang, M. Garro, M. Leghissa, A. Giglio, and C. Tagliano, “Effect of dendrite arm spacing on mechanical properties of aluminum alloy cylinder heads and engine blocks,” *SAE Technical Papers*, no. 724, p. 11, 2005.
- [8] M. A. ROMERO ROMAN and E. U. TAMAYO ACOSTA, “REPARACION DE MOTOR VOLKSWAGEN AUDI MK3 DE 1.8 L,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2014.
- [9] M. M. Morales Miranda, “ANÁLISIS DE SOLDADURA EN FRÍO Y COSTURA MECÁNICA PARA FISURAS EN HIERRO FUNDIDO GRIS Y

SU APLICACIÓN EN LA RECONSTRUCCIÓN DE UN BLOCK,”
Universidad Técnica de Ambato, 2018.

- [10] J. D. Pérez Salaza, “ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA SMAW CON ELECTRODO E4043 APLICADO EN LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 6005-T6 Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA JUNTA A TOPE SOLDADA DEL MARCO DE LA VENTANA DEL BUS EN CARROCERÍAS IMCE.,” Universidad Técnica de Ambato, 2015.
- [11] R. W. Toapanta Bautista, “ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA POR FRICCIÓN AGITACIÓN (FSW) Y SU INCIDENCIA SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN UNIONES DE PERFILES DE ALUMINIO,” Universidad Técnica de Ambato, 2015.
- [12] F. E. Hidalgo Ortiz, “ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DEL AMPERAJE AL REALIZAR SOLDADURAS A TOPE MEDIANTE PROCESO GMAW APLICADO A LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086-H116 Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR,” Universidad Técnica de Ambato, 2014.
- [13] S. Espín, *Ingeniería de materiales I*, Segunda Ed. Ambato, 2015.
- [14] D. R. Askeland and W. J. Wright, *Ciencia e ingeniería de materiales*, Séptima Ed. Cengage Learning, 2013.
- [15] J. L. López Sangil, “Proceso electrolítico de obtención del aluminio,” p. 32.
- [16] M. L. Payno Herrera and J. Setién Marquínez, “Metalurgia de los metales no férreos,” *Metal. y Sider.*, p. 24.
- [17] ASM International, *ASM HANDBOOK-Materials Characterization*, Décima Edi. ASM International, 2019.
- [18] J. R. D. D. JR, *Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys*. A S M International, 1999.
- [19] V. H. Sánchez Taco, ““Determinacion De La Metodologia Para La Obtencion De Aleaciones De Aluminio De Fundicion Maquinables Sin Porosidades’.”

Escuela Politécnica Nacional, 2011.

- [20] J. Song, R. Field, A. Clarke, Y. Fu, and M. Kaufman, “ASM Vol 6 WELDING, BRAZING, AND SOLDERING,” *Acta Mater.*, vol. 165, pp. 362–372, 2019.
- [21] M. Pastor, *Introducción a la Metalurgia de la Soldadura*, Segunda Ed. Chimborazo: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2004.
- [22] “La Soldadura La soldadura se define como la unión localizada de dos piezas de metal conseguida mediante la aplicación de calor,” 2015.
<https://slideplayer.es/slide/12986865/>.
- [23] S. Leobardo Arriaga and L. G. Zarate Ordoño, *Procesos de Soldadura*, Primera. México, DF: Instituto Politécnico Nacional, 2008.
- [24] S. A. Cultural, *Mecánica de Taller*. Madrid: INMAGRAG, S.L., 1998.
- [25] C. E. Flores, “Soldadura al Arco Eléctrico SMAW,” no. 08, p. 12, 2009.
- [26] Infra, “Manual de Electrodo para Soldar,” *Electrodos Infra*, vol. 39, no. 5, p. 25, 2008, [Online]. Available:
http://www.electrodosinfra.com.mx/pdf/manual_general/manual_general.pdf.
- [27] Bonnet Suministros y Maquinarias S.A., “Soldaduras y abrasivos Aluminio,” p. 3, [Online]. Available: <http://www.bonnet.es/>.
- [28] J. Cueto, *Manual de soldadura TIG*, Primera. Cano Pina, 2014.
- [29] G. Hernández, “Manual del Soldador Soldadura con Gas de Protección, Oxígeno y Corte por Plasma,” *Asoc. Española Sold. y Tecnol. Unión*, p. 658, 2007.
- [30] K. Weman, *Welding Processes Handbook*, Second Ed. Elsevier Science & Technology, 2011.
- [31] Indura, “Manual de gases/ Soluciones tecnológicas con gases y soldaduras para un mundo de procesos,” p. 50, 2015, [Online]. Available:
<http://www.indura.net/content/storage/ec/biblioteca/115c34ca0e684d41b098c9fbbc861cac.pdf>.

- [32] Suministros Industriales, “El gas de protección adecuado para cada procedimiento de soldadura.” Linde, p. 26, 2015.
- [33] L. Cano García, *Manual de seguridad para soldadura*. Cano Pina, 2014.
- [34] Indura, “Medidas de seguridad personal para soldar,” no. 5934, pp. 1–2, 2014, [Online]. Available: http://www.indura.net/_file/file_1774_af_seg_re.pdf.
- [35] O. H. Rodríguez Pérez, *Metalurgia de la soldadura*. La Habana: Editorial Universitaria, 2013.
- [36] A.W.S., “AWS A3.0,” 2020.
- [37] J. Gilbert Kaufman and J. . Kaufman, *Introduction to Aluminum Alloys and Tempers*, Frist Edit. Columbus, Ohio: ASM International, 2000.
- [38] J. R. Martínez Sánchez, “DESGASTE DE LAS HERRAMIENTAS EN EL PROCESO DE RECTIFICADO PLANO SOBRE CABEZOTES DE ALUMINIO MEDIANTE EL USO DE TALADRINA, PARA LA OPTIMIZACIÓN DE HERRAMIENTAS EN LA EMPRESA RECTIFICADORA DE MOTORES FIALLOS,” Universidad Técnica de Ambato, 2019.
- [39] M. I. ThyssenKrupp, “Inoxidables y Aluminio Aceros inoxidables ferríticos , martensíticos y endurecidos por precipitación Aluminio,” *ThyssenKrupp*, p. 28906, 2018, [Online]. Available: www.thyssenkruppmaterials-iberica.es.
- [40] C. Pneumatic, “VEHICLE SERVICE (HERRAMIENTAS Y EQUIPOS DE TALLER),” p. 164, 2015.
- [41] reedmfgo, “PRENSAS,” p. 6, 2019.
- [42] WEIKON, “Detector de Grietas - Limpiador,” 2020.
- [43] WEIKON, “Detector de Grietas - Penetrante,” 2020.
- [44] WEIKON, “Detector de Grietas - Revelador,” 2020.
- [45] M. Abrego, S. Molinos, and P. Ruiz, “Equipos de Protección Personal,” *ACHS*, vol. 73, no. 1, pp. 1–14, 2010.
- [46] A. W. S. (AWS) D. C. on S. Welding, “AWS Structural Welding Code -

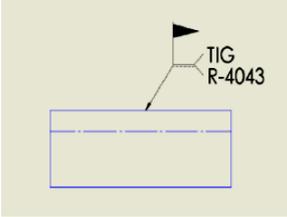
Aluminum.” *Am. Weld. Soc.*, vol. Sixth Edit, p. 232, 2008.

- [47] A.S.T.M., “ASTM E-165-95, Método de prueba estándar para el examen de líquido penetrante,” *ASTM*, p. 12, 2017.
- [48] A.S.T.M., “ASTM E-10 Dureza,” *A.S.T.M.*, 2010.
- [49] Empresaslary, “Proceso TIG,” p. 10, 2015.
- [50] EWM AG, “Welding Dictionary,” *Ewm Ag*, p. 132, 2015.
- [51] Harris, “Alloy 4043 (TIG).”
<https://www.harrisproductsgroup.com/es/Products/Alloys/Welding/Aluminum-Alloy/Alloy-4043-TIG.aspx> (accessed Dec. 22, 2020).

ANEXOS

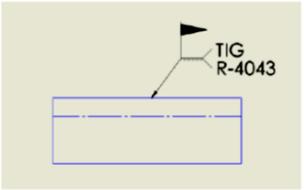
ANEXO 1

WPS de reparación de cabezotes

QW-482 Welding Procedure Specification (WPS) QW-482 Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS)	
By: (Por) <u>Fernando Cornejo</u>	
WPS No. <u>01</u>	Date <u>20/02/21</u>
Rev. <u>18/04/21</u>	Date <u>19/04/21</u>
Supporting PQR No.(s) <u>01</u>	Date <u>04/02/21</u>
Welding Process(es) <u>TIG/GTAW</u>	
Type (s) _____	
JOINTS (QW-402) JUNTAS	Details Detalles
Joint Design <u>Reparación</u> Diseño de Juntas Root Spacing <u>Reparación</u> Abertura de raíz Backing (Respaldo) <input type="checkbox"/> Yes (Si) <input checked="" type="checkbox"/> No Retainers (Retenedores) <input type="checkbox"/> Yes (Si) <input checked="" type="checkbox"/> No Backing Material (Type) <u>Ninguno</u> Material de Respaldo (Tipo) Metal (Metálico) <input checked="" type="checkbox"/> Non-Fusing Metal (Metal no fundible) <input type="checkbox"/> Non-Metallic (No metálico) <input type="checkbox"/> Other (Otro) _____	
BASE METALS (QW-403) METAL BASE	
P-No. <u>Aluminio</u> Group No. _____	P-No. _____ Group No. _____
Specification and type/grade <u>A-356</u>	Specification and type/grade _____
Chem. Analysis and Mech. Prop. <u>T6</u>	Chem. Analysis and Mech. Prop. _____
Base Metal Thickness Range : Rango de Espesor del Metal Base	
Groove <u>Ninguno</u>	Fillet <u>Ninguno</u>
Maximum Pass Thickness $\leq \frac{1}{2}$ " <input type="checkbox"/> Yes (Si) <input type="checkbox"/> No	
Other (Otro) <u>Variable</u>	
FILLER METALS QW-404 METAL DE APORTE	1
Spec. No. (AWS) [No. de Especificación (AWS)]	AWS A5.10
AWS No. (Class) (Clasificación AWS No.)	R4043
F-No. (No. F)	
A-No. (No. A)	
Size of Filler Metals (Tamaño del metal de aporte)	2.38 mm
Filler Metal Product Form (Forma del producto del metal de aporte)	
Supplemental Filler Metal (Metal de aporte suplementario)	
Weld Metal Thickness Range: Groove (Ranura)	
(Rango de esp. del metal de soldadura) Fillet (Filete)	
Consumable Insert (Inserto consumible)	
Alloy Flux (aleación del Fundente)	
Alloy elements (Elementos aleantes)	
Flux Type (Tipo de fundente)	
Electrode - Flux (class) (Clasificación Electrodo – fundente)	
Flux trade name (Nombre commercial del fundente)	
Recrushed slag (Fundente reciclado)	
	2

ANEXO 2

PQR de reparación de cabezotes

		QW-483 Procedure Qualification Records (PQR) QW-483 Registro de la Calificación del Procedimiento (PQR)																																																													
PQR No. <u>01</u>		Date <u>12/02/2021</u>																																																													
WPS No. <u>01</u>		Fecha																																																													
Welding Process(es) <u>Soldadura TIG</u>		Type (s)																																																													
Proceso(s) de Soldadura		Tipo (s)																																																													
JOINTS (QW-402) Diseño 		POSITION (QW-405) Posición Position of groove <u>Reparación</u> Posición de la ranura Progression <input type="checkbox"/> Up <input type="checkbox"/> Down Progresión Ascendente Descendente Other (Otro) <u>Plana</u>																																																													
BASE METALS (QW-403) METAL BASE Material Spec. <u>Aluminio A-356</u> To _____ Esp. del Material Type / Grade <u>T6</u> To _____ Tipo / Grado		PREHEAT (QW-406) PRECALENTAMIENTO Preheat Temperature _____ Temperatura de Pre calentamiento Interpass Temperature _____ Temperatura entre pasos Preheat Maintenance _____ Mantenimiento del pre calentamiento																																																													
P-No. _____ Group No. _____ To P-No. _____ Group No. _____ No. P Grupo No. a No. P Grupo No. Diameter of test coupon _____ Diámetro de cupón de prueba Thickness of test coupon _____ To _____ Espesor de cupón de prueba a Maximum Pass Thickness <u>Variable</u> Espesor máximo por paso Other (Otro) _____		POST WELD HEAT TREATMENT (QW-407) TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA Temperature _____ Temperatura Time Range _____ Rango de Temperatura																																																													
FILLER METALS (QW-404) METAL DE APORTE <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="width:50%;">1</th> <th style="width:50%;">2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Spec. No. (SFA) No. de Esp. (SFA)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>AWS No. (Class) Clasif. AWS No.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F-No. (No. F)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>A-No. (No. A)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Size of Filler Metal Tamaño del aporte</td> <td><u>2.38 mm</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Electrode-Flux (Class) Clasif. Electrodo-Fundente</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flux Type (Tipo de fundente)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Filler Metal Product Form Forma del metal de aporte</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Supplemental Filler Metal Aporte suplementario</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weld Metal Thickness Esp. de soldadura depositado</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Alloy elements Elementos aleantes</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Alloy Flux (Aleación de flux)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Recrushed slag (flux reciclado)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Filler (Metal de Aporte)</td> <td><u>R4043</u></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			1	2	Spec. No. (SFA) No. de Esp. (SFA)			AWS No. (Class) Clasif. AWS No.			F-No. (No. F)			A-No. (No. A)			Size of Filler Metal Tamaño del aporte	<u>2.38 mm</u>		Electrode-Flux (Class) Clasif. Electrodo-Fundente			Flux Type (Tipo de fundente)			Filler Metal Product Form Forma del metal de aporte			Supplemental Filler Metal Aporte suplementario			Weld Metal Thickness Esp. de soldadura depositado			Alloy elements Elementos aleantes			Alloy Flux (Aleación de flux)			Recrushed slag (flux reciclado)			Filler (Metal de Aporte)	<u>R4043</u>		GAS (QW-408) <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Percent Composition (Porcentaje de Composición)</th> </tr> <tr> <th>Gas(s) Gas (es)</th> <th>Mixture Mezcla</th> <th>Flow Rate Rango de Flujo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><u>Argón</u></td> <td></td> <td><u>5 litros/minuto</u></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Percent Composition (Porcentaje de Composición)			Gas(s) Gas (es)	Mixture Mezcla	Flow Rate Rango de Flujo	<u>Argón</u>		<u>5 litros/minuto</u>						
	1	2																																																													
Spec. No. (SFA) No. de Esp. (SFA)																																																															
AWS No. (Class) Clasif. AWS No.																																																															
F-No. (No. F)																																																															
A-No. (No. A)																																																															
Size of Filler Metal Tamaño del aporte	<u>2.38 mm</u>																																																														
Electrode-Flux (Class) Clasif. Electrodo-Fundente																																																															
Flux Type (Tipo de fundente)																																																															
Filler Metal Product Form Forma del metal de aporte																																																															
Supplemental Filler Metal Aporte suplementario																																																															
Weld Metal Thickness Esp. de soldadura depositado																																																															
Alloy elements Elementos aleantes																																																															
Alloy Flux (Aleación de flux)																																																															
Recrushed slag (flux reciclado)																																																															
Filler (Metal de Aporte)	<u>R4043</u>																																																														
Percent Composition (Porcentaje de Composición)																																																															
Gas(s) Gas (es)	Mixture Mezcla	Flow Rate Rango de Flujo																																																													
<u>Argón</u>		<u>5 litros/minuto</u>																																																													
SHIELDING Protection Trailing Arrastre Backing Respaldo		TECHNIQUE (QW-410) TECNICA Multipass or Single Pass (per side) _____ Paso múltiple o sencillo (por lado) String or Weave Bead _____ Cordón recto u oscilado Single or multiple electrode _____ Electrodo simple o múltiple Use of thermal process _____ Uso de procesos térmicos Closed to out chamber _____ Cámara cerrada Oscillation _____ Oscilación Other _____ Otro																																																													

Other (Otro)											PQR No.	
ELECTRICAL CHARACTERISTICS QW-409 CARACTERISTICAS ELECTRICAS												
Weld Pass(es) Pasos de Soldadura	Process Proceso	Transfer Mode GMAW (FCAW) Modo de Transf. GMAW (FCAW)	Current Corriente	Polarity Polaridad	Amps Amperaje	Volts Voltaje	Travel Speed Velocidad de Avance	Energy or Power Energia o Poder	Heat Input Entrada de calor	Tungsten electrode size & type tungsteno tamaño y tipo	Other Otro	
1	TIG	---	AC	DCEN	127	----	----	----	5-10 cm/min	2.38mm Tungsteno puro		
TENSILE TEST (QW-150) PRUEBA DE TENSION												
Specimen No. Especimen No.	Width, in Ancho, pulg.	Thickness, in Espesor, pulg.	Area, in ² Area, pulg. ²	Ultimate Total Load, lb Carga máx. de ruptura, lb.	Ultimate Unit Stress, psi Esfuerzo max. de ruptura	Type of failure & Location Tipo de falla & localización						
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA						
GUIDED BEND TESTS (QW-160) PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO												
Specimen No. Especimen No.	Type and Figure No. Tipo y No. de figura					Result Resultado						
NA	NA					NA						
TOUGHNESS TESTS (QW-170) PRUEBAS DE TENACIDAD												
Specimen No. Especimen No.	Notch Location Localización de la muesca	Specimen Size Tamaño del Especimen	Test Temperature Prueba de Temperatura	Impact Values Valores de la prueba de impacto			Drop Weight Break (Y/N) Peso de ruptura (Y/N)					
				Ft-lb (J)	% Shear % Cizallado	Mils						
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA					
Comments:												
FILLET WELD TEST (QW-180) PRUEBA DE SOLDADURA DE FILETE												
Result Resultado	Satisfactory Satisfactorio	X Yes Si	<input type="checkbox"/> No No	Penetration into Parental Metal Penetración en el Metal Base				<input type="checkbox"/> Yes Si	<input type="checkbox"/> No No			
Macro Results Resultados de prueba Macro												
OTHER TESTS OTRAS PRUEBAS												
Type of Test Tipo de Prueba												
Deposit Analysis Análisis del Deposito												
Other (Otro)												
Welders Name Nombre del Soldador												
Clock No. No. Tarjeta												
Stamp No. Estampa No.												
Test Conducted by Prueba conducida por												
Laboratory Test No. Prueba de Laboratorio No.												
We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE. Nosotros certificamos que lo contenido en este registro es correcto y que las probetas de soldadura fueron preparadas, soldadas y Probadas de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME.												

ANEXO 3

WPQ de reparación de cabezotes

QW-484A Welder's Performance Qualification Record (WPQ) QW-484A Registro de Calificación de la Habilidad del Soldador																																																																									
Identification No. 01 Identificación del Soldador																																																																									
Identification of WPS followed Identificación del EPS usado	Mascara de soldar, Guantes, Mandil, Tapones auditivos, Delantal de cuero, botas de cuero. Soldadura en producción																																																																								
Specification and type/grade or UNS number of base metal(s) Especificación y tipo/grado o numero UNS del metal base	Aluminio A To 356-T6 a Thickness N/A Espesor																																																																								
Testing Variables and Qualifications Limits Variables de Prueba y Limites de Calificación																																																																									
Welding Variables (QW-350) Variables de Soldadura	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Process No. 1 Proceso No. 1</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Process No. 2 Proceso No. 2</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Actual Values Valores Actuales</th> <th style="text-align: center;">Range Qualified Rango Calificado</th> <th style="text-align: center;">Actual Values Valores Actuales</th> <th style="text-align: center;">Range Qualified Rango Calificado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">TIG</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Manual</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N/A</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N/A</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Aluminio A 356-T6</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N/A</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">R4043</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">sólido</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N/A</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> N</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> N</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Plana</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N/A</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Argón</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Globular</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">AC</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Process No. 1 Proceso No. 1		Process No. 2 Proceso No. 2		Actual Values Valores Actuales	Range Qualified Rango Calificado	Actual Values Valores Actuales	Range Qualified Rango Calificado	TIG				Manual				N/A				N/A				Aluminio A 356-T6				N/A								R4043				sólido				N/A	<input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> N		Plana				N/A								Argón				Globular				AC			
Process No. 1 Proceso No. 1		Process No. 2 Proceso No. 2																																																																							
Actual Values Valores Actuales	Range Qualified Rango Calificado	Actual Values Valores Actuales	Range Qualified Rango Calificado																																																																						
TIG																																																																									
Manual																																																																									
N/A																																																																									
N/A																																																																									
Aluminio A 356-T6																																																																									
N/A																																																																									
R4043																																																																									
sólido																																																																									
N/A	<input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> N																																																																							
Plana																																																																									
N/A																																																																									
Argón																																																																									
Globular																																																																									
AC																																																																									
Welding Process(es) Proceso(s) de soldadura																																																																									
Type (i.e.; manual, semi-automatic) used Tipo (eje.; manual, semiautomática) usada																																																																									
Backing (with/without) Respaldo (con/sin)																																																																									
<input checked="" type="checkbox"/> Plate <input type="checkbox"/> Pipe (enter diameter) Placa Tubo (diámetro si es tubo)																																																																									
Base Metal P- No. to P-No. Metal Base P-No a P-No.																																																																									
Filler metal or electrode specification(s) SFA (info only) Especificación del electrodo SFA (solo información)																																																																									
Filler metal or electrode classification(s) (info only) Clasificación del electrodo (solo información)																																																																									
Filler metal F-Number(s) Metal de aporte F-Numero																																																																									
Consumable insert (GTAW or PAW) Inserto consumible (GTAW o PAW)																																																																									
Filler metal product form (solid/metal or flux cored/powder) GTAW or PAW Aporte tipo (sólido/metal o núcleo de flux/polvo) GTAW o PAW																																																																									
Deposit thickness & 3 layers minimum? Y or N Espesor depositado & 3 capas mínimo? SI o NO																																																																									
Position qualified (2G, 6G, 3F, etc.) Posición calificada (2G, 6G, 3F, etc.)																																																																									
Vertical progression (uphill or downhill) Progresión Vertical (ascendente o descendente)																																																																									
Type of fuel gas (OFW) Tipo de gas consumible (OFW)																																																																									
Inert gas backing (GTAW, PAW, GMAW) Gas inerte de respaldo (GTAW, PAW, GMAW)																																																																									
Transfer mode (spray/globular to short circuit GMAW) Modo de transferencia (GMAW)																																																																									
GTAW current type/polarity (AC, DCEP, DCEN) GTAW tipo corriente/polaridad (AC, DCEP, DCEN)																																																																									

QW-484A Welder's Performance Qualification Record (WPQ)
 QW-484A Registro de Calificación de la Habilidad del Soldador

Results
 Resultados

- Visual Examination (QW-302.4)** NO Satisfactory Unsatisfactory
 Examinación Visual Satisfactorio No Satisfactorio
- Transverse root & face [QW-462.3(a)]** **Longitudinal root & face [QW-462.3(b)]** **Side [QW-462.2]**
 Raíz & cara transversal Raíz & cara longitudinal Lateral
- Pipe bend specimen, corrosion-resistant weld metal overlay [QW-462.5(c)]**
 Doble del espécimen de tubo, revestimiento para la resistencia a la corrosión
- Plate bend specimen, corrosion resistant weld metal overlay (QW-462.5(d))**
 Doble del espécimen de placa, revestimiento para la resistencia a la corrosión
- Pipe specimen, macro test for fusion [QW-462.5(b)]** **Plate specimen, macro test for fusion [QW-462.5(e)]**
 Prueba de macro por fusión en espécimen de tubo Prueba de macro por fusión en espécimen de placa

Type Tipo	Result Resultado	Type Tipo	Result Resultado	Type Tipo	Result Resultado
Experimento	Aprobado	Reparación	Aprobado		

Alternative Volumetric Examination Results (QW-191) N/A RT or UT (check one)
 Resultados de la examinación radiográfica alternativa

Film or specimens evaluated by N/A **Company** Rectificadora M.Noboa
 Espécimen o película evaluada por Compañía

Fillet welds in plate [QW-462.4(b)] **Fillet welds in pipe [QW-462.4(c)]**
 Soldadura de filete en placa Soldadura de filete en placa

Fillet weld –fracture test (QW-181.2) **Length and percent of defects**
 Prueba de fractura –soldadura de filete Largo y porcentaje de defectos

Macro examination (QW-184) **Fillet size (in)** X **Concavity/convexity (in)**
 Examinación Macro Tamaño de filete Concavidad / convexidad

Other tests _____

Mechanical Tests conducted by Ing. Sebastian Villegas **Laboratory Test No.** Universidad Técnica de Ambato
 Pruebas mecánicas conducida por No. de prueba de laboratorio

Welding supervising by Ing. Jorge López.

We certify that the statements in this record are correct and that the test coupons were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE.
 Nosotros certificamos que lo contenido en este registro es correcto y que los cupones de prueba fueron preparados, soldados y probados de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME.

Manufacturer _____
 Fabricante

Date 12/6/2021 **Certified by** Egresado Fernando Cornejo
 Fecha Certificado por

ANEXO 4. Análisis Metalográfico



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
Laboratorio - Ingeniería Mecánica



ENSAYO METALOGRAFÍA

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo No:	051
Identificación del componente de estudio:	BLOQUE DE MOTOR		
Solicitado por:	José Fernando Cornejo Herrera	Fecha:	28/04/2021
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Metalografía - FICM		

PARÁMETROS

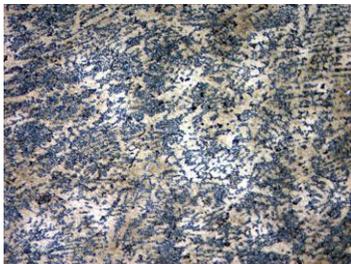
Equipo:	Microscopio Metalográfico	Marca:	RADICAL®	Modelo: RMM-1
	Temperatura Ambiente:	Magnificación:	Filtro:	Iluminación:
	17.00 ° C	50-500X	4 colores	Luz fluorescente

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

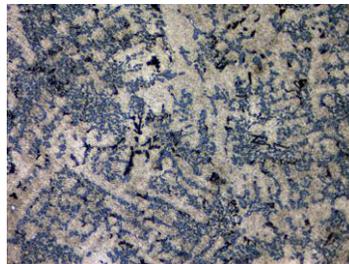
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	24 ° C	Superficie preparada en:	Lijas: 240, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500
Ataque Químico de la superficie con:	Kellers	Durante:	15 segundos

RESULTADO: CON EL ANALISIS METALOGRÁFICO SE OBTUVO UN ALUMINIO A356

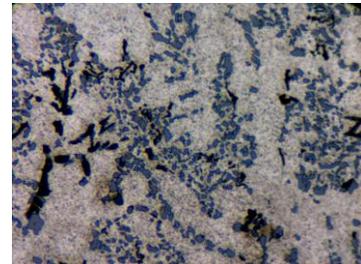
FOTOGRAFÍAS DE LA MICROESTRUCTURA



100X

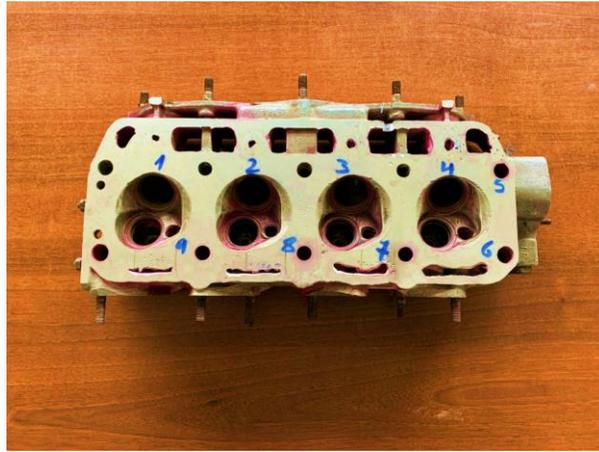


200X

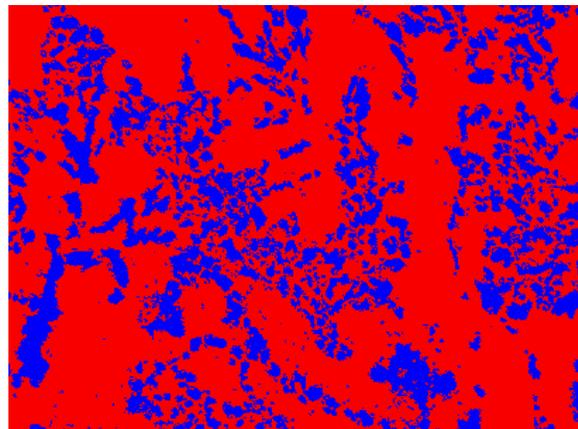


500X

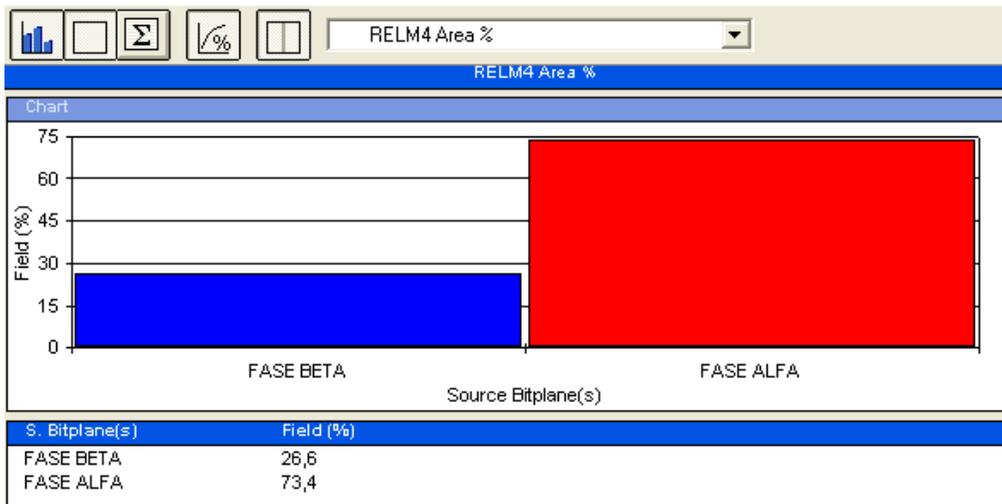
BLOQUE DE MOTOR ANALIZADO



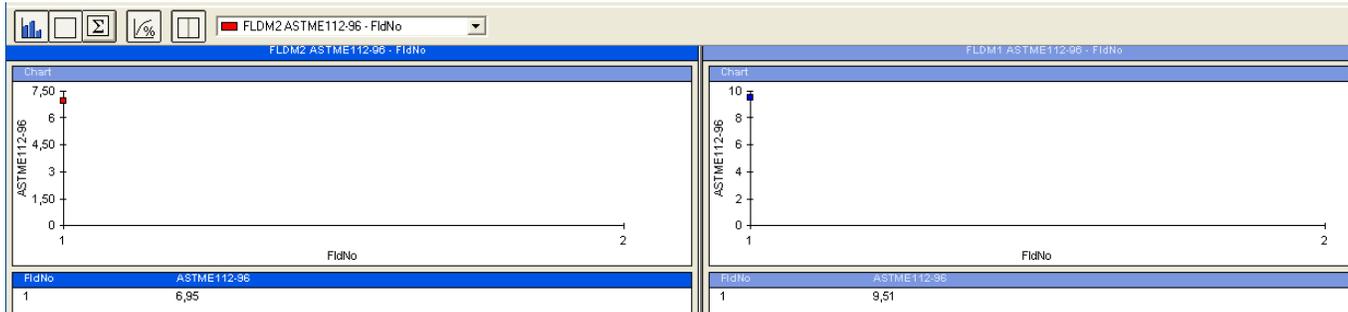
- Análisis mediante Software



- Porcentaje de las fases presentes en la microestructura



- Tamaño de grano para las distintas fases



Resultados:

En el análisis microestructural se puede identificar partículas alargadas de silicio para la probeta analizada, se observa además la presencia de Al₂Cu y Mg₂Si en la matriz α -Aluminio por lo cual, el material es caracterizado como una aleación Al-Si-Cu-Mg.

Aluminum, $\geq 99.00\%$	1xx.x
Aluminum alloys grouped by major alloying element(s): Copper	2xx.x
Silicon, with added copper and/or magnesium	3xx.x
Silicon	4xx.x
Magnesium	5xx.x
Zinc	7xx.x
Tin	8xx.x
Other elements	9xx.x
Unused series	6xx.x

El material presenta una microestructura constituida por aluminio, silicio, cobre y magnesio, según la comparación realizado del ASM Handbook, el aluminio caracterizado en la fotografía es un aluminio **A356**.

- Aleación A356 tomada del Metal Handbook.

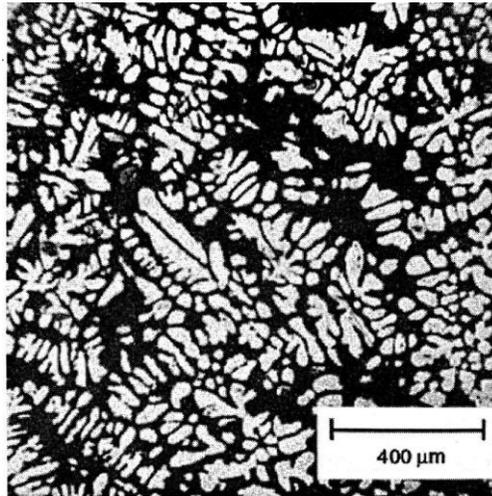


Fig. 23 Typical dendrites in an A356 alloy in a c



Firmado electrónicamente por:
**EDMUNDO SEBASTIAN
VILLEGAS SUAREZ**

REALIZADO POR:
Egdo. Christian Sánchez
LABORATORIO DE METALOGRAFÍA

SUPERVISADO POR:
Ing. Sebastián Villegas S.
TÉCNICO DE LABORATORIO

ANEXO 5. Ensayo de Dureza Brinell

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
Laboratorio – Ingeniería Mecánica

ENSAYO DUREZA

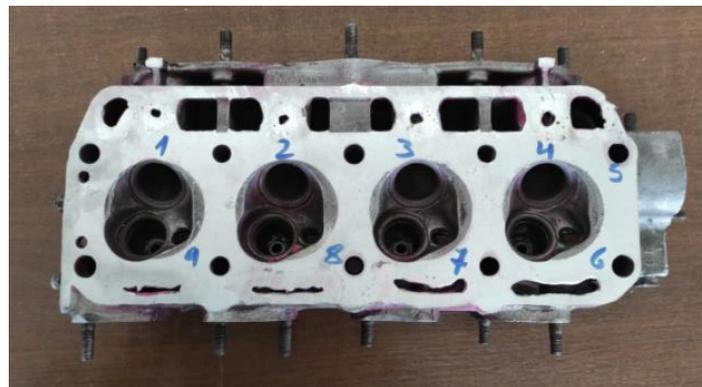
DATOS INFORMATIVOS

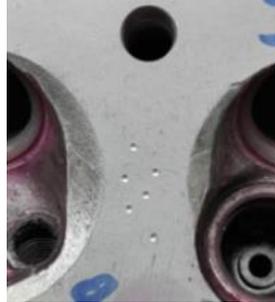
Tipo de estudio:	De laboratorio	ORDEN N °:	016
Identificación del componente de estudio:	Bock de motor		
Solicitado por:	José Fernando Cornejo Herrera	Fecha:	24/02/2021
Centro de Estudio y Análisis:	Laboratorio de Metalografía - FICM		

PARÁMETROS

Equipo:	Durómetro para Metales		
	Temperatura Ambiente:	Dureza:	Iluminación:
	18.60 ° C	BRINELL	Luz Natural

MATERIAL POR ENSAYAR:



RESULTADOS:
PUNTO GENERAL


Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	1,65	0,66	538
2	1,76	0,704	474
3	1,72	0,688	493
4	1,67	0,668	524
5	1,56	0,624	603
PROMEDIO	1,672	0,6688	526,4

PUNTO 4


Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	1,44	0,576	660
2	1,55	0,62	611
3	1,47	0,588	655
4	1,51	0,604	644
5	1,45	0,58	661
PROMEDIO	1,484	0,5936	646,2

PUNTO 7


Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	1,72	0,688	494
2	1,70	0,68	507
3	1,67	0,668	523
4	1,69	0,676	512
5	1,74	0,696	483
PROMEDIO	1,704	0,6816	503,8

PUNTO 8


Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	1,63	0,652	551
2	1,58	0,632	587
3	1,65	0,66	538
4	1,62	0,648	558
5	1,64	0,656	549
PROMEDIO	1,624	0,6496	556,6

PUNTO 9



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	1,70	0,68	507
2	1,65	0,66	538
3	1,62	0,648	558
4	1,50	0,6	653
5	1,66	0,664	532
PROMEDIO	1,626	0,6504	557,6

CONCLUSIÓN:

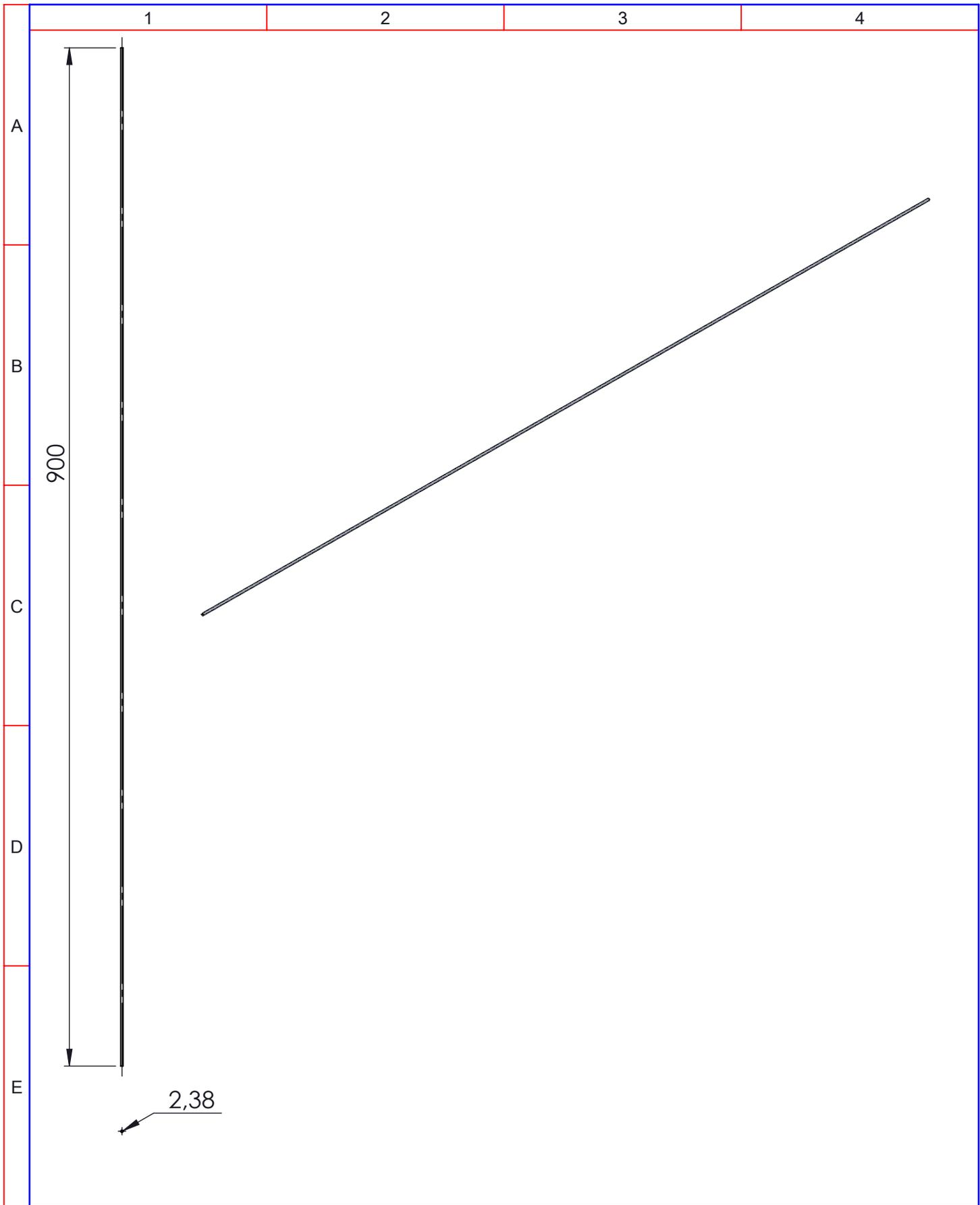
- En el punto general la medida de dureza resultante es de 526,4 HB (Brinell), con una resistencia a la tracción de 265 Kpsi.
- En el punto 4 la medida de dureza resultante es de 646,2 HB (Brinell), con una resistencia a la tracción de 278 Kpsi.
- En el punto 7 la medida de dureza resultante es de 503,8 HB (Brinell), con una resistencia a la tracción de 248 Kpsi.
- En el punto 8 la medida de dureza resultante es de 556,6 HB (Brinell), con una resistencia a la tracción de 254 Kpsi.
- En el punto 9 la medida de dureza resultante es de 557,6 HB (Brinell), con una resistencia a la tracción de 255 Kpsi.



Firmado electrónicamente por:
**EDMUNDO SEBASTIAN
VILLEGAS SUAREZ**

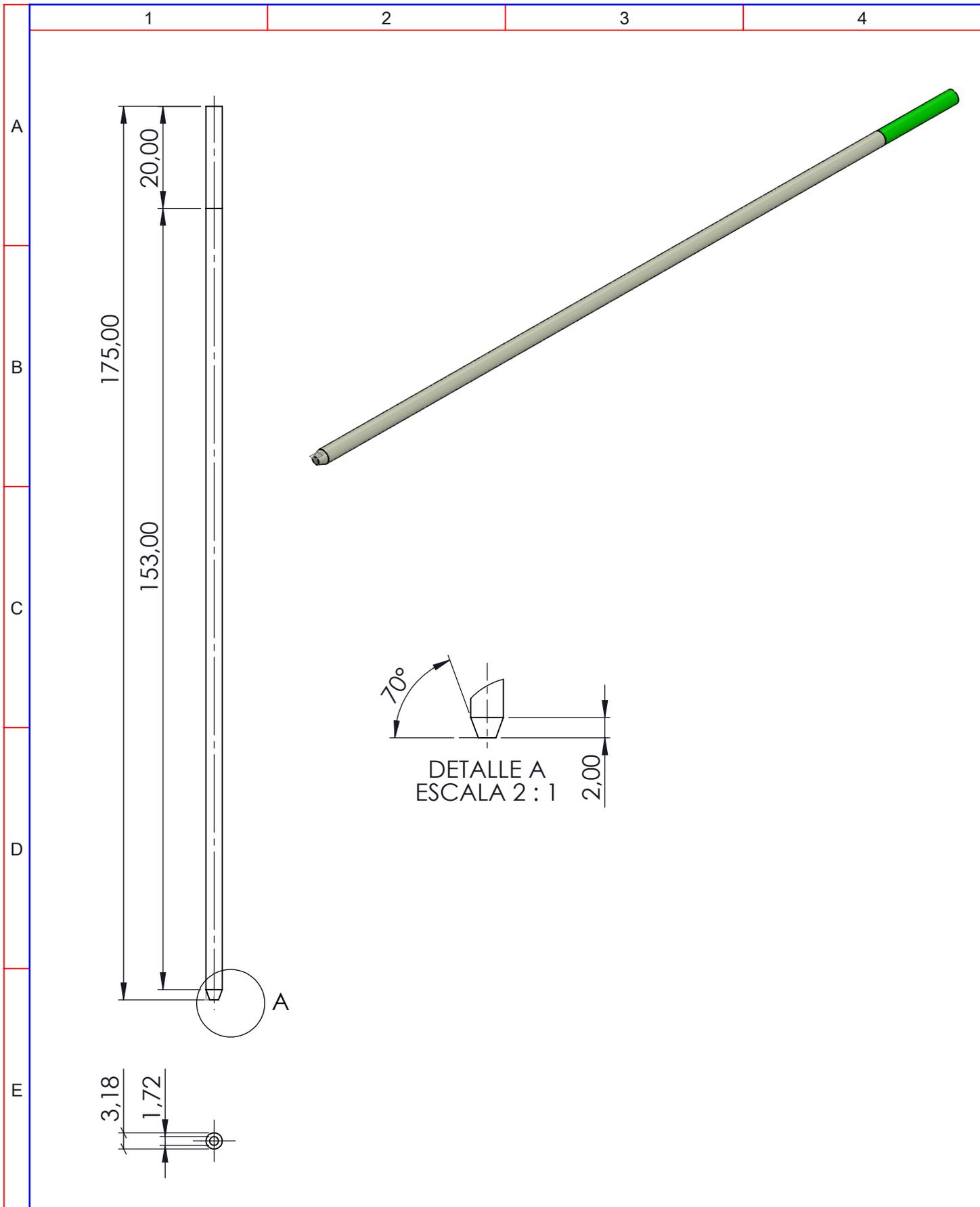
Ing. Sebastián Villegas S.
TÉCNICO DE LABORATORIO
INGENIERÍA MECÁNICA

ANEXO 6. Material de Aporte



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0	12,02 gr	Aluminio R4043	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 03/03/21	Fernando Cornejo		
				Revisó: 05/03/21	Ing. López J.		
				Aprobó: 05/03/21	Ing. López J.	Material de Aporte	1:5
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

ANEXO 7. Electrodo de Tungsteno



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0	24.26 gr	Tugsteno	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	03/03/21	Fernando Cornejo		
			Revisó:	05/03/21	Ing. López		
				Aprobó:	05/03/21	Ing. López	1:1
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	01 de 02
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

