



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

AUTORES:

Kevin Andrés Ortega Morillo
Kevin Fausto Ruiz Andrade

TUTOR:

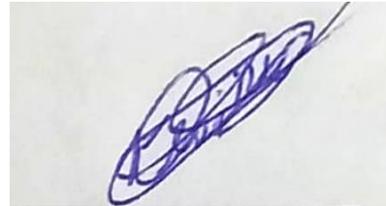
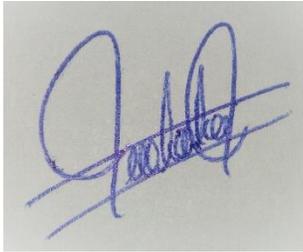
Ing. Denny Javier Guanuche Larco

Evaluación del proceso de soldadura en una culata
de motor diésel mediante ensayos de tracción,
impacto y dureza

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Kevin Andrés Ortega Morillo y Kevin Fausto Ruiz Andrade, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



KEVIN ANDRÉS ORTEGA MORILLO

KEVIN FAUSTO RUIZ ANDRADE

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Deny Guanuche, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Deny Guanuche', is written over a light blue rectangular background.

Firma profesor

Dedicatoria

De mi consideración quisiera realizar una especial dedicatoria en primer lugar a quien me ha formado quien soy hoy en día, yo se que desde donde mi abuelito se encuentre me esta protegiendo todos los días dándome las fuerzas, protección y energía para continuar luchando tal y como a el siempre se caracterizo haciendo todo de manera correcta y siempre firme en sus decisiones. También quiero dedicárselo a mi mama que es mi motivo por el cual abro los ojos con felicidad todos los días, ya que ella me ha enseñado a respetar y querer a las personas, dándome todo lo necesario y luchando por mi tanto como yo por ella. Como no dedicárselo a mi papa el cual nunca ha permitido que me falte ni una sola cosa que necesite sin importar lo que sea dándomelo para que nunca me estanque y apoyándome hasta el final, dándome consejos y enseñándome a no rendirme, siempre diciéndome lo que debo hacer para ser aun mejor. Y finalmente como no dedicárselo a toda mi familia la cual han estado pendientes de mi dándome todos los días el apoyo necesario para que yo me sienta respaldado en lo que hago, guiándome de manera correcta, enseñándome a respetar a todo el mundo, sin menospreciar a nadie siendo un apoyo para cualquier persona sin importar su pasado. A todos muchas gracias por hacerme hoy el señor el cual siempre quise ser, siempre pienso que mi vida es perfecta en la cual nunca he sufrido ningún inconveniente gracias al esfuerzo y al trabajo.

Kevin Ruiz

Para mi este trabajo final de grado no es mas que el fruto del esfuerzo y trabajo constantes, no solo mio, si no que también de los seres mas importantes que he tenido y tendre en mi vida, dedico de todo corazón este trabajo a mi padre y a mi madre que se han esforzado todos los días por mi hermana y por mi, que han desafiado muchos obstáculos, que arrancaron desde cero sin una gran fortuna pero ahora han sido capaces de darnos una profesión y un buen hogar. Le dedico este trabajo también a la memoria de mis 2 abuelitos que en paz descansen que siempre fueron amorosos y lograron junto con mis padres a darme buenos valores y recuerdos y por ultimo a mi tio que tras su partida en la pandemia dejo un gran dolor en nuestra familia, con este trabajo quiero demostrarle que su sobrino puede llegar muy lejos y ser un gran profesional.

Kevin Ortega

Agradecimiento

En primer lugar quisiera agradecer a todos los que me han ayudado a llegar hasta este día, a todos los compañeros que formaron parte del proceso de la universidad, debido a que muchas de ellos fueron una compañía necesaria para seguir escalando paso a paso la carrera universitaria.

Un agradecimiento especial al Ing. Denny Guanuche el cual ha sido maestro la mayor parte de toda mi carrera universitaria guiándome y enseñando la forma correcta de realizar los trabajos de manera profesional.

Y finalmente a todos los profesores que me brindaron sus conocimientos y manera de pensar para analizar desde otras perspectivas, por sus diferentes maneras de pensar de muchos de exigirnos lo máximo posible para que sea el mejor profesional posible.

Kevin Ruiz

Quiero agradecer por todos los conocimientos y experiencias adquiridas a la Universidad Internacional del Ecuador y al instituto INSTA del cual me gradúe como tecnólogo en mecánica automotriz, gracias al convenio de estas dos grandes instituciones he conocido a grandes maestros especialmente al Ing. Edgar Cajas que es un gran profesor que a mis compañeros y a mí nos ha demostrado que cuando alguien tiene pasión por la enseñanza, el conocimiento se puede transmitir con mayor eficacia a los alumnos.

Kevin Ortega

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen	1
Introducción.....	3
Marco Teórico	5
Materiales y Métodos	9
Metodología.....	9
Resultados y Discusión.....	17
Conclusiones.....	24
Referencias	26

ANÁLISIS COMPARATIVO DE TEMPERATURA Y COMPRESIÓN EN CABEZOTES RECTIFICADOS VS ESTÁNDAR PERTENECIENTES A MOTORES DIESEL

Ing. Denny Guanuche L. MSc¹, Kevin Ortega M.³, Kevin Ruiz A.⁴

¹ *Universidad Internacional del Ecuador, Docente, Coordinador prácticas comunitarias de la Escuela de Ingeniería Automotriz, deguanuchela@uide.edu.ec, Quito – Ecuador*

² *Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, keortegamo@uide.edu.ec, Quito - Ecuador*

³ *Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, keruizan@uide.edu.ec, Quito – Ecuador*

Resumen

Introducción: La presente investigación aborda el problema del agrietamiento en cabezotes de aluminio en motores diésel, un fenómeno comúnmente causado por sobrecalentamiento y fallos en el sistema de refrigeración y mantenimiento. **Objetivos:** se propone analizar la viabilidad de reparar estos agrietamientos mediante soldadura, evaluando la efectividad del método a través de ensayos destructivos de impacto, dureza y tracción. **Metodología:** La metodología emplea un enfoque cuantitativo, realizando ensayos en probetas preparadas según la normativa ASTM A370 y comparando los resultados de probetas soldadas con las no soldadas. **Resultados:** Los resultados indican una disminución en la resistencia mecánica en probetas soldadas, con una diferencia porcentual del 23,08% en la carga última y del 18,41% en el esfuerzo último, aunque se observó un aumento en el alargamiento del 10,53%, sugiriendo una mayor ductilidad. El ensayo de impacto mostró una mayor absorción de energía en las probetas soldadas, duplicando la resistencia al impacto comparada con las probetas estándar. En cuanto a la dureza, se utilizó la prueba de microdureza Vickers, encontrando que la probeta estándar presentó un promedio de 71,34 HV, mientras que las probetas soldadas presentaron promedios de 79,86 HV y 86,75 HV, respectivamente. **Conclusión:** Estas conclusiones sugieren que, aunque la soldadura compromete la resistencia, mejora la ductilidad y la capacidad de absorción de energía, lo que podría ser beneficioso en aplicaciones específicas. Se recomienda optimizar los parámetros del proceso de soldadura para equilibrar estas propiedades y considerar el impacto en la dureza del material.

Palabras clave: Agrietamiento, culata o cabezote de motor, soldadura, ensayos destructivos, normativa ASTM A370.

Abstract

Introduction: This research addresses the issue of cracking in aluminum cylinder heads in diesel engines, a phenomenon commonly caused by overheating and failures in the cooling and maintenance systems. **Objectives:** The study aims to analyze the feasibility of repairing these cracks through welding, evaluating the effectiveness of the method using destructive impact, hardness, and tensile tests. **Methodology:** The methodology employs a quantitative approach, conducting tests on specimens prepared according to ASTM A370 standards and comparing the results of welded and non-welded specimens. **Results:** The results indicate a decrease in mechanical strength in welded specimens, with a percentage difference of 23.08% in ultimate load and 18.41% in ultimate stress, although there was a 10.53% increase in elongation, suggesting greater ductility. The impact test showed higher energy absorption in welded specimens, doubling the impact resistance compared to standard specimens. Regarding hardness, the Vickers microhardness test was used, finding that the standard specimen had an average of 71.34 HV, while the welded specimens had averages of 79.86 HV and 86.75 HV, respectively. **Conclusion:** These conclusions suggest that although welding compromises strength, it improves ductility and energy absorption capacity, which could be beneficial in specific applications. It is recommended to optimize the welding process parameters to balance these properties and consider the impact on the material's hardness.

Keywords: Cracking, engine cylinder head, welding, destructive testing, ASTM A370 regulations.

Introducción

Uno de los fallos más comunes en los motores de combustión interna, es el sobrecalentamiento que en muchos casos se da por fallos del sistema de refrigeración, lubricación, inyección, sistemas eléctricos e incluso falta de mantenimiento. (FIATC, 2023). Como resultado se pueden generar distintos problemas como son el agrietamiento, pandeamiento y roturas del cabezote o culata el cual es una pieza fundamental en el conjunto del motor de un automóvil, ya que alberga en su interior, tanto las válvulas de admisión y escape como las cámaras de combustión, siendo así un componente vital para el correcto desarrollo de la combustión del combustible y la evacuación de los gases de escape. (Autolab , 2024)

Como objetivo principal, se plantea determinar la resistencia mecánica de la soldadura mediante ensayos de tracción, evaluar la dureza y la tenacidad de la soldadura mediante ensayos de dureza e impacto Charpy, y comparar los resultados de las probetas soldadas con las no soldadas para establecer la efectividad de la soldadura.

Como objetivos específicos, se plantea realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos para identificar diferencias significativas entre las probetas soldadas y no soldadas. Y evaluar la viabilidad de la soldadura como método de reparación para culatas de motor diésel en términos de su resistencia.

Los fabricantes de cabezotes determinan que en caso de que se generen grietas, estas no pueden ser reparadas y es mejor adquirir un cabezote nuevo, lo cual dentro del punto de vista económico no es viable.

Por otra parte en una entrevista realizada a expertos en rectificación de motores (Catagña, 2024) se determino que el agrietamiento y las roturas en los cabezotes, tienen bajas probabilidades de reparación ya que la soldadura estándar no suele soportar la presión y temperatura generada en el cabezote.

En la investigación de (Ashouri & Beheshti, 2016) se determinó mediante un análisis termomecánico que dicho agrietamiento en cabezotes de motor diésel se suele dar con mayor frecuencia en la zona del puente de válvulas (zona entre la válvula de admisión y escape) debido a que en ese lugar en específico se alcanza la máxima tensión y

temperatura, además de que el cabezote se somete a cargas cíclicas de tensión y compresión que terminan generando grietas con el pasar del tiempo.

En el caso de los cabezotes hechos con aluminio, su soldadura presenta varios obstáculos como el óxido de aluminio que tiene un punto de fusión de 2030°C a comparación del aluminio que es de 660°C lo que impide la correcta generación de un adecuado cordón de soldadura, otro problema se da debido a que el aluminio a comparación de otros metales, tiende a generarse grietas o deformaciones al soldarse ya que posee un mayor coeficiente de expansión térmica (Song, Field, Clarke, Fu, & Kaufman, 2019)

Debido a estos inconvenientes en la soldadura y a el aspecto económico, se plantea analizar un método adecuado para resolver el problema del agrietamiento en un cabezote de aluminio mediante ensayos de impacto, dureza y tracción, que aporten datos importantes para determinar que el método de soldadura es efectivo y podrá soportar las cargas de presión que se ejercen en un cabezote.

En el estudio realizado por (Cornejo, 2021) se recomienda utilizar una soldadura tipo TIG o MIG, ideal para la unión de ciertas aleaciones de aluminio, sin embargo también existen la soldadura tipo SMAW la cual es muy utilizada en el campo de reparación de motores, posteriormente a la soldadura del cabezote se recomienda rectificar, procedimiento el cual consiste en desbastar en cierta medida y bajo la tolerancia adecuada, la superficie inferior del cabezote para volver a obtener la planicidad deseada (Novillo, 2011) y para eliminar el cordón de soldadura excedente.

Para los ensayos destructivos se realizarán varias probetas bajo la normativa ASTM A370, se compararan los datos obtenidos en los ensayos entre 2 probetas soldadas y 2 probeta no soldadas o en condición estándar, con el fin de determinar si el método de soldadura es adecuado para soportar las cargas a las que se suele someter un cabezote.

Marco Teórico

Antecedentes

La invención del motor diésel se remonta al año 1883, obra del ingeniero Rudolph Diesel, de quien toma su nombre. Diesel, siendo ya un investigador en motores y vehículos de carga, llevaba años buscando un método altamente eficiente para los combustibles. (Diesel García Importadora, 2023). Tras varias décadas se crearon motores diésel más eficientes y de menor tamaño que ha comparación de los motores a gasolina son más eficientes (teniendo una eficiencia del 45% los motores diésel vs 40% los de gasolina) debido a su mayor relación de compresión (17:1 hasta 20:1 en diésel vs 10:1 en gasolina) y menor consumo de carburante, lo que se traduce en un ahorro de combustible a lo largo del tiempo y los hace ideales para largas distancias. Además, los motores diésel suelen tener un mejor par motor, lo que es beneficioso para remolcar objetos pesados o recorrer terrenos accidentados. Gracias a su sistema más eficiente, los motores diésel tienden a tener una vida útil más larga que los de gasolina. (Renting Finders, 2024)

Aspecto Económico

Según la encuesta realizada en la rectificadora de motores (Catagña, 2024), en motores diésel se tiene un gran inconveniente, que es su alto costo en repuestos lo que hace difícil su reparación para el cliente, con respecto a las culatas se tiene como ejemplo a el cabezote de la camioneta Mazda Bt-50 diésel que su precio ronda entre los \$650,00 hasta los \$700,00 por lo que representa una gran inversión, en comparativa se tiene que un proceso de soldadura tiene un coste de hasta los \$200,00 dependiendo el grado de daño que tiene la culata y si esta puede ser reparable. En comparativa con los km recorridos, una culata reparada puede durar hasta 150 000 km o más, dependiendo si la reparación fue realizada correctamente, a diferencia de una culata nueva que suele tener una vida útil cercana a los 300 000 km.

Inconvenientes en la soldadura del aluminio

La soldadura de cabezotes de motor diésel hechas de aluminio presentan varios desafíos técnicos que afectan la calidad y durabilidad de la unión, tales como la porosidad, grietas por calor, distorsión, oxidación, falta de penetración e inclusiones de óxidos. Estos

problemas pueden resultar en un desempeño subóptimo del motor y fallas prematuras.

(Miller Electric Mfg. LLC, 2020)

Tipos de soldadura para aluminio

Según (Gf, 2023) existen diversos métodos para soldar aluminio, cada uno utilizando diferentes técnicas para generar el calor o la presión necesarios para unir las piezas. Los principales tipos incluyen la soldadura por arco eléctrico, por resistencia y por estado sólido. **La soldadura por arco eléctrico** de aluminio emplea una corriente eléctrica para crear un arco entre un electrodo y las piezas a unir, generando el calor necesario para fundir tanto el metal base como el metal de aporte. Este proceso puede llevarse a cabo con o sin gas protector. Entre las variantes más comunes se encuentran la soldadura TIG (Tungsten Inert Gas) y la soldadura MIG (Metal Inert Gas). La soldadura TIG utiliza un electrodo de tungsteno no consumible y un gas inerte, como argón o helio, proporcionando gran precisión y produciendo soldaduras de alta calidad y limpieza, ideal para espesores finos a medios. Por otro lado, la soldadura MIG utiliza un electrodo de alambre continuo y gas inerte, permitiendo una alta velocidad y productividad, adecuada para espesores medios a gruesos y geometrías simples. La soldadura por resistencia en aluminio genera calor mediante la resistencia eléctrica de las piezas a unir. Los electrodos aplican presión y calor, provocando la deformación plástica y la fusión parcial de las piezas sin necesidad de metal de aporte ni gas protector. Los métodos más comunes incluyen la soldadura por puntos y por costura. La soldadura por puntos usa electrodos circulares para aplicar calor y presión en áreas localizadas, adecuada para espesores finos a medios y piezas planas o ligeramente curvas. La soldadura por costura utiliza electrodos cilíndricos o en forma de rueda para crear uniones continuas y herméticas, ideal para espesores finos a medios y piezas tubulares o cilíndricas. La soldadura por estado sólido de aluminio no implica la fusión del metal base ni del metal de aporte, sino que se basa en la deformación plástica y la difusión atómica entre las superficies de las piezas a unir. Entre los métodos más comunes se encuentran la soldadura por fricción y por ultrasonidos. La soldadura por fricción genera calor a través de la fricción entre las piezas, ablandándolas y mezclándolas, adecuada para espesores medios a gruesos y geometrías complejas. La soldadura por ultrasonidos utiliza vibraciones mecánicas de alta frecuencia para generar calor y presión, ideal para unir

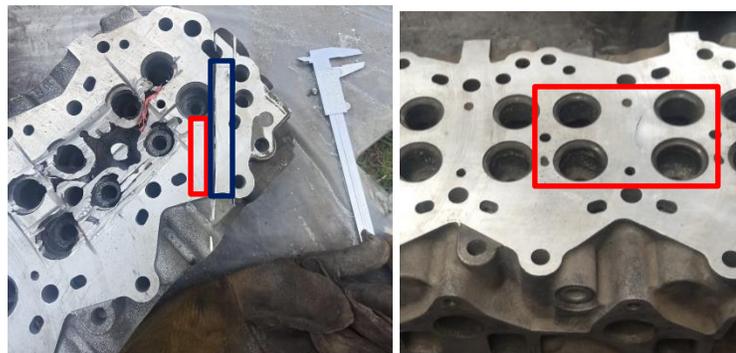
metales finos o láminas y piezas planas o ligeramente curvas, produciendo uniones rápidas y limpias.

Obtención de las probetas

Para la obtención de las probetas de impacto, tracción y dureza, se cortó la culata seleccionando zonas específicas para la extracción de las probetas (ver figura 1) . Una de estas zonas, que tenía una grieta, se usó para extraer una probeta para el ensayo de tracción, siguiendo un método de reparación común. La grieta se perforó hasta eliminar completamente el agrietamiento y luego se limpió la zona con un taladro neumático para remover el óxido de aluminio. La máquina de soldadura se preparó conectándola a 220V y se seleccionó un amperaje de 90 amperios para un grosor de 1 cm del cabezote, amperaje recomendado por la ficha técnica del electrodo AWS 2201 E-4043, utilizado en esta soldadura debido a su economía, practicidad en reparación de piezas automotrices y economía (ElectrodosInfra).

Figura 1.

Zonas seleccionadas para la extracción de la probeta de impacto y tracción



Fuente: (Los autores)

Para la extracción de las probetas, se utilizó una moladora con disco de corte, utilizando los medios de protección personal adecuados. Las demás probetas se extrajeron de distintas zonas de la superficie inferior de la culata, obteniendo un total de seis probetas: dos para el ensayo de tracción, dos para el ensayo de impacto Charpy y dos para el ensayo de dureza. Posteriormente, las probetas se maquinaron para eliminar imperfecciones, tomando en cuenta las medidas de la normativa ASTM A370 para las probetas de impacto y tracción y la normativa ASTM E384 para la probeta de dureza, asegurando mejores resultados en los ensayos destructivos. (ver figura 2).

Figura 2.

Probetas de impacto, tracción y dureza



Fuente: (Los autores)

Soldadura de las probetas

Para soldar las probetas se realizó un corte en V en la mitad de cada probeta (1 para cada tipo de ensayo), se preparó la máquina de soldar tipo SMAW modelo FDB DUCCI mod.250 y el electrodo AW 2201 E-4043 para posteriormente soldar sobre esa zona rellenando la probeta.

Figura 3.

Corte en V para la soldadura



Fuente: (Los autores)

Para el proceso de soldadura se siguieron los siguientes parámetros técnicos (ver tabla 1).

Tabla 1.

Parámetros técnicos de la soldadura.

Soldadora SMAW FDB DUCCI mod.250	Parámetros técnicos utilizados en la soldadura
Tensión: 220v -380v	Amperaje: 90 A
Potencia: 7,5 KW	Tensión de alimentación: 220v
Rango de amperaje: 50 A-250 A	Electrodo: AW 2201 E-4043

Fuente. (Los autores)

Materiales y Métodos

Metodología

La presente investigación se basa en un enfoque cuantitativo con el objetivo de obtener conocimientos esenciales y objetivos sobre la calidad y resistencia de las soldaduras en cabezotes de motor diésel de aluminio. Este tipo de método permite observar e interpretar los datos de manera precisa a través de la recolección y análisis estructurado de los resultados obtenidos de diversas pruebas, utilizando herramientas estadísticas, informáticas y matemáticas para la obtención de resultados. (Neil & Cortez, 2018)

El problema central es evaluar la calidad y resistencia de las soldaduras realizadas en cabezotes de motor diésel de aluminio, que son críticos para el rendimiento y la durabilidad del motor. Los objetivos específicos incluyen determinar la resistencia mecánica de la soldadura mediante ensayos de tracción, evaluar la dureza y la tenacidad de la soldadura mediante ensayos de dureza e impacto Charpy, y comparar los resultados de las probetas soldadas con las no soldadas para establecer la efectividad de la soldadura.

Para contextualizar esta investigación, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura sobre métodos de soldadura de aluminio, ensayos mecánicos relevantes y estudios previos relacionados. Esta revisión incluyó normativas como ASTM A370 para ensayos de tracción e impacto en materiales de aluminio. (American Welding Society , 2013)

El diseño experimental seleccionó como material base a la culata de la camioneta Mazda BT-50. Se prepararon las probetas de acuerdo con las especificaciones de la normativa ASTM A370. Las variables a medir incluyeron los datos obtenidos en el gráfico de fuerza vs desplazamiento, la energía absorbida en el ensayo de impacto Charpy y la

dureza (mediante ensayo de dureza Vickers) utilizando los parámetros de la normativa ASTM E384.

Los datos obtenidos de los ensayos de tracción, dureza e impacto se analizaron comparando los resultados entre probetas soldadas y no soldadas mediante gráficos de dispersión. Para la interpretación de los resultados se utilizó el método de diferencia porcentual que según (Smith, 2020) mide el cambio relativo entre dos valores en términos de porcentaje y se calcula como la diferencia entre el valor nuevo y el valor antiguo, dividido por el valor antiguo, y luego multiplicado por 100 para obtener el valor en porcentaje.

Materiales

El procedimiento experimental incluyó la soldadura de probetas utilizando una soldadora tipo SMAW (Soldadura Manual por Arco con Electrodo Revestido) modelo FDB DUCCI mod.250 con un electrodo de aluminio AW 2201 E-4043.

Figura 3.

Electrodo AW 2201 E-4043



Fuente: (Los autores)

Figura 4.

Soldadora SMAW FDB DUCCI mod.250



Fuente: (Los autores)

La soldadura fue escogida debido a que esta posee la capacidad de generar un aporte de protección de óxidos en la soldadura al realizar el proceso, debido a que también se intentó realizar la soldadura con una máquina de menor dimensión con características de menor capacidad, y esta soldadora no fue capaz de realizar la unión del material propuesto. Se seleccionó debido a la capacidad de generar un amperaje de mayor magnitud que nos permite que nuestro material de aporte se funda de manera óptima y generar la soldadura necesitada.

Culata de motor modelo Mazda BT50 diésel

La culata designada para este estudio pertenece a la camioneta Mazda BT-50 Sportive 2.5TD DC (2010-2012) la cual está equipada con un motor diésel de 2500 cc y 4 cilindros en línea, que genera una potencia máxima de 143 CV a 3500 rpm y un par máximo de 330 Nm a 1800 rpm, utilizando un sistema de admisión variable. (MotorGiga, 2024), el motor tiene una relación de compresión de 18:1 y distribución tipo DOHC. En cuanto a su culata esta hecha de aluminio, siendo netamente plana debido que es inyección directa y la cámara de combustión se encuentra en el pistón, posee 16 válvulas o 4 válvulas por cilindro. (Opinautos, 2007)

Figura 5.

Culata Mazda BT-50



Fuente: (Los autores)

Normativa ASTM A370

La norma ASTM A370 especifica los métodos de prueba y las definiciones relacionadas con los ensayos mecánicos aplicables a productos de acero, acero inoxidable y materiales relacionados. Es una normativa ampliamente utilizada para determinar las propiedades mecánicas esenciales de estos materiales. La ASTM A370 cubre diversos ensayos mecánicos, incluyendo los ensayos de tracción, dureza, impacto (Charpy), doblado

y otros métodos que evalúan la resistencia, ductilidad y tenacidad de los materiales de acero.

El ensayo de tracción tiene como objetivo determinar las propiedades de resistencia y ductilidad, como la resistencia a la tracción, el límite elástico y el alargamiento. En este ensayo, las probetas se someten a una carga axial hasta la fractura, registrando la carga y el alargamiento. Por otro lado, el ensayo de dureza mide la resistencia del material a la indentación utilizando métodos como Brinell, Rockwell y Vickers, donde se aplica una carga específica a una indentadora y se mide la profundidad o el diámetro de la indentación.

El ensayo de impacto (Charpy) evalúa la tenacidad del material y su capacidad para absorber energía durante un impacto. En este ensayo, una probeta con entalla se somete a un golpe pendular y se mide la energía absorbida durante la fractura. Además, el ensayo de doblado evalúa la ductilidad y la capacidad del material para resistir la deformación plástica sin fracturarse. En este procedimiento, se dobla una probeta hasta un ángulo específico y se observa la aparición de fisuras o fracturas.

Las probetas deben ser preparadas de acuerdo con especificaciones precisas en cuanto a dimensiones y formas para asegurar la reproducibilidad y la validez de los ensayos. Las dimensiones típicas y las formas de las probetas se describen detalladamente en la norma. Los resultados de los ensayos deben registrarse y reportarse claramente, incluyendo información como la resistencia a la tracción, límite elástico, alargamiento, reducción de área, dureza, energía absorbida en ensayos de impacto y cualquier observación sobre la apariencia de la fractura o fallas.

La normativa ASTM A370 es esencial en la evaluación de materiales para asegurar que cumplan con los requisitos de diseño y uso final. Es aplicable en sectores como la construcción, la automoción, la fabricación de maquinaria y otros campos donde se utilicen materiales de acero y sus aleaciones. (ASTM International, 2020)

Normativa ASTM E384

La normativa ASTM E384 describe los métodos estándar para la medición de la dureza mediante indentación en materiales pequeños y finos utilizando microdureza Vickers y Knoop. Establece procedimientos para la preparación de muestras, la selección de cargas (generalmente entre 10 gf y 1,000 gf), y el tiempo de aplicación de la carga

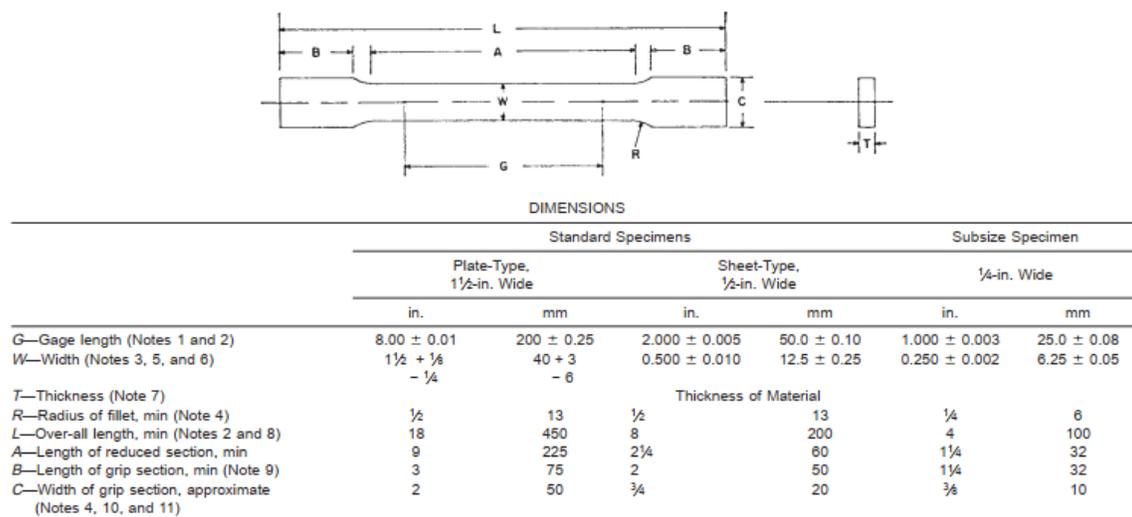
(normalmente 10 a 15 segundos). También proporciona fórmulas y directrices para calcular la dureza a partir de las dimensiones de la indentación y detalla cómo interpretar los resultados para asegurar la precisión y repetibilidad de las mediciones. (ASTM International, 2017)

Probetas para ensayos destructivos

Para las probetas de los ensayos de tracción se utilizaron las medidas de ¼ de pulgada según la normativa que se obtuvieron de la normativa ASTM A370 (ver figura 6).

Figura 6.

Medidas de la probeta de tracción

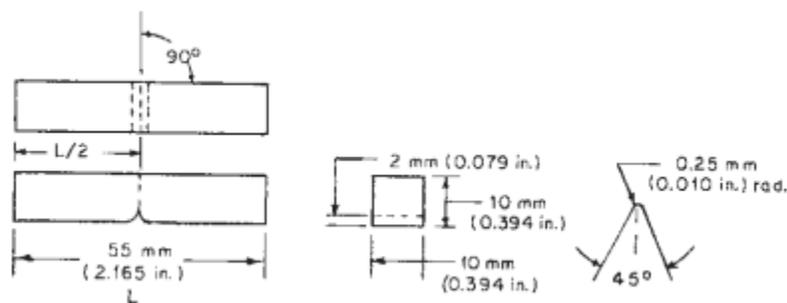


Fuente: (ASTM International, 2020)

Para las probetas de los ensayos de impacto Charpy se utilizaron las medidas dictadas en la normativa y un ancho de 10mm como dicta la normativa (ver figura 7).

Figura 7.

Medidas de la probeta de impacto Charpy



Fuente: (ASTM International, 2020)

Para las probetas del ensayo de dureza la normativa no dicta medidas específicas para una probeta, por lo que se decidió realizar una probeta con medidas similares a las del ensayo de impacto para facilitar el ensayo.

Tabla 2.

Equipos de Protección Personal.



Botas punta de acero



Guantes



Mandil de cuero



Máscara de protección



Máscara para soldar



Overol

Fuente. (Los autores)

El equipo de protección personal (EPP) utilizado consta de botas de punta de acero, ya que al realizar trabajos de cortes y soldaduras existen residuos que pueden caer en los pies generando lesiones graves. Los guantes de cuero son cruciales para evitar cualquier tipo de quemadura al tener un contacto con el objeto de que se está trabajando, ya que inconscientemente se puede tener contacto con la pieza trabajada y generarnos quemaduras graves. El mandil de cuero se utiliza para evitar que la salpicadura de soldadura no genere daños en el overol de trabajo, ya que este es de un material que no tolera el contacto con residuos de alta temperatura. La máscara de protección no se debe de olvidar, debido a que esta nos protege de cualquier residuo generado al realizar cortes en piezas de aluminio, que

pueden entrar en los ojos o cualquier accidente por piezas que pueden ser impulsadas hacia nuestro rostro. La máscara de soldar es un material crucial para realizar cualquier tipo de soldadura, debido a que al soldar se generan rayos ultravioletas que no son tolerables para los ojos generando quemaduras. Y por ultimo el overol es un traje que nos permite protegernos de lesiones y suciedades que se generan al realizar trabajos mecánicos.

Tabla 3.

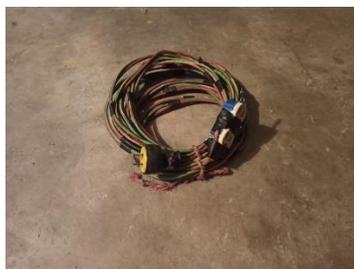
Herramientas para la extracción y medición de las probetas.



Entenalla



Lima



Extensión



Moladora



Disco de corte y desbaste



Escuadra



Calibrador Pie de rey

Fuente. (Los autores)

Equipos

Para el ensayo de tracción se hizo uso de la Máquina de Ensayos Universales AMSLER del Laboratorio de Mecánica de Materiales perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

Tabla 4.

Datos técnicos Máquina para el ensayo de tracción.

Máquina Universal de Ensayos	
Marca	AMSLER
Modelo	FM1033
Datos Técnicos	
Activación	Automática
Voltaje	220v trifásico
Frecuencia	60Hz
Masa	500kg
Capacidad de tracción máxima	100KN
Potencia	2Hp
RPM del motor máxima	1700RPM

Fuente. (Andrade & Cajas, 2015)

Para el ensayo de impacto se utilizo el péndulo de impacto Charpy AMSLER del Laboratorio de Mecánica de Materiales perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

Tabla 5.

Datos técnicos Máquina para el ensayo de impacto.

Péndulo de impacto Charpy	
Marca	AMSLER
Datos Técnicos	
Masa del martillo	27,02Kg
Capacidad de medición	0 a 30Kpm

Fuente. (Los autores)

Resultados y Discusión

Resultados del ensayo de tracción

Para el ensayo de tracción, se utilizaron 2 probetas, una estándar sin soldadura y otra con aplicación de la soldadura, previo al ensayo se eliminaron las imperfecciones en la probeta provocadas por la soldadura, para evitar fallos de lectura. Como dicta la normativa ASTM A370 se marcaron 2 puntos en la cara superior de las 2 probetas con una distancia 25mm, distancia denominada como Gage Length (G) (ver figura 6), para poder observar el alargamiento de la probeta después del ensayo de tracción. Antes de colocar las probetas en el equipo se verificó por medio de un calibrador Pie de rey, el ancho y alto de la zona de ruptura en la probeta, para calcular el área de la misma (ver figura 8).

Figura 8.

Medición de la zona de ruptura en la probeta de tracción.



Fuente. (Los autores)

De esta manera se obtienen los valores denominados como “a” representando al largo de la zona de ruptura y “b” representando al ancho de la zona de ruptura, a continuación se presentan los datos obtenidos y el cálculo de su área para ambas probetas.

Tabla 6.

Medidas de la zona de ruptura de las probetas de tracción.

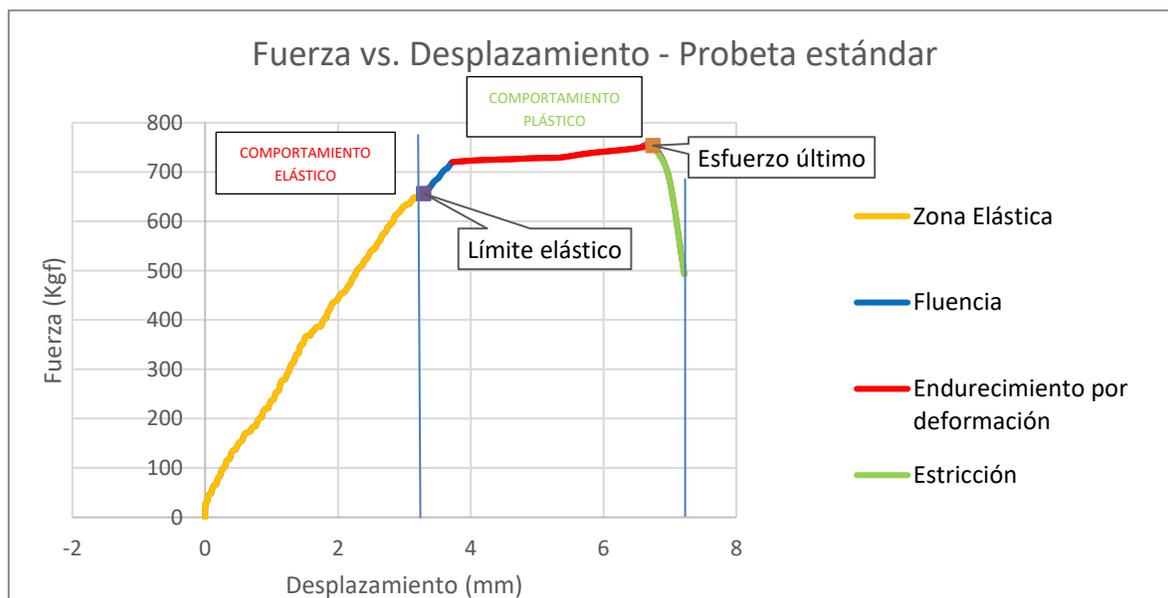
IDENTIFICACIÓN	a (largo) (mm)	B (ancho) (mm)	So (área) (mm²)	
Probeta no soldada		6,59	6,35	41,85
Probeta soldada		6,16	6,48	39,92
Diferencia porcentual %		6,75	2,03	4,72

Fuente. (Los autores)

Posteriormente se colocaron las probetas en la mordaza de la Máquina de Ensayos Universales AMSLER y se selecciono una escala de 1000 Mpa tanto para la probeta no soldada, como la probeta soldada para la realización del ensayo. Ajustado todos los parámetros adecuados en el equipo, se inicio con el ensayo de tracción obteniendo el gráfico de fuerza vs desplazamiento.

Figura 9.

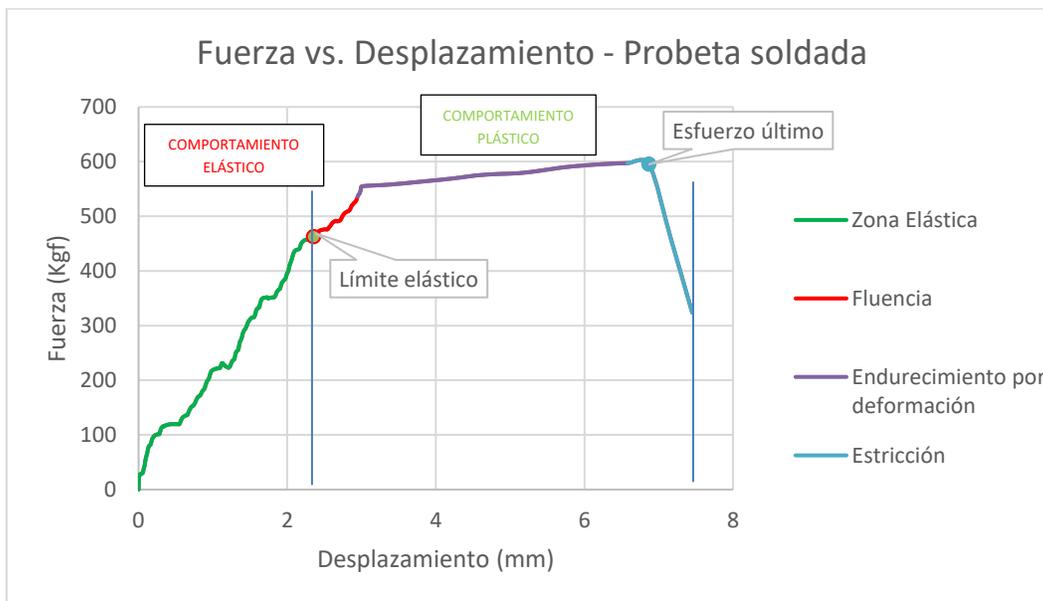
Diagrama Fuerza vs Desplazamiento de la probeta estándar.



Fuente. (Los autores)

Figura 10.

Diagrama Fuerza vs Desplazamiento de la probeta soldada.



Fuente. (Los autores)

Como se puede observar se delimitó la zona elástica y plástica, los puntos del límite elástico, el esfuerzo último; la zona de fluencia, la zona de endurecimiento por deformación y la zona de estricción.

Finalizado el ensayo de tracción se volvió a medir la denominada distancia Gage Length (G) para calcular el alargamiento.

Tabla 7.

Alargamiento de las probetas de tracción.

IDENTIFICACIÓN	Lo (longitud inicial) (mm)	Lu (longitud final) (mm)	A (Alargamiento) (%)
Probeta no soldada	25	25,91	3,6
Probeta soldada	25	26,01	4
Diferencia porcentual %	0	0,39	10,53

Fuente. (Los autores)

Al obtener el gráfico fuerza vs desplazamiento se adquirieron los datos de la carga en la fluencia y carga última proporcionados por el equipo de ensayos de tracción AMSLER.

Tabla 8.*Carga en la fluencia y carga última.*

IDENTIFICACIÓN	Fe (Carga en la fluencia) (Kgf)	Fm (Carga última) (Kgf)
Probeta no soldada	650,998981	753,99592
Probeta soldada	459,001019	598,00204
Diferencia porcentual %	34,59	23,08

Fuente. (Los autores)

Para el cálculo de el esfuerzo en la Fluencia (Re) y el esfuerzo último (Rm), se transformaron los datos de Kgf a N y se utilizaron las siguientes fórmula:

$$Re = \frac{Fe}{So} \quad \text{Ec. [1]}$$

Dónde:

Re es el esfuerzo en la fluencia

Fe es la carga en la fluencia

So es el área de la zona de ruptura

$$Rm = \frac{Fm}{So} \quad \text{Ec. [2]}$$

Dónde:

Rm es el esfuerzo último

Fm es la carga última

Tabla 9.*Esfuerzo en la fluencia y esfuerzo último.*

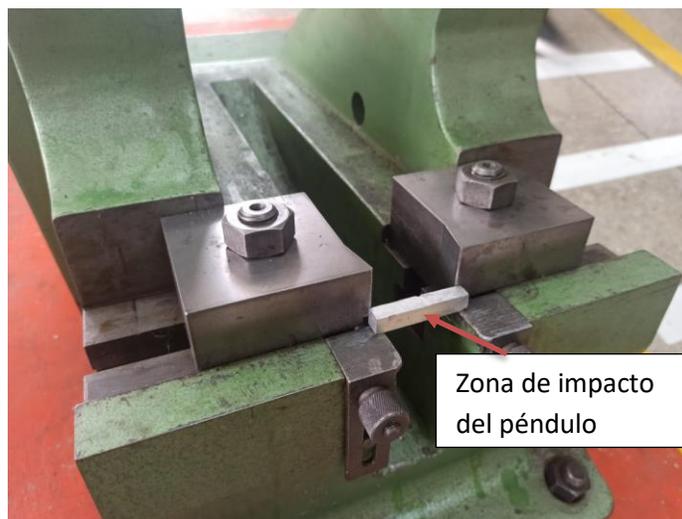
IDENTIFICACIÓN	Fe (Carga en la fluencia) (N)	Fm (Carga última) (N)	Re (Esfuerzo en la fluencia) (MPa)	Rm (Esfuerzo último) (MPa)
Probeta no soldada	6386,3	7396,7	152,6	176,8
Probeta soldada	4502,8	5866,4	112,8	147
Diferencia porcentual %	34,59	23,08	29,99	18,41

Fuente. (Los autores)**Resultados de los ensayos de impacto Charpy**

Para el ensayo de impacto se utilizaron dos probetas, una estándar con el material original y otra soldada, se colocaron las probetas sobre el péndulo de impacto Charpy AMSLER ubicando la cara donde se encuentra el corte contraria al péndulo como se muestra en la siguiente figura.

Figura 11.

Preparación de la probeta de impacto.



Fuente. (Los autores)

Posteriormente se verificó el alto (A) de la probeta y el ancho (B) con un calibrador pie de rey y se inició el ensayo de impacto soltando el péndulo sobre las probetas obteniendo los siguientes datos.

Tabla 10.

Datos obtenidos en el ensayo de impacto.

Identificación	A (alto) (mm)	B (ancho) (mm)	Área (mm ²)	Energía absorbida (J)	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (Kg*mm/mm ²)
Probeta estándar	10,71	8,02	85,89	0,1	1,0	1,2
Probeta soldada	9,89	8,28	81,89	0,2	2,0	2,4

Fuente. (Los autores)

Resultados de los ensayos de dureza

Para este ensayo se escogió el tipo de prueba de microdureza Vickers, debido a que el material es muy frágil y sus valores de dureza para la probeta soldada vs la probeta estándar son muy bajos, para determinar el valor de dureza, se midieron las distancias diagonales dejadas por el penetrador del equipo de ensayos según lo determinado por la normativa ASTM E384.

Probeta estándar: Se realizaron 4 indentaciones para el material base donde se pudo observar los siguientes valores de dureza:

Tabla 11.*Datos obtenidos en el ensayo de microdureza para la probeta estándar.*

Etiqueta	HV	Distancia1 (μm)	Distancia2 (μm)	Diagonal media (μm)
O1	66,63	53,02	52,48	52,75
O2	86,30	46,78	45,92	46,35
O3	66,05	52,21	53,75	52,98
O4	66,39	52,91	52,78	52,85
Promedio	71,34	51,23	51,23	51,23

Fuente. (Los autores)

Probeta soldada: Se utilizaron 2 probetas soldadas para corroborar el nivel de soldadura donde se realizaron 6 indentaciones en cada una teniendo los siguientes valores de dureza:

Tabla 12.*Datos obtenidos en el ensayo de microdureza para la probeta soldada 1.*

Etiqueta	HV	Distancia1 (μm)	Distancia 2 (μm)	Diagonal media (μm)
O1	68,13	52,37	51,96	52,17
O2	76,94	48,82	49,36	49,09
O3	71,58	50,99	50,80	50,89
O4	58,82	55,68	56,60	56,14
O5	106,69	41,25	42,12	41,69
O6	97,00	42,50	44,94	43,72
Promedio	79,86	48,60	49,30	48,95

Fuente. (Los autores)**Tabla 13.***Datos obtenidos en el ensayo de microdureza para la probeta soldada 1.*

Etiqueta	HV	Distancia1 (μm)	Distancia 2 (μm)	Diagonal media (μm)
O1	104,08	41,97	42,44	42,20
O2	99,58	42,61	43,69	43,15
O3	101,09	42,17	43,47	42,82
O4	104,65	41,96	42,23	42,09
O5	77,80	49,14	48,49	48,82
O6	33,31	73,58	75,64	74,61
Promedio	86,75	48,57	49,33	48,95

Fuente. (Los autores)

Discusión de los resultados

Ensayo de tracción

Tras obtener los datos y tabularlos se calculó la diferencia porcentual entre los mismos, para poder diferenciar el cambio en aumento o disminución del valor inicial o en este caso el dato obtenido de la probeta estándar con la probeta soldada en porcentaje.

Carga Última o Carga Máxima: La probeta soldada mostró una carga máxima 23,08% menor que la probeta estándar. Esto indica que la soldadura ha reducido significativamente la capacidad de la probeta para soportar cargas máximas antes de fallar. Esta reducción puede ser atribuida a la presencia de defectos en la soldadura, posibles zonas de debilidad inducidas por el proceso de soldadura, o cambios en la microestructura del material alrededor de la zona soldada.

Esfuerzo Último: El esfuerzo último de la probeta soldada es 18,41% menor que el de la probeta estándar. Este resultado es consistente con la disminución en la carga máxima. El esfuerzo último refleja la resistencia del material a deformarse plásticamente y finalmente romperse bajo carga. La menor resistencia observada en la probeta soldada puede ser el resultado de la misma degradación estructural mencionada anteriormente, que afecta la capacidad del material para resistir tensiones elevadas.

Alargamiento: Ambas probetas mostraron un alargamiento ínfimo siendo de 0,91mm para la probeta estándar y 1,01mm para la probeta soldada en la zona Gage Length (G) que fue medida antes y después de realizar el ensayo de tracción. Los resultados del alargamiento muestran una diferencia porcentual del 10,53% a favor de la probeta soldada, indicando una ligera mejora en la ductilidad.

Ensayo de impacto

Energía Absorbida: La probeta soldada absorbió el doble de energía (2.0 J) en comparación con la probeta estándar (1.0 J). Esto podría indicar una mejora en la tenacidad de la soldadura.

Resistencia al Impacto: La resistencia al impacto de la probeta soldada (2.4 Kgmm/mm²) es significativamente mayor que la de la probeta estándar (1.2 Kgmm/mm²), lo que sugiere que la soldadura mejora la capacidad del material para absorber energía sin fracturarse.

Ensayo de Dureza

Para poder distinguir los datos obtenidos en los ensayos de dureza se analizaron los promedios y la variación entre los mismos.

Valores Promedios de Dureza:

- Probeta estándar: 71,34 HV
- Probeta soldada 1: 79,86 HV
- Probeta soldada 2: 86,75 HV

Variabilidad: Las probetas soldadas presentan mayor variabilidad en los valores de dureza en comparación con la probeta estándar. Esto puede deberse a la presencia de diferentes zonas con variaciones en la microestructura debido a la soldadura, específicamente hablando la probeta soldada 1 tuvo una mayor variabilidad en los valores obtenidos con respecto a la probeta estándar. Para la probeta soldada 2 se tuvo el mismo caso, además que se obtuvo un valor de dureza muy bajo de 33,31 HV y un promedio de 86,75 HV que sugiere defectos en la soldadura.

El material soldado presenta una combinación de alta dureza en algunas áreas y alta variabilidad en otras, lo que indica una posible fragilidad. Esta fragilidad se ve reforzada por la reducción en la capacidad de soportar cargas (como se observa en las pruebas de tracción) y por la naturaleza del material, que podría presentar zonas con microestructuras no homogéneas debido al proceso de soldadura. Para aplicaciones críticas, es esencial realizar un control de calidad riguroso y considerar métodos adicionales para mejorar la consistencia y la resistencia del material soldado.

Conclusiones

Mediante los resultados se puede corroborar que el proceso de soldadura para la reparación de agrietamientos en culatas de motores diésel si es viable, ya que a pesar de que los valores obtenidos en los tests destructivos son menores para las probetas soldadas con respecto a las probetas estándar, los valores son muy cercanos a los de las probetas del material base, la garantía de un trabajo en reparación de culatas puede ser garantizable siempre y cuando se realice adecuadamente el proceso de soldadura.

La soldadura realizada en el cabezal de aluminio demostró una disminución significativa en la carga última y el esfuerzo último en comparación con la probeta estándar. La diferencia porcentual del 23,08% en la carga última y del 18,41% en el esfuerzo último indican que la soldadura afecta negativamente la resistencia mecánica del material.

A pesar de la disminución en la resistencia, la probeta soldada mostró un aumento en el alargamiento del 10,53% en comparación con la probeta no soldada. Esto sugiere que la soldadura puede incrementar la ductilidad del material, permitiendo una mayor deformación antes de la fractura. Esta propiedad podría ser beneficiosa en aplicaciones donde la capacidad de absorber energía es crítica, aunque debe equilibrarse con la pérdida de resistencia.

El ensayo de impacto reveló una mayor absorción de energía en la probeta soldada, con una diferencia notable en la resistencia al impacto (2,4 Kgmm/mm² para la probeta soldada frente a 1,2 Kgmm/mm² para la probeta estándar). Este incremento del 100% en la energía absorbida indica que la soldadura mejoró la capacidad del material para resistir cargas dinámicas, lo que puede ser ventajoso en situaciones donde el material está sujeto a impactos repetitivos.

Se requirió la realización de un ensayo de microdureza, debido a la baja dureza del material, el análisis de los resultados de microdureza indica que la soldadura afecta la dureza del material. Las probetas soldadas muestran un aumento en la dureza promedio, pero también presentan una mayor variabilidad en los valores medidos. Esta variabilidad puede ser indicativa de heterogeneidades en la soldadura, lo que podría afectar la consistencia y fiabilidad del material en aplicaciones prácticas. Por lo tanto, aunque la soldadura puede mejorar la dureza en algunas áreas, la presencia de variaciones significativas en otras sugiere la necesidad de un control de calidad riguroso para asegurar la integridad del componente soldado.

Los hallazgos de esta investigación tienen importantes implicaciones para la reparación de las culatas de motores diésel hechas de aluminio. Aunque la soldadura puede comprometer la resistencia mecánica del material, su impacto positivo en la ductilidad y la resistencia al impacto sugiere que puede ser una solución viable bajo ciertas condiciones operativas. La selección del método de soldadura y los parámetros de proceso deben ser cuidadosamente optimizados para minimizar las desventajas y maximizar las ventajas.

Referencias

- American Welding Society . (2013). *Aluminium Welding*. Retrieved from American Welding Society:
http://files.aws.org/wj/2013/WJ_2013_05/pubData/source/WJ_2013_05.pdf
- Andrade, A., & Cajas, G. (2015). Diseño e implementación de un centro de ensayos mecánicos del bambú en el laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. *Repositorio ESPE*, 12.
- Ashouri, H., & Beheshti, B. (2016). ANALYSIS OF FATIGUE CRACKS OF CYLINDER HEADS. *JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS*, 369-383.
- ASTM International. (2017). ASTM E384-17: Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials. *ASTM International*.
- ASTM International. (2020). ASTM A370. *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*.
- Autolab . (2024). *¿Qué es el cabezote del motor y cómo prevenir su rotura?* Retrieved from <https://autolab.com.co/blog/basicos/que-es-el-cabezote-del-motor-y-como-prevenir-su-rotura-1023/#:~:text=El%20cabezote%20alberga%20las%20válvulas,puede%20ser%20costosa%20y%20compleja.>
- Catagña, R. d. (2024, Abril 16). Defectos irreparables en culatas diésel. (K. Ortega, Interviewer)

Cornejo, J. (2021). *Repositorio Universidad Técnica de Ambato*, 16-18.

Diesel García Importadora. (2023, Julio 25). *Blog de DIESEL GARCIA IMPORTADORA*.

Retrieved from <https://www.importadoradieselgarcia.com/historia-del-motor-de-diesel#:~:text=La%20fecha%20específica%20de%20la,gran%20eficiencia%20en%20sus%20combustibles>.

ElectrodosInfra. (n.d.). Ficha técnica electrodo aluminio AWS 2201 E-4043.

Escuela Politécnica Nacional. (2024). *INFORME DE RESULTADOS N° P0698-24*. Quito.

FIATC. (2023, Septiembre 7). *FIATC SEGUROS*. Retrieved from Sobre calentamiento del

motor: síntomas, causas y consecuencias:
<https://www.fiatc.es/blog/post/sobrecalentamiento-del-motor-cuidados>

Gf, S. (2023, Noviembre 22). *¿Qué es la soldadura de aluminio?* Retrieved from Solcaman.

Expertos en Soldadura Industrial y Calderería Industrial:
<https://www.solcaman.com/que-es-soldadura-aluminio/>

Miller Electric Mfg. LLC. (2020, Agosto 24). *Guide to Industrial Aluminum Welding — The*

Basics. Retrieved from <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/guide-to-industrial-aluminum-welding>

MotorGiga. (2024, 05 13). *FICHA TÉCNICA Mazda BT-50 Sportive 2.5TD DC (2010-2012)*.

Retrieved from <https://motorgiga.com/mazda/bt-50/bt-50-sportive-25td-dc3/2007/precio-ficha-tecnica>

Neil, A., & Cortez, M. (2018). Metodologías de investigación cuantitativa. *Editorial Universitaria*.

Novillo, D. (2011). Elaboración de un manual de procesos y procedimientos bajo estándares de calidad para rectificación de motores de vehiculos livianos. *Repositorio UIDE*, 71.

Opinautos, M. (2007). *Motor — 2.5L Duratorq-TDCi (WL) Diesel*. Retrieved from https://manuals.opinautos.com/published/Mazda-BT-50_2008_ES__manual_de_taller_motor_bb15950bee.pdf

Renting Finders. (2024). Retrieved from Diésel o gasolina: ¿Qué es mejor para tu coche?: <https://rentingfinders.com/blog/consejos-recomendaciones-renting/diesel-o-gasolina-que-combustible-es-mejor-para-coche/>

Smith, J. (2020). Matemáticas aplicadas: Conceptos y aplicaciones. *Editorial Académica*.

Song, J., Field, R., Clarke, A., Fu, Y., & Kaufman, a. M. (2019). ASM Vol 6 WELDING, BRAZING, AND SOLDERING. *Acta Mater*, 362–372.

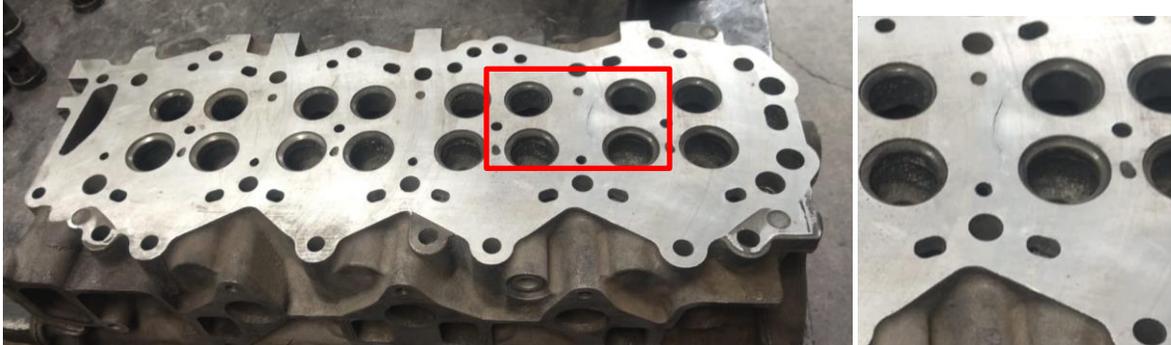
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. (2024). *Informe Técnico ensayo de Impacto Charpy*. Quito.

Universidad de las fuerzas Armadas ESPE. (2024). *Informe técnico ensayo de tracción*. Quito.

Anexos Marco Teórico

Anexo 1.

Zona de agrietamiento en la culata



Fuente: (Los autores)

Se selecciono esta zona para la extracción de una probeta para el ensayo de tracción, aprovechando la grieta que tenía el cabezote en ese lugar, para realizar el método adecuado que suele utilizarse para su reparación.

Anexo 2.

Perforación de la grieta

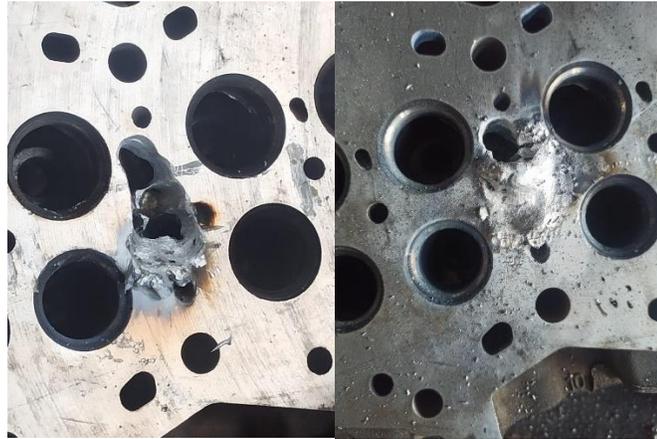


Fuente: (Los autores)

Se perforo la zona de la grieta hasta eliminar todo el lugar por el cual se segrego el agrietamiento.

Anexo 3.

Soldadura de la grieta



Fuente: (Los autores)

Posteriormente se limpio la zona y se utilizo un drill neumatico para limpiar el óxido de aluminio que impide usualmente su soldadura, se preparo la máquina de soldadura conectándola a 220v y se selecciono el amperaje adecuado para el grosor del cabezote 90 amperios, para un grosor de 1 cm.

Anexo 4.

Extracción de las probetas



Fuente: (Los autores)

Para la extracción de la probeta se utilizo la moladora y un disco de corte, previamente equipándose con los medios de protección personal adecuados. Para las demás probetas se seleccionaron distintas zonas de la superficie inferior de la culata.

Así se obtuvieron las 5 probetas, siendo 2 probetas para el ensayo de tracción, 2 probetas para el ensayo de impacto Charpy y una probeta para el ensayo de dureza.

Anexo 5.

Probetas de impacto y probeta de tracción soldada



Fuente: (Los autores)

Posteriormente a ello se maquinaron las probetas para eliminar imperfecciones y obtener mejores resultados en los ensayos destructivos.

Anexo 6.

Maquinado de las probetas



Fuente: (Los autores)

Anexos Materiales

Anexo 7.

Equipo de ensayos universales AMSLER



Fuente: (Los autores)

Anexo 8.

Péndulo de impacto Charpy AMSLER



Fuente: (Los autores)

Anexo 9.

Probeta de tracción colocada en el equipo de ensayos universales AMSLER

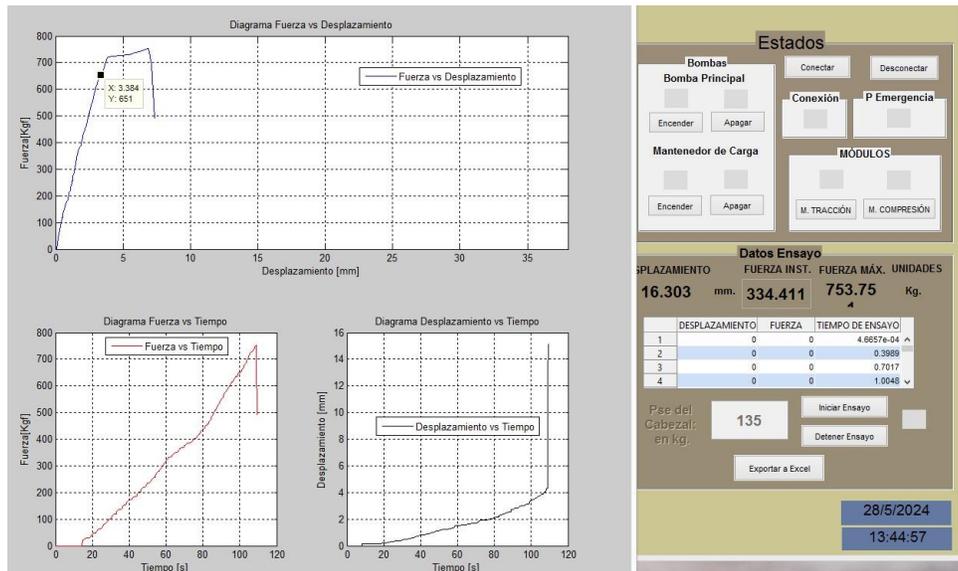


Fuente: (Los autores)

Anexos Resultados

Anexo 10.

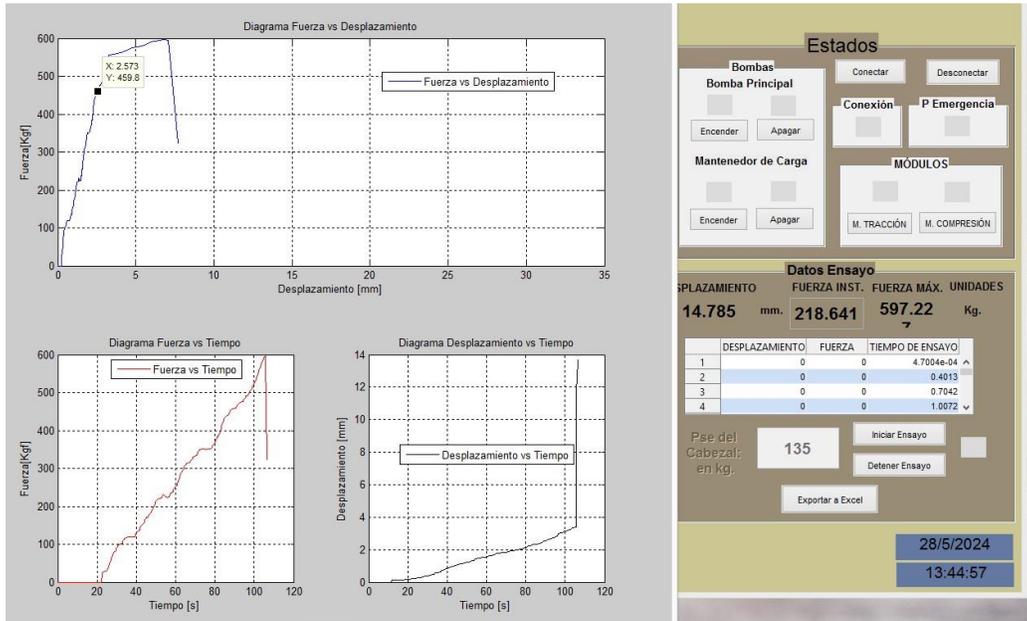
Gráficos obtenidos por el equipo AMSLER de la probeta estándar



Fuente: (Los autores)

Anexo 11.

Gráficos obtenidos por el equipo AMSLER de la probeta soldada



Fuente: (Los autores)

Anexo 12.

Informe técnico del ensayo de impacto

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

REGISTRO	Código	LMM42R
INFORME TÉCNICO	Informe No.	1

Hoja: 1 de 1

ENSAYO IMPACTO CHARPY
 Solicitado por: Kevin Ortega Doc. De Referencia: ASTM 370
 Orden: 2402 Material o elemento a ensayar: Aluminio
 Fecha de realización: 2024-05-29
 Tipo de máquina: Péndulo de Impacto Charpy AMSLER

Identificación	a (mm)	b (mm)	Area (mm ²)	E (kg*m)	E (J)	KCU (Kg*mm/mm ²)	Observaciones
Probeta No Soldada	10,71	8,02	85,89	0,1	1,0	1,2	
Probeta Soldada	9,89	8,28	81,89	0,2	2,0	2,4	

a,b: dimensiones
 E: Energía absorbida
 KCU: Resistencia al Impacto

Observaciones:

ING. JOSÉ PÉREZ
JEFE LAB. DE MECÁNICA DE MATERIALES

ING. FRANCISCO NAVA
ANALISTA LABORATORIO D

Fuente: (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2024)

Anexo 13.

Informe técnico del ensayo de tracción



	REGISTRO	Código	LMM42H
	INFORME TÉCNICO		
		Informe No.	1

Hoja: 1 de 1

ENSAYO: TRACCIÓN
 Solicitado por: Kevin Ortega Doc. de Referencia: Norma ASTM A 370
 Orden : 2402 Material o elemento a ensayar: Aluminio
 Fecha de realización: 2024-05-29
 Tipo de Máquina: Máquina de Ensayos Universales AMSLER

IDENTIFICACIÓN	a (mm)	b (mm)	So (mm ²)	Lo (mm)	Lu (mm)	Fe (N)	Fm (N)	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%)
Probeta No Soldada	6,59	6,35	41,85	25,00	25,91	6386,3	7396,7	152,6	176,8	3,6
Probeta Soldada	6,16	6,48	39,92	25,00	26,01	4502,8	5866,4	112,8	147,0	4,0

a,b= Dimensiones Lo= Longitud inicial Fe= Carga en la fluencia
 So = Área Lu= Longitud final Re= Esfuerzo en la fluencia
 A= Alargamiento % Fm= Carga última Rm = Esfuerzo último

OBSERVACIONES: Datos del material a ensayar es entregado por el cliente

ING. JOSÉ PÉREZ
 JEFE LAB. DE MECÁNICA DE MATERIALES

ING. FRANCISCO NAVAS
 ANALISTA LABORATORIO DEL LMM

Fuente: (Universidad de las fuerzas Armadas ESPE, 2024)

Anexo 14.

Informe técnico del ensayo de microdureza

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Laboratorio de Metalografía Desgaste y Falla (LMDF)	Revisión: 000 Fecha: 09/05/2024 Página: Pág. 4 de 4	
	INFORME DE RESULTADOS N° P0698-24	RT-LMDF-0701	

INFORME DE RESULTADOS N° P0698-24

Información General

Cliente / Empresa/ Entidad: Kevin Ruiz / UOCE
Persona de contacto: Dr. Kevin Ruiz
Teléfono: 0995556088 **E-mail:** kevinruiz119@gmail.com
Muestras suministradas por: Dr. Kevin Ruiz **Fecha de recepción de muestra:** 18/03/2024
Fecha de emisión de Informe: 10/05/2024 **Fecha de inicio de ensayo:** 03/06/2024
Fecha de fin de ensayo: 05/06/2024

1. ANTECEDENTES.

Se recibe en el Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla, de la Escuela Politécnica Nacional, dos muestras de aluminio, según especificaciones del cliente corresponden a una probeta de aluminio sólido y una probeta estándar; se solicita realizar el ensayo de micro dureza. Ver Fotografía N° 1.

2. IDENTIFICACION DEL ELEMENTO SUMINISTRADO.

Los elementos entregados se identifican de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 1:

Tabla 1. Clasificación de los elementos suministrados.

Item	Clasificación LMDF	Clasificación del Cliente	Cantidad	Descripción
1	24-032-IB	Probeta de aluminio estándar	1	Elemento de aluminio con longitud 28 mm, ancho 13 mm y espesor 9 mm. Fotografía N° 1.

Centro Politécnico "José Rubén Ordoñez Rosales" - Calle Isidro Cortés S/N - Urb. Viena Comercial - Edificio N°14 P8
 RUC: 178865639801 - Telf: (051 - 3) 376 300 Ext. 30100011 E-mail: metalografia@upn.edu.ec
 Ciudad Quito Ecuador

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Laboratorio de Metalografía Desgaste y Falla (LMDF)	Revisión: 000 Fecha: 09/05/2024 Página: Pág. 4 de 4	
	INFORME DE RESULTADOS N° P0698-24	RT-LMDF-0701	

1	24-032-0	Probeta de aluminio estándar	1	Elemento de aluminio con longitud 28 mm, ancho 13 mm y espesor 10 mm. Fotografía N° 1.
---	----------	------------------------------	---	--

1. ENSAYO DE MICRODUREZAS

El ensayo de micro dureza de los elementos 24-032, se lo realizó en la superficie, tal como se observa en la Figura N° 1, el equipo utilizado fue el microscopio DUROLINE-M, marca METCON, en base a las especificaciones de la Norma ASTM E384-22, en donde:

- Las probetas fueron entregadas por el cliente y estas son preparadas en base a la norma ASTM E3-11.
- La fuerza de ensayo aplicada corresponde a 100g, durante 20 s, a temperatura ambiente.
- Se utilizó un penetrador Vickers.
- Se realizó 4 micro indentaciones en la muestra 24-032-IB y 12 micro indentaciones en la muestra 24-032-0, como se muestra en la Figura N° 1.
- Los resultados obtenidos en el ensayo se detallan en los reportes emitidos por el equipo.

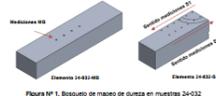


Figura N° 1. Ubicación de marcas de dureza en muestras 24-032

Centro Politécnico "José Rubén Ordoñez Rosales" - Calle Isidro Cortés S/N - Urb. Viena Comercial - Edificio N°14 P8
 RUC: 178865639801 - Telf: (051 - 3) 376 300 Ext. 30100011 E-mail: metalografia@upn.edu.ec
 Ciudad Quito Ecuador

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Laboratorio de Metalografía Desgaste y Falla (LMDF)	Revisión: 000 Fecha: 09/05/2024 Página: Pág. 4 de 4	
	INFORME DE RESULTADOS N° P0698-24	RT-LMDF-0701	

Reportes emitidos por el equipo

24-032-IB

Micro Hardness Analysis Report									
Sample	Material	Test	Method	Load	Time	Temp	Operator	Tester	Inspector
24-032-IB	Aluminum	Micro	Vickers	100g	20s	23.0	Kevin Ruiz	Kevin Ruiz	Kevin Ruiz

24-032-0

Micro Hardness Analysis Report									
Sample	Material	Test	Method	Load	Time	Temp	Operator	Tester	Inspector
24-032-0	Aluminum	Micro	Vickers	100g	20s	23.0	Kevin Ruiz	Kevin Ruiz	Kevin Ruiz

Centro Politécnico "José Rubén Ordoñez Rosales" - Calle Isidro Cortés S/N - Urb. Viena Comercial - Edificio N°14 P8
 RUC: 178865639801 - Telf: (051 - 3) 376 300 Ext. 30100011 E-mail: metalografia@upn.edu.ec
 Ciudad Quito Ecuador

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Laboratorio de Metalografía Desgaste y Falla (LMDF)	Revisión: 000 Fecha: 09/05/2024 Página: Pág. 4 de 4	
	INFORME DE RESULTADOS N° P0698-24	RT-LMDF-0701	

24-032-02

Micro Hardness Analysis Report									
Sample	Material	Test	Method	Load	Time	Temp	Operator	Tester	Inspector
24-032-02	Aluminum	Micro	Vickers	100g	20s	23.0	Kevin Ruiz	Kevin Ruiz	Kevin Ruiz

DECLARATORIA:

- Los resultados de este informe, se aplican al objeto de ensayo como se recibió y son válidos del mismo.
- Cada muestra de resultado de ensayo por separado debe ser acompañada, siempre cuando se reportará en los resultados, con autorización escrita del LMDF.
- Los ensayos solicitados se han realizado en las instalaciones del LMDF.

Afirmación:

Informe

Elaborado por:

Revisado y aprobado por:



Ing. ANDRÉS LÓPEZ
 Asistente de laboratorio de Metalografía,
 Desgaste y Falla.



Ing. Patricia Pineda
 Responsable del Laboratorio de
 Metalografía, Desgaste y Falla.

Nota: Se anexa 1 fotografía

Centro Politécnico "José Rubén Ordoñez Rosales" - Calle Isidro Cortés S/N - Urb. Viena Comercial - Edificio N°14 P8
 RUC: 178865639801 - Telf: (051 - 3) 376 300 Ext. 30100011 E-mail: metalografia@upn.edu.ec
 Ciudad Quito Ecuador

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Laboratorio de Metalografía Desgaste y Falla (LMDF)	Revisión: 000 Fecha: 09/05/2024 Página: Pág. 4 de 4	
	INFORME DE RESULTADOS N° P0698-24	RT-LMDF-0701	

ANEXOS



Fotografía N° 1. Elementos 24-032, entregados en el laboratorio de metalografía, desgaste y falla para análisis.

Centro Politécnico "José Rubén Ordoñez Rosales" - Calle Isidro Cortés S/N - Urb. Viena Comercial - Edificio N°14 P8
 RUC: 178865639801 - Telf: (051 - 3) 376 300 Ext. 30100011 E-mail: metalografia@upn.edu.ec
 Ciudad Quito Ecuador

Fuente: (Escuela Politécnica Nacional, 2024)