



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

NOMBRE DEL PROYECTO

ANÁLISIS METALOGRAFICO PARA SOLDADURA LÁSER EN
INFLADORES DE AIR BAGS: IDENTIFICACIÓN DE DEFECTOS
Y PROPUESTAS CORRECTIVAS

OPCIÓN QUE CORRESPONDA

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA
PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERÍA EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

PRESENTA:

JUAN ANTONIO VARONA GUERRERO

NOMBRE DEL ASESOR:

DR. CARLOS MANUEL ORTIZ LIMA

APIZACO, TLAX., FEBRERO DEL 2026



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
Departamento de Ingeniería Eléctrica Electrónica

Tzompantepec, Tlaxcala, **11/noviembre/2025**

Departamento: Ingeniería Eléctrica y Electrónica

No. De oficio: I.E.E. /671/2025

Asunto: Liberación de Proyecto
para la Titulación Integral

LIC. CECILIA YARELLY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral:

Nombre del egresado:	JUAN ANTONIO VARONA GUERRERO
Carrera:	INGENIERÍA EN SISTEMAS AUTOMOTRICES
No. De Control:	19371336
Nombre del proyecto:	"ANÁLISIS METALOGRAFICO PARA SOLDADURA LÁSER EN INFLADORES DE AIR BAGS: IDENTIFICACIÓN DE DEFECTOS Y PROPUESTAS CORRECTIVAS".
Producto	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

MTRO. MARIO EDUARDO LEAL LÓPEZ
JEFE DEL DEPTO. DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA


DR. CARLOS MANUEL ORTIZ LIMA

Nombre y firma del asesor



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA
Y ELECTRÓNICA

MELL/isa*
C.p. Archivo

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241)
4172010 Ext. 145, e-mail: electronica@apizaco.tecnm.mx |
apizaco.tecnm.mx



2025
Año de
La Mujer
Indígena





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, **26/Noviembre/2025**

JUAN ANTONIO VARONA GUERRERO
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS AUTOMOTRICES
CON NÚMERO DE CONTROL 19371336.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"ANÁLISIS METALOGRAFICO PARA SOLDADURA LÁSER EN INFLADORES DE AIR BAGS: IDENTIFICACIÓN DE DEFECTOS Y PROPUESTAS CORRECTIVAS"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CECILIA YARELY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



ccp. Archivo
CYAL/Gsc*



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241) 4172010
Ext. 304, e-mail: dep_titulacion@apizaco.tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx



Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han apoyado y han sido fundamentales en el desarrollo de este proyecto.

En primer lugar, agradezco profundamente a mis padres el **Sr. Carlos Varona Morales** y la **Sra. Zenaida Guerrero Varela**, a mis hermanos **Carlos Varona Guerrero** y **Ruth Varona Guerrero**, quienes siempre han estado a mi lado, brindándome su amor, motivación y apoyo incondicional en todo momento. Gracias por su comprensión y por ser mi principal fuente de inspiración.

A mi novia **Saamantha Sánchez Vázquez**, agradezco por su paciencia, apoyo constante y por estar siempre a mi lado, motivándome a seguir adelante, brindándome su amor y a dar lo mejor de mí en cada etapa de la carrera.

Mi más sincero agradecimiento a mis asesores, el **Dr. Carlos Manuel Ortiz Lima** y el **Ing. Luis Elier Orozco Canales**, quienes con su orientación y conocimientos me han permitido avanzar en este proyecto de manera efectiva, proporcionándome valiosas herramientas y consejos a lo largo del proceso.

Finalmente, a toda mi familia, gracias por su amor, apoyo y por estar siempre presentes, sin su respaldo no habría sido posible alcanzar este logro.

Gracias a todos por hacer este proyecto una realidad.

Índice

Agradecimientos	1
Resumen.....	2
Índice de ilustraciones.....	4
GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	6
Introducción	6
Datos de la empresa.	7
Área de trabajo del Residente.	9
Planteamiento del problema.....	10
Objetivo General.....	10
Objetivos Específicos.....	10
Justificación	11
Delimitaciones	11
Historia de la soldadura laser.	13
Tipos de soldadura laser.....	14
Historia de los airbags.....	15
Defectos Comunes en la Soldadura Láser	16
Funcionamiento y Relevancia del Inflador en los Sistemas de Airbags	19
Tipos de airbags	20
Integración y Eficiencia de los Airbags	22
Inflador de Airbag de tipo Cortina: Características y Aplicación en la iSi Automotive de México.	22
Materiales y Especificaciones del Inflador	23
Descripción del Proceso de Ensamblaje, Soldadura y Control de Calidad en Infladores de Airbags en iSi Automotive México.....	26
Zona de Soldadura Laser en los infladores de airbags.....	29

Proceso de análisis Metalográfico.	31
Preparación de Muestras para el Proyecto	34
Selección de Infladores	34
Resultados	37
Conclusiones	40
Propuestas correctivas.....	41
Competencias desarrolladas.....	44
Referencias.....	45

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1. iSi Automotive. Ubicaciones en todo el mundo.....</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 2: Área de la tina de ultrasonido y lavabo.</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 3:Área de recepción y preparación de muestras para el análisis metalográfico.</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 4: Campana de Extracción y Regadera de emergencia.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 5: Primer láser funcional fue construido en 1960 por Theodore Maiman. Extraído de: (RedHistoria, 2019)</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 6: Fisura en soldadura. Extraído de: (Jimenez, 2021).....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 7: Porosidad en soldadura. Extraído de: (Shane, Machine MFG, 2023)</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 8: Socavado en soldadura. Extraído de: (Shane, Machine MFG, 2023).....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 9: Salpicaduras en soldadura. Extraído de: (Shane, Machine MFG, 2023).....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 10: Airbags en una simulación de choque. Extraído de: (Loctite Teroson, 2021)</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 11: Airbags en un choque real. Extraído de: (Loctite Teroson, 2021)</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 12: Tanque del inflador. (iSi Automotive de Mexico, 2024)</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 13: Activador del inflador (iSi Automotive de Mexico, 2024).....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 14: Partes del inflador. (iSi Automotive de Mexico, 2024).....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 15: Secuencia de activación en milisegundos (ms). (iSi Automotive de Mexico, 2024).....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 16: Maquina de soldadura. Fotografía tomada por el autor.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 17: Área del láser. Fotografía tomada por el autor.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 18: Especificaciones del láser. Fotografía tomada por el autor.</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 19: Monitoreo de los limites superior e inferior de la soldadura. Fotografía tomada por el autor. ..</i>	<i>28</i>

<i>Ilustración 20: Tanque antes de ser ensamblado con el activador. Imagen derecha se observa el tanque completo y en la imagen de la izquierda se observa la membrana.</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 21: Zona de soldadura. Fotografía tomada por autor.</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 22: Área de soldadura en el interior del inflador. Fotografía tomada por autor</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 23: Muestras del inflador para el análisis de soldadura. Fotografía tomada por autor.</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 24: Proceso para realizar la probeta. En la imagen de la izquierda se observa la maquina (CitoPress-30) con las instrucciones de trabajo, en la imagen de en medio se observa la probeta terminada, en la imagen de la derecha se observa la parte inferior de la probeta mostrando las muestras. Fotografías tomadas por el autor</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 25: Proceso de lijado. En la imagen de la izquierda se muestra la maquina (Tegramin-30) encargada del lijado, en la imagen de en medio se observan los discos de lijado, y en la imagen de la derecha se observa la probeta con el acabado espejo. Fotografías tomadas por el autor.</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 26: ácido nítrico al 3% (solución Nital). Fotografía tomada por el autor.</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 27: Revelación de la microestructura de la soldadura. Fotografía tomada por el autor.</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 28: Microestructura de la soldadura bajo el microscopio utilizando un software en un ordenador. Fotografía tomada por el autor.</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 29: Infladores para el análisis. Fotografía Tomada por autor.</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 30: Probetas correspondientes a cada grupo. Fotografías tomadas por el autor.</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 31: Muestras con los cortes correspondientes. Fotografía tomada por el autor.</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 32: Socavón en soldadura laser en uno de los infladores de muestra. Fotografía tomada por el autor.</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 33: Probeta 1 con muestra de corte transversal. Fotografías tomadas por autor.</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 34: Probeta 2 con muestras de los cortes del overlap. Fotografías tomadas por autor.</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 35: Probeta 3; con corte a los 180° y lados derecho e izquierdo con poro. Fotografías tomadas por el autor.</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 36: Probetas 4 y 5; muestras con poros. Fotografías tomadas por el autor.</i>	<i>40</i>



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO**

Ingeniería en Sistemas Automotrices

**ANÁLISIS METALOGRAFICO PARA SOLDADURA LÁSER EN
INFLADORES DE AIR BAGS: IDENTIFICACIÓN DE DEFECTOS Y
PROPUESTAS CORRECTIVAS**

EMPRESA:

iSi Automotive de México S.A. de C.V.

PRESENTA:

Juan Antonio Varona Guerrero

ASESORES:

ASESOR INTERNO:

Dr. Carlos Manuel Ortiz Lima

ASESOR EXTERNO:

Ing. Luis Elier Orozco Canales

Apizaco, Tlaxcala, a 11 de diciembre de 2024

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han apoyado y han sido fundamentales en el desarrollo de este proyecto.

En primer lugar, agradezco profundamente a mis padres el **Sr. Carlos Varona Morales** y la **Sra. Zenaida Guerrero Varela**, a mis hermanos **Carlos Varona Guerrero** y **Ruth Varona Guerrero**, quienes siempre han estado a mi lado, brindándome su amor, motivación y apoyo incondicional en todo momento. Gracias por su comprensión y por ser mi principal fuente de inspiración.

A mi novia **Saamantha Sánchez Vázquez**, agradezco por su paciencia, apoyo constante y por estar siempre a mi lado, motivándome a seguir adelante, brindándome su amor y a dar lo mejor de mí en cada etapa de la carrera.

Mi más sincero agradecimiento a mis asesores, el **Dr. Carlos Manuel Ortiz Lima** y el **Ing. Luis Elier Orozco Canales**, quienes con su orientación y conocimientos me han permitido avanzar en este proyecto de manera efectiva, proporcionándome valiosas herramientas y consejos a lo largo del proceso.

Finalmente, a toda mi familia, gracias por su amor, apoyo y por estar siempre presentes, sin su respaldo no habría sido posible alcanzar este logro.

Gracias a todos por hacer este proyecto una realidad.

Resumen

Este proyecto tiene como objetivo realizar un análisis metalográfico de la soldadura láser aplicada a los infladores de airbags, con el fin de identificar defectos que puedan afectar la calidad y seguridad del producto. A través de diversas pruebas, se han evaluado características como la presencia de porosidades, que podrían la eficacia de las soldaduras en los infladores.

Los resultados mostraron que la mayoría de las muestras fueron satisfactorias, aunque se encontraron algunas variaciones que proponen áreas de mejora en el proceso de soldadura. A partir de estos hallazgos, se proponen soluciones correctivas, incluyendo la implementación de un dispositivo para secado y descontaminación de los tanques y activadores, un sistema de control automático de parámetros de soldadura y un sistema de inspección post-soldadura con ultrasonido, con el objetivo de mejorar la calidad del proceso y minimizar defectos.

Este análisis y las propuestas correctivas presentadas contribuyen a la optimización del proceso de fabricación de infladores para airbags.

Índice

Agradecimientos	1
Resumen.....	2
Índice de ilustraciones.....	4
GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	6
Introducción	6
Datos de la empresa.	7
Área de trabajo del Residente.	9
Planteamiento del problema.....	10
Objetivo General.	10
Objetivos Específicos.....	10
Justificación	11
Delimitaciones	11
Historia de la soldadura laser.	13
Tipos de soldadura laser.	14
Historia de los airbags.....	15
Defectos Comunes en la Soldadura Láser	16
Funcionamiento y Relevancia del Inflador en los Sistemas de Airbags	19
Tipos de airbags	20
Integración y Eficiencia de los Airbags	22
Inflador de Airbag de tipo Cortina: Características y Aplicación en la iSi Automotive de México.	22
Materiales y Especificaciones del Inflador	23
Descripción del Proceso de Ensamblaje, Soldadura y Control de Calidad en Infladores de Airbags en iSi Automotive México.....	26
Zona de Soldadura Laser en los infladores de airbags.....	29

Proceso de análisis Metalográfico.	31
Preparación de Muestras para el Proyecto	34
Selección de Infladores	34
Resultados	37
Conclusiones	40
Propuestas correctivas.....	41
Competencias desarrolladas.....	44
Referencias.....	45

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1. iSi Automotive. Ubicaciones en todo el mundo.....</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 2: Área de la tina de ultrasonido y lavabo.</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 3:Área de recepción y preparación de muestras para el análisis metalográfico.</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 4: Campana de Extracción y Regadera de emergencia.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 5: Primer láser funcional fue construido en 1960 por Theodore Maiman. Extraído de: (RedHistoria, 2019)</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 6: Fisura en soldadura. Extraído de: (Jimenez, 2021)</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 7: Porosidad en soldadura. Extraído de: (Shane, Machine MFG, 2023)</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 8: Socavado en soldadura. Extraído de: (Shane, Machine MFG, 2023).....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 9: Salpicaduras en soldadura. Extraído de: (Shane, Machine MFG, 2023)</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 10: Airbags en una simulación de choque. Extraído de: (Loctite Teroson, 2021)</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 11: Airbags en un choque real. Extraído de: (Loctite Teroson, 2021)</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 12: Tanque del inflador. (iSi Automotive de Mexico, 2024)</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 13: Activador del inflador (iSi Automotive de Mexico, 2024).....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 14: Partes del inflador. (iSi Automotive de Mexico, 2024).....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 15: Secuencia de activación en milisegundos (ms). (iSi Automotive de Mexico, 2024).....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 16: Maquina de soldadura. Fotografía tomada por el autor.</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 17: Área del láser. Fotografía tomada por el autor.</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 18: Especificaciones del láser. Fotografía tomada por el autor.</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 19: Monitoreo de los limites superior e inferior de la soldadura. Fotografía tomada por el autor. ..</i>	<i>28</i>

<i>Ilustración 20: Tanque antes de ser ensamblado con el activador. Imagen derecha se observa el tanque completo y en la imagen de la izquierda se observa la membrana.</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 21: Zona de soldadura. Fotografía tomada por autor.</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 22: Área de soldadura en el interior del inflador. Fotografía tomada por autor</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 23: Muestras del inflador para el análisis de soldadura. Fotografía tomada por autor.</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 24: Proceso para realizar la probeta. En la imagen de la izquierda se observa la maquina (CitoPress-30) con las instrucciones de trabajo, en la imagen de en medio se observa la probeta terminada, en la imagen de la derecha se observa la parte inferior de la probeta mostrando las muestras. Fotografías tomadas por el autor</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 25: Proceso de lijado. En la imagen de la izquierda se muestra la maquina (Tegramin-30) encargada del lijado, en la imagen de en medio se observan los discos de lijado, y en la imagen de la derecha se observa la probeta con el acabado espejo. Fotografías tomadas por el autor.</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 26: ácido nítrico al 3% (solución Nital). Fotografía tomada por el autor.</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 27: Revelación de la microestructura de la soldadura. Fotografía tomada por el autor.</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 28: Microestructura de la soldadura bajo el microscopio utilizando un software en un ordenador. Fotografía tomada por el autor.</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 29: Infladores para el análisis. Fotografía Tomada por autor.</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 30: Probetas correspondientes a cada grupo. Fotografías tomadas por el autor.</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 31: Muestras con los cortes correspondientes. Fotografía tomada por el autor.</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 32: Socavón en soldadura laser en uno de los infladores de muestra. Fotografía tomada por el autor.</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 33: Probeta 1 con muestra de corte transversal. Fotografías tomadas por autor.</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 34: Probeta 2 con muestras de los cortes del overlap. Fotografías tomadas por autor.</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 35: Probeta 3; con corte a los 180° y lados derecho e izquierdo con poro. Fotografías tomadas por el autor.</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 36: Probetas 4 y 5; muestras con poros. Fotografías tomadas por el autor.</i>	<i>40</i>

GENERALIDADES DEL PROYECTO

Introducción

La soldadura láser es una técnica avanzada utilizada en diversas industrias—incluida la automotriz—debido a su precisión y capacidad para generar uniones de alta resistencia. En el caso de los infladores de airbags, es fundamental que las uniones soldadas mantengan una alta integridad estructural; cualquier defecto podría afectar su funcionamiento y, por lo tanto, la seguridad de los pasajeros en situaciones de emergencia. Sin embargo, en ocasiones, la soldadura presenta defectos: porosidades, fisuras, desalineaciones... Estos problemas pueden afectar la calidad del producto final y ponen la necesidad de realizar un análisis exhaustivo de su causa. En este proyecto, se analizarán estos defectos en infladores de airbags para comprender sus causas y, así, plantear posibles soluciones correctivas.

El objetivo principal de este proyecto es identificar y analizar los defectos que se presentan en la soldadura láser de infladores de bolsas de aire y proponer soluciones iniciales para mejorar su calidad. Para ello, se realizará un análisis metalográfico detallado que permita determinar las causas de variaciones y defectos en la soldadura, en las muestras seleccionadas; además, se buscará establecer recomendaciones correctivas que puedan aplicarse en el proceso de producción. De lograrse este objetivo, no solo se mejorará la calidad del producto, sino que también se reducirán las probabilidades de fallas en sistemas de seguridad críticos.

¿Por qué es importante este estudio? El análisis de los defectos en la soldadura de infladores de bolsas de aire resulta crucial en el campo automotriz, pues estos componentes están directamente relacionados con la seguridad de los vehículos. Mejorar la calidad de las soldaduras puede contribuir, en gran medida, a reducir fallas en estos sistemas; así se aumenta la confiabilidad de los productos, se protege a los usuarios y se refuerza la competitividad de las empresas en el sector. En pocas palabras: un inflador libre de defectos es una contribución directa a la seguridad en el transporte.

Este proyecto se organiza en varias secciones. En primer lugar, se presentarán los antecedentes teóricos de la soldadura láser y su aplicación en la industria automotriz; posteriormente, se detallarán los materiales y métodos empleados en el análisis metalográfico, tales como la preparación de muestras y el uso de microscopía para identificar defectos específicos. Luego, se expondrán los resultados obtenidos, así como la discusión sobre las posibles causas de los defectos observados. Finalmente, se incluirán las conclusiones y recomendaciones derivadas del análisis, con miras a mejorar los procesos de soldadura aplicados a los infladores de airbags.

La metodología de este proyecto se basa en el análisis metalográfico de muestras obtenidas de infladores de bolsas de aire soldadas mediante láser (procedimiento que incluye la preparación de muestras, su observación bajo microscopio y la identificación de defectos específicos). En cada etapa, se aplicarán técnicas de caracterización para determinar variaciones en la soldadura y establecer relaciones entre estos defectos y posibles causas del proceso de soldado.

Datos de la empresa.

iSi Automotive, una empresa con una rica historia que se inicia en 1867 con gran importancia en la producción de sistemas de seguridad para la industria automotriz. Con sede central en Viena, Austria, el grupo iSi Automotive supervisa una red de plantas de producción estratégicamente ubicadas en diversos países, incluyendo México, Alemania, Hungría, Tailandia y China.

En la planta de Austria se especializa en el desarrollo de infladores de gas y la ingeniería de plantas, la planta de Berlín se centra en el diseño, desarrollo y pruebas de módulos de airbag. Por su parte, la planta de Hildesheim alberga el centro de desarrollo de tejidos y cojines, y la planta de Hungría se encarga del ensamblaje de módulos de airbag para el mercado europeo.

En México, iSi Automotive cuenta con una planta ubicada en Cuapiaxtla, Tlaxcala, desde donde abastece a los clientes del mercado norteamericano y sudamericano. Esta planta se dedica tanto a la producción de bolsas de aire como de infladores. Por otro lado, Tailandia alberga la planta más grande del grupo, con una producción enfocada en los mercados europeo y asiático. Finalmente, la planta de Changshu, en China, se destaca por su centro de desarrollo de alta tecnología y su producción para el mercado asiático.

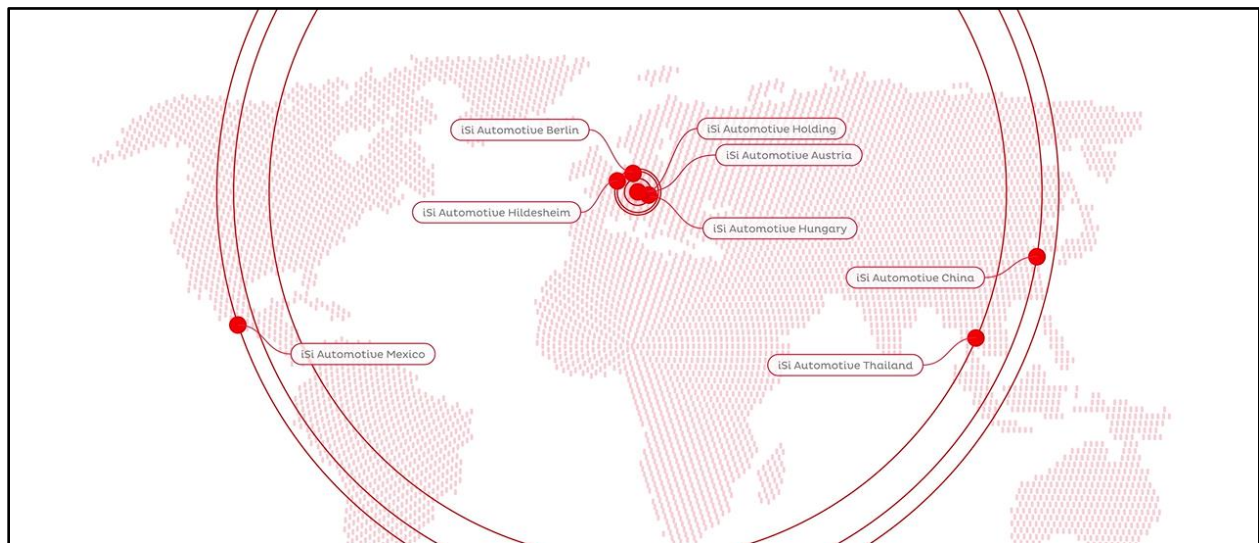


Ilustración 1. iSi Automotive. Ubicaciones en todo el mundo

Visión

La visión describe cómo nos vemos, nuestros valores fundamentales. Conforman la base de todas nuestras acciones y al mismo tiempo, es la pauta con la que medimos nuestras decisiones. Nos permite permanecer autocríticos, para así nunca evadir la pregunta sobre si el camino en el que nos encontramos es el correcto.

- ✓ Independencia
- ✓ Sustentabilidad
- ✓ Integridad

Misión

De la forma como nos vemos resultan metas, se generan ideas sobre cómo seguir. Del hoy surge la pregunta sobre el mañana. Esta es la misión: una explicación, una definición de nuestra estrategia y de nuestros valores con los que queremos formar el futuro.

- ✓ Innovar
- ✓ Especializar
- ✓ Internacionalizar

Ubicación y datos de iSi Automotive de México S.A. de C.V.

Domicilio: Carretera Los Reyes, México - Zacatepec, Puebla Tramo Huamantla–Cuapixtla KM 158 + 000, San Lorenzo Cuapixtla

C.P. 90560, Tlaxcala, México

RFC: ISS140821GX4

Teléfono: +52 1 276 890 6300

Área de trabajo del Residente.

Laboratorio de Metrología (área del laboratorio de metalografías)



Ilustración 3: Área de recepción y preparación de muestras para el análisis metalográfico.



Ilustración 2: Área de la tina de ultrasonido y lavabo.



Ilustración 4: Campana de Extracción y Regadera de emergencia.

Planteamiento del problema.

En la industria automotriz, los infladores de airbags deben soldarse con alta precisión; cualquier defecto en la soldadura puede comprometer su seguridad y rendimiento. Sin embargo, en el proceso de soldadura láser aplicado a estos infladores se presentan defectos como porosidades, fisuras y desalineaciones que afectan la calidad del producto y representan un riesgo potencial para los usuarios.

¿Por qué se producen estos defectos? Aunque podrían ser causados por variaciones en los parámetros de soldadura (potencia del láser, velocidad, alineado de piezas), la causa exacta no ha sido determinada. A esto se suma a la falta de un criterio establecido para definir si los defectos detectados están dentro de límites permitidos.

Este proyecto busca identificar y analizar dichos defectos mediante análisis metalográfico, destacando las fallas y sus causas. La meta es proponer soluciones que permitan reducir estas variaciones en el proceso y mejorar la calidad de los infladores.

Objetivo General.

Comprender las causas de las variaciones microestructurales en las soldaduras láser de infladores de airbags mediante un análisis metalográfico, y desarrollar propuestas correctivas que permitan mejorar la calidad y estandarizar el proceso de soldadura.

Objetivos Específicos.

1. **Investigar y documentar el proceso de soldadura láser** utilizado en la fabricación de infladores de airbags, identificando los materiales y parámetros críticos que podrían influir en las variaciones observadas.
2. **Recolectar y preparar muestras de soldaduras láser** de infladores para un análisis metalográfico detallado en el laboratorio, utilizando técnicas adecuadas para revelar las microestructuras y defectos.
3. **Realizar un análisis comparativo de las muestras** identificando las variaciones microestructurales, tales como porosidades, fisuras o inclusiones, presentes en las soldaduras.
4. **Determinar las posibles causas** de las variaciones microestructurales observadas.

5. **Proponer soluciones correctivas** que permitan mitigar o eliminar las variaciones observadas, mejorando la consistencia y calidad de las soldaduras láser.

Justificación

En el laboratorio de metalografía se ha observado que las muestras de las soldaduras láser de los infladores de airbags presentan variaciones en su microestructura. Estas diferencias, carecen de un marco normativo que defina claramente si son aceptables o no, lo que genera incertidumbre sobre la calidad y la seguridad del producto final.

La falta de normas establecidas para evaluar estas variaciones representa un riesgo significativo, ya que los infladores de airbags son componentes críticos para la seguridad de los vehículos. Una soldadura defectuosa podría comprometer la integridad del inflador y, en consecuencia, la protección que ofrece en caso de un accidente.

Este proyecto se justifica por la necesidad de identificar las causas de estas variaciones microestructurales y desarrollar propuestas correctivas que permitan estandarizar y mejorar el proceso de soldadura láser. Al comprender mejor estos defectos y su origen, se podrán implementar soluciones que aseguren la consistencia y calidad de las soldaduras, contribuyendo así a la fiabilidad y seguridad de los infladores de airbags.

Delimitaciones

1. Alcance Técnico:

- El proyecto se enfocará exclusivamente en el análisis de la soldadura láser utilizada en infladores de airbags, dejando fuera otros componentes o procesos del inflador.
- Se analizarán defectos específicos, limitándose a la identificación y evaluación de porosidades y fisuras en las soldaduras láser, y la posible desalineación de las piezas durante el proceso de soldadura, sin considerar otras posibles variaciones microestructurales.

2. Recursos y Muestras:

- El análisis se realizará con un rango limitado de 6 a 10 muestras de soldaduras láser, las cuales se consideran representativas para el estudio.
- El usuario cuenta con acceso constante a todas las herramientas y equipos necesarios en el laboratorio de metalografía, incluyendo microscopios y software de análisis, lo que garantiza que el análisis se lleve a cabo sin restricciones de recursos.

3. Limitaciones:

- El proyecto está diseñado para completarse dentro del marco de 20 semanas, lo que incluye todas las fases de análisis, identificación de defectos, y propuesta de acciones correctivas.
- Debido a las normativas establecidas por la empresa, este proyecto se limitará a presentar propuestas correctivas, ya que el control del proceso de soldadura de los infladores se realiza desde Europa y no está permitido realizar modificaciones en dicho proceso. Además, el corto tiempo de mi estancia en la empresa imposibilita la implementación de las propuestas planteadas.

4. Restricciones Externas:

- El proyecto puede estar sujeto a regulaciones y políticas internas de la empresa que podrían limitar el tipo de análisis que se puede realizar o el acceso a ciertos datos. Estas restricciones serán respetadas, y cualquier información confidencial será manejada de acuerdo con las directrices de la empresa.
- Es posible que algunos detalles específicos del proceso de soldadura y la fabricación de infladores sean confidenciales, por lo que el análisis y las propuestas estarán basados únicamente en la información disponible y autorizada.

Historia de la soldadura laser.

La tecnología de soldadura láser ha avanzado notablemente desde sus fundamentos teóricos hasta su implementación industrial. Su origen se remonta a 1916, cuando Albert Einstein sentó las bases del fenómeno de "emisión estimulada", fundamental para el funcionamiento del láser (Shane, 2023).

El primer láser funcional fue construido en 1960 por Theodore Maiman en los laboratorios Hughes Research, en California, utilizando un rubí sintético como medio activo. Este láser emitía un haz de luz rojo profundo y fue inicialmente aplicado en la telemetría militar, aunque también se empleó comercialmente para perforar orificios en diamantes debido a su alta potencia (Universal Laser Systems, s.f.)

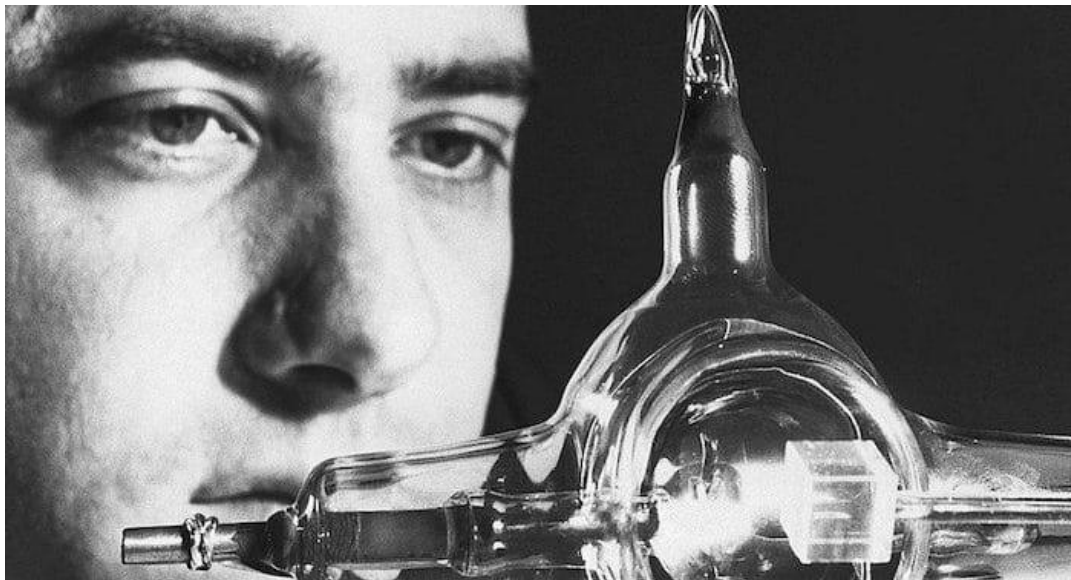


Ilustración 5: Primer láser funcional fue construido en 1960 por Theodore Maiman. Extraído de: (RedHistoria, 2019)

La tecnología avanzó rápidamente, y en 1963, Kumar Patel desarrolló el láser de dióxido de carbono (CO₂), que se destacaba por su eficiencia y costo menor en comparación con el láser de rubí, volviéndose el tipo de láser industrial más popular en las siguientes décadas (Universal Laser Systems, s.f.)

Para 1967, se logró construir láseres de CO₂ con una potencia que superaba los 1,000 vatios, y ese mismo año, Peter Houldcroft del Instituto de Soldadura en Cambridge utilizó un láser CO₂

asistido por oxígeno para cortar acero de 1 mm de grosor, marcando el inicio de su aplicación en el procesamiento de materiales (Universal Laser Systems, s.f.) Durante la década de 1970, la tecnología continuó desarrollándose, permitiendo su uso en el corte y soldadura de metales, con aplicaciones impulsadas principalmente por las industrias automotriz y aeroespacial, las cuales buscaban precisión y velocidad en sus procesos productivos (Shane, 2023).

Ya en la década de 1980, la tecnología de soldadura láser alcanzó un nivel de madurez que facilitó su implementación a escala industrial. Esto permitió expandir su aplicación no solo a la soldadura y corte de metales, sino también al procesamiento de materiales orgánicos como plásticos y hule (Universal Laser Systems, s.f.).

Hoy en día, la soldadura láser constituye aproximadamente el 20% de las metodologías de soldadura, solo superada por la soldadura con escudo de gas (Shane, 2023).

El principio de la soldadura láser se basa en la concentración de alta potencia de luz en un punto preciso, generando suficiente calor para fundir el metal y crear una unión fuerte y permanente cuando el metal solidifica. Este enfoque técnico ha demostrado ser invaluable en aplicaciones que requieren un alto grado de precisión y durabilidad, destacándose en la mejora de productividad y calidad de productos (INSERMAING Mantenimiento Industrial, s.f.).

Tipos de soldadura laser.

La soldadura láser consiste en unir materiales mediante la fusión provocada por un rayo láser. Este proceso incluye varias modalidades, cada una con características y aplicaciones específicas:

Soldadura Láser de Fibra

Este método emplea rayos láser de fibra como fuente energética. Es ideal para trabajar con materiales delicados y de poco grosor, ya que combina alta precisión y velocidad. Se utiliza frecuentemente en sectores como el automotriz, defensa, construcción y electrónica. (Baison, 2023).

Soldadura Láser de CO2

Con dióxido de carbono como medio láser, este tipo de soldadura es especialmente útil para unir materiales no metálicos y algunos metales. Sus aplicaciones principales se encuentran en procesos industriales y de manufactura.

Soldadura Láser YAG (Yttrium Aluminum Garnet)

Este método utiliza un cristal de YAG para generar el rayo láser, siendo adecuado para soldar metales y sus aleaciones. Es comúnmente empleado en las industrias aeroespacial y médica.

Soldadura Láser de Semiconductores

Basada en diodos láser como fuente de energía, esta técnica es eficaz en trabajos de micro soldadura y aplicaciones que requieren alta precisión. (Keyence, s.f.)

Historia de los airbags.

Los airbags, conocidos también como bolsas de aire, se han convertido en un elemento esencial de la seguridad en los vehículos modernos debido a su impacto en la reducción de fatalidades en accidentes de tráfico. A continuación, se describe la evolución de esta tecnología.

Primeros Conceptos y Desarrollo Inicial

La idea de un sistema inflable para proteger a los ocupantes de un auto en caso de choque surgió en la década de 1950, cuando el ingeniero John W. Hetrick, inspirado por su experiencia militar, patentó un diseño en 1953. Este sistema usaba aire comprimido para inflar una bolsa al detectar una colisión. Sin embargo, las limitaciones tecnológicas de la época impidieron su comercialización (Share me, 2020).

Innovaciones de los Años 60 y 70

Durante las décadas posteriores, varios desarrollos avanzaron esta idea. En 1968, Allen K. Breed creó un sensor de colisión que permitía activar los airbags rápidamente, un paso esencial para su implementación. Posteriormente, Ford probó esta tecnología en 1971, mientras que General Motors lanzó al mercado el primer auto con airbags en 1973, el Chevrolet Impala, equipado con bolsas para el conductor y el copiloto (Automotriz Mobi, s.f.).

En los años 80, los airbags comenzaron a incluirse en modelos comerciales. Mercedes-Benz ofreció el primer airbag para conductor en su Clase S de 1981 (V8 Project, 2017), y Ford introdujo esta tecnología como opción en el modelo Tempo de 1984 (Ciencia de hoy, s.f.).

Las regulaciones federales en Estados Unidos marcaron el verdadero auge de los airbags: una ley aprobada en 1991 exigió que todos los automóviles nuevos vendidos desde 1998 incluyeran airbags delanteros obligatorios.

Innovaciones y Proyección Futura

Hoy, los airbags han evolucionado en diseño y funcionalidad. Se incluyen versiones laterales, de cortina y de rodilla, para proteger en diferentes escenarios de choque. Los avances más recientes se centran en airbags externos, pensados para proteger a peatones y ciclistas, y en mejoras en sensores que optimizan su despliegue.

Defectos Comunes en la Soldadura Láser

Los defectos presentes en este proceso pueden impactar negativamente en el rendimiento del inflador y, en consecuencia, comprometer la seguridad del airbag. Entre los defectos más frecuentes destacan:

Fisuras

- **Origen:** Las fisuras surgen debido a la contracción térmica que ocurre durante el enfriamiento acelerado de la soldadura.
- **Consecuencia:** Estas fallas estructurales debilitan la unión soldada, poniendo en riesgo la integridad del inflador. (Shane, Machine MFG, 2023)

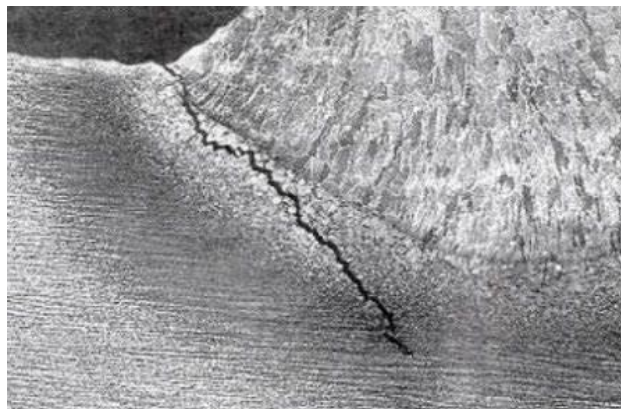


Ilustración 6: Fisura en soldadura. Extraído de: (Jimenez, 2021)

Porosidades

- **Origen:** Se generan cuando el gas atrapado no logra escapar del baño de fusión antes de solidificarse.
- **Consecuencia:** Reducen la resistencia de la soldadura, creando puntos vulnerables que podrían fallar. (AccTek, s.f.)



*Ilustración 7: Porosidad en soldadura.
Extraído de: (Shane, Machine MFG, 2023)*

Desalineación

- **Origen:** Proviene de un mal posicionamiento de las piezas a soldar o un enfoque incorrecto del rayo láser.
- **Consecuencia:** Resulta en uniones incompletas o débiles que afectan directamente la funcionalidad del inflador. (AccTek, s.f.)

Socavado

- **Origen:** Este defecto ocurre cuando la soldadura no se integra adecuadamente con el metal base, formando surcos o cavidades.

- **Consecuencia:** Debilita la estructura soldada, incrementando el riesgo de fallas estructurales. (Shane, Machine MFG, 2023)



Ilustración 8: Socavado en soldadura. Extraído de: (Shane, Machine MFG, 2023)

Salpicaduras

- **Origen:** Aparecen cuando el material fundido es expulsado de la zona de soldadura.
- **Consecuencia:** Contaminan y deterioran la superficie soldada, afectando su calidad tanto visual como funcional. (Shane, Machine MFG, 2023)



Ilustración 9: Salpicaduras en soldadura. Extraído de: (Shane, Machine MFG, 2023)

Funcionamiento y Relevancia del Inflador en los Sistemas de Airbags

El inflador constituye un componente esencial del sistema de airbags, ya que se encarga de producir el gas que infla la bolsa de aire en milisegundos. Este proceso es fundamental para que el airbag se despliegue a tiempo, garantizando así la protección necesaria a los pasajeros del vehículo durante un accidente (Instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial, s.f.).

El funcionamiento del inflador se basa en una reacción química que genera un gran volumen de gas de manera instantánea. Esta reacción es activada por sensores que detectan el choque, permitiendo que el airbag se infle en el momento justo. La sincronización y eficiencia de este sistema son cruciales para que el airbag amortigüe el impacto entre los pasajeros y las superficies rígidas del automóvil (Freire, 2024).

Tras desplegarse, el airbag comienza a desinflarse a través de pequeños orificios diseñados para ello, permitiendo a los pasajeros puedan moverse con mayor facilidad después del choque (Freire, 2024). La capacidad del inflador para generar gas de forma rápida y controlada es determinante para el desempeño efectivo del airbag, y por lo consiguiente, para la seguridad de los pasajeros en situaciones de accidentes (AIRGAB 24/7, s.f.).

Tipos de airbags

Los airbags son componentes esenciales en la seguridad de los vehículos, diseñados para proteger a los pasajeros durante un choque automovilístico. Existen diversos tipos de airbags con funciones específicas para la protección en distintos escenarios.



Ilustración 10: Airbags en una simulación de choque. Extraído de: (Loctite Teroson, 2021)

A continuación, se describen los más comunes en los automóviles modernos:

Airbag Frontal

- **Ubicación:** Está integrado en el volante para el conductor y en el tablero para el pasajero delantero.
- **Función:** Salvaguarda la cabeza y el torso en accidentes de impacto frontal.
- **Activación:** Se despliega cuando la velocidad del vehículo supera los 30 km/h en un choque frontal.

Airbag Lateral

- **Ubicación:** Colocado en los laterales de los asientos o en las puertas del vehículo.
- **Función:** Protege el tórax y la cadera de los ocupantes en caso de colisiones laterales.
- **Activación:** Opera a partir de impactos laterales a velocidades superiores a los 18 km/h.

Airbag de Cortina

- **Ubicación:** Se despliega desde el techo del vehículo, cubriendo áreas laterales.
- **Función:** Resguarda la cabeza y el cuello tanto en colisiones laterales como en vuelcos.
- **Cobertura:** Abarca las zonas de los asientos delanteros y traseros, ofreciendo protección a todos los ocupantes.

Airbag de Rodilla

- **Ubicación:** Instalado debajo del tablero, frente al conductor.
- **Función:** Protege las rodillas del conductor ante un impacto frontal, minimizando lesiones en esta área.

Airbag de Cinturón de Seguridad

- **Ubicación:** Incorporado dentro del cinturón de seguridad.
- **Función:** Distribuye la presión del cinturón sobre el pecho, lo que beneficia especialmente a niños y personas de baja estatura al reducir posibles lesiones.

Airbag Trasero

- **Ubicación:** Posicionado detrás de los reposacabezas de los asientos traseros.
- **Función:** Protege el cuello y la nuca de los ocupantes traseros en colisiones por alcance.

Airbag de Peatón

- **Ubicación:** Colocado en el exterior del vehículo, normalmente en el capó.
- **Función:** Reduce el impacto sobre los peatones en caso de atropello, disminuyendo las lesiones al amortiguar el golpe contra el vehículo.

Integración y Eficiencia de los Airbags

Estos sistemas trabajan de manera conjunta con otros elementos de seguridad activa y pasiva, como los cinturones de seguridad, para ofrecer una protección integral a los ocupantes y peatones. La constante innovación en la tecnología de airbags ha resultado en una notable disminución de lesiones graves y fatalidades en accidentes de tránsito.

Este parafraseo incluye un uso variado de signos de puntuación, conservando la estructura clara y profesional que te caracteriza. (Loctite Teroson, 2021)



Ilustración 11: Airbags en un choque real. Extraído de: (Loctite Teroson, 2021)

Inflador de Airbag de tipo Cortina: Características y Aplicación en la iSi Automotive de México.

El inflador del airbag de cortina es un componente esencial que asegura el despliegue eficiente y oportuno del sistema de seguridad, contribuyendo a la protección de los pasajeros en caso de un impacto. Diseñado para operar bajo estrictos estándares de calidad y seguridad, este inflador ensamblado y utilizado en iSi Automotive cuenta con certificaciones internacionales que avalan su desempeño:

- **AK-LV:** Normativa alemana que evalúa la calidad y fiabilidad de componentes clave en sistemas de seguridad automotriz.
- **USCAR:** Estándares de la industria automotriz en Estados Unidos que garantizan la compatibilidad y rendimiento de los componentes con vehículos modernos.
- **Certificación CE:** Requisito europeo que asegura la conformidad con regulaciones de seguridad y medioambiente, avalado por BAM P1 o PT1 y aprobado en la clase de transporte 9, aplicable a mercancías peligrosas.
- **DOT:** Certificación del Departamento de Transporte de Estados Unidos que verifica el cumplimiento de normativas específicas para su transporte y uso en vehículos.

El inflador destaca por su capacidad de liberar gas en menos de **1 milisegundo**, asegurando una reacción inmediata tras la activación. Su rango es adaptable según lo requerido, produciendo entre **15 y 130 litros de gas expandido**, con un volumen ajustable de **0.5 a 5.0 moles**.

Además, el diseño del inflador logra una distribución térmica uniforme. Estos modelos integran gas **helio**, capaces de alcanzar presiones de hasta **66 MPa**.

La instalación del inflador está pensada para adaptarse a las especificaciones del cliente, con una conexión axial de brida ajustada, flujo de gas radial y contactos enchufables orientados axialmente.

Materiales y Especificaciones del Inflador

El inflador del airbag de cortina está fabricado con materiales de alta calidad, seleccionados específicamente para cumplir con las exigencias de seguridad y rendimiento. Se divide en dos secciones, el tanque y el activador.

El tanque este hecho de **Acero al Carbón (700L)** que es utilizado por su capacidad de soportar cargas mecánicas extremas. Y dentro del el contiene **Helio (He)** a alta presión **a 660 Bar**, este gas es empleado para garantizar un despliegue del airbag.



Ilustración 12: Tanque del inflador. (iSi Atomotive de Mexico, 2024)

Por otro lado, tenemos el activador, este es el encargado de romper la membrana del tanque para que se libere el gas, en la parte superior tiene una entrada (**Reitaner**) en donde se conecta el arnés del automóvil, este está hecho de Polibutileno Tereftalato con 15% de Fibra de Vidrio (**PBT GF15**); este es polímero reforzado que combina resistencia mecánica y durabilidad, además es muy ligero. El activador esta hecho de Acero de Baja Aleación (**HC380LA**); este material proporciona una excelente combinación de resistencia y ductilidad, ideal para soportar las altas presiones generadas por la activación del inflador.

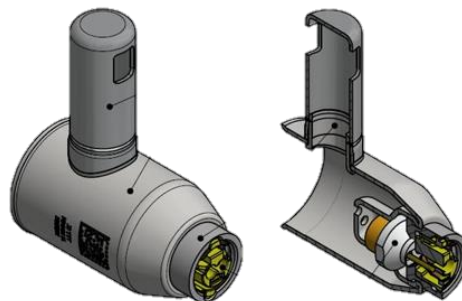


Ilustración 13: Activador del inflador (iSi Atomotive de Mexico, 2024)

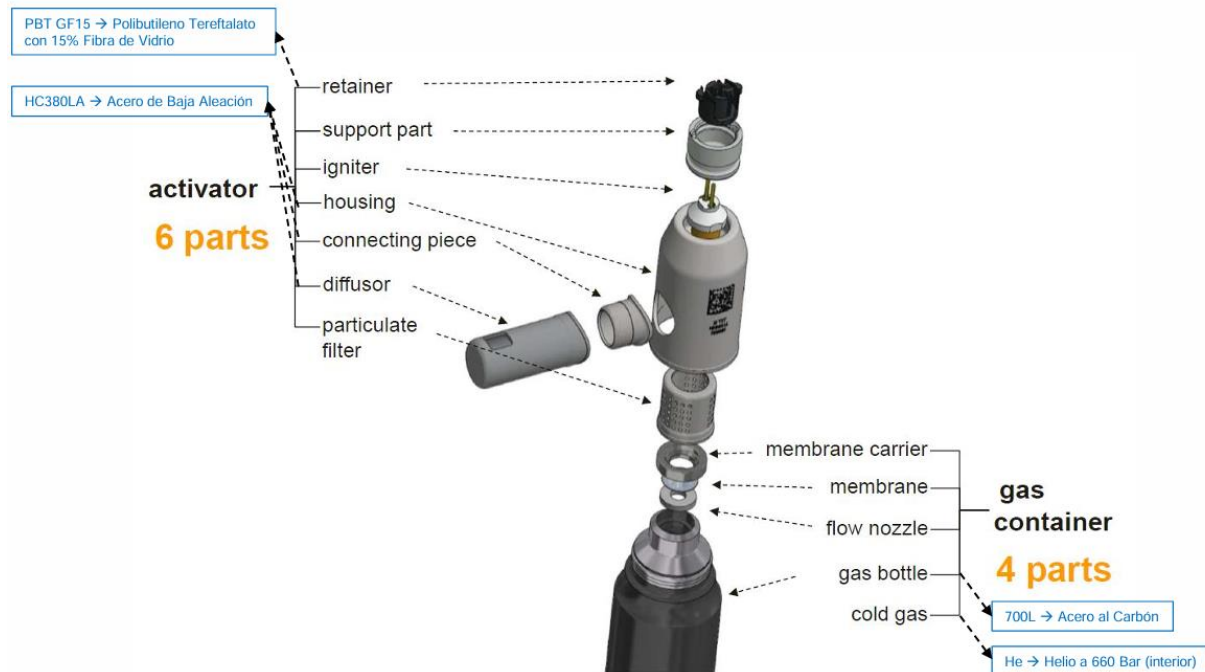


Ilustración 14: Partes del inflador. (iSi Atomotive de Mexico, 2024)

La secuencia de activación es la siguiente: Primero es la Ignición, es cuando se energiza el activador por medio del arnés, el segundo es el calentamiento de la membrana por medio del encendedor (**Igniter**), posteriormente la membrana se abre debido a la presión interna del tanque. Por último, el gas es liberado.

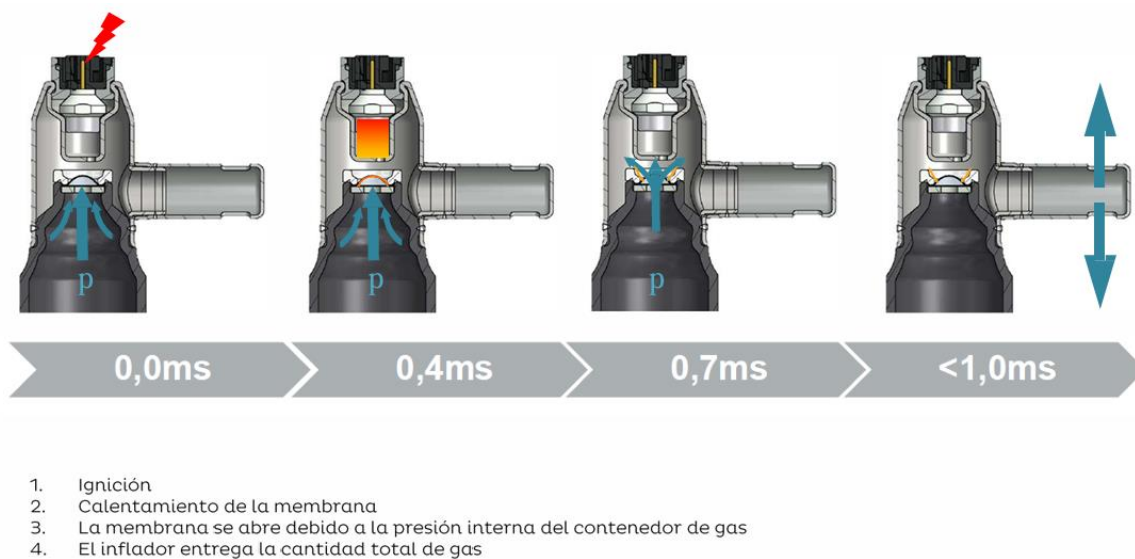


Ilustración 15: Secuencia de activación en milisegundos (ms). (iSi Atomotive de Mexico, 2024)

Descripción del Proceso de Ensamblaje, Soldadura y Control de Calidad en Infladores de Airbags en iSi Automotive México.

Estructura de la Máquina de Soldadura La máquina utilizada para la manufactura de infladores de airbags está dividida en dos secciones principales, y su operación es completamente automatizada. Cada sección cumple con funciones específicas en el proceso de ensamblaje, soldadura, etiquetado y prueba de calidad de los infladores.



Ilustración 16: Máquina de soldadura. Fotografía tomada por el autor.

Primera Sección: Ensamblaje, Soldadura y Etiquetado

- **Proceso de Ensamblaje:** En la fase inicial, se realiza el ensamblaje del inflador, que consiste en unir el tanque (previamente cargado con gas helio) y el activador. La unión de estas piezas es mediante una prensa hidráulica, que ejerce una fuerza de 3.2 kilo newtons (KN).
- **Proceso de Soldadura:** Posteriormente, el inflador pasa al proceso de soldadura, en el cual se utiliza un sistema de láser de fibra con una potencia de 3000 watts, de tipo

continuo, con una longitud de onda (λ) que oscila entre los 1068 a 1080 nm, que pertenece al rango del infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés). Este tipo de láser al estar en el espectro infrarrojo no es visible al ojo humano ya que no se percibe como luz visible.

Durante este proceso, el inflador rota sobre su propio eje en una base fija, mientras que un brazo de soldadura equipado con una boquilla aplica el láser sobre la superficie. Esta boquilla está protegida por un cristal, que evita daños provocados por las chispas generadas en el proceso.

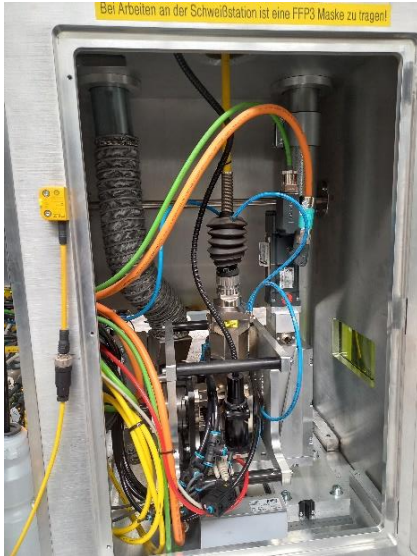


Ilustración 17: Área del láser. Fotografía tomada por el autor.



Ilustración 18: Especificaciones del láser. Fotografía tomada por el autor.

- **Control de Calidad en Soldadura:** Un sensor, conocido como "ojo", realiza un seguimiento del recorrido del láser. Este sensor monitorea el límite inferior y superior del láser, asegurando que el proceso de soldadura cumpla con los parámetros establecidos para evitar desviaciones o errores.

- **Proceso de Etiquetado:** La última fase en esta sección es el etiquetado de los infladores, preparándolos para la siguiente etapa.



Ilustración 19: Monitoreo de los límites superior e inferior de la soldadura. Fotografía tomada por el autor.

Segunda Sección: Prueba de Fuga En la segunda sección de la máquina, se llevan a cabo pruebas de fuga en los infladores para garantizar la hermeticidad del tanque. Para esta evaluación, los infladores son colocados en una de las tres cámaras de prueba, conocidas como "nidos". En cada cámara, se realiza una prueba de vacío con una sensibilidad de detección de fugas de 3.7×10^{-7} milibar litros por segundo.

- **Detección de Fugas:** La detección se realiza utilizando un detector de helio, el cual es capaz de identificar partículas de helio si existe una fuga en el inflador. Si se detecta la presencia de helio, el inflador se clasifica como scrap o desecho, debido a que no cumple con los estándares de calidad.

4. Materiales y Proceso de Fabricación de Componentes Los infladores se ensamblan a partir de dos componentes principales, ambos importados desde Europa: el tanque con gas y el activador (o detonador). El tanque se fabrica a partir de un tubo de acero, que es cortado y moldeado a la medida requerida.

- **Proceso de Moldeo del Tanque:** Durante el proceso, el acero es calentado y trabajado en un torno, donde se da forma a la parte inferior del tanque para que adquiera una configuración ovalada. En la parte superior, se le da forma a una membrana que cumple la función de retener el hidrógeno dentro del tanque.



Ilustración 20: Tanque antes de ser ensamblado con el activador. Imagen derecha se observa el tanque completo y en la imagen de la izquierda se observa la membrana.

5. **Normativa Aplicada** El proceso de manufactura y control de calidad de estos infladores está regulado bajo una norma establecida por el Departamento de Transporte (DOT) de los Estados Unidos, que supervisa los productos de seguridad.

Zona de Soldadura Laser en los infladores de airbags.

La zona de soldadura está localizada en la unión entre el activador y el inflador. Según datos proporcionados por el ingeniero encargado del proceso de manufactura, la trayectoria del láser abarca un giro angular que varía entre **365° y 422°**, dependiendo de las especificaciones del inflador. Sin embargo, estudios internos han determinado que el promedio del giro es de **319°**, asegurando una cobertura uniforme y efectiva de la soldadura.

Durante este proceso, el inflador gira sobre su propio eje en sentido **antihorario**, mientras que el láser se mantiene estático, teniendo como resultado una soldadura sentido **horario**. Este diseño asegura un control preciso de la trayectoria de soldadura.

Zona de soldadura



*Ilustración 21: Zona de soldadura.
Fotografía tomada por autor.*

Ventajas del Proceso

El método de soldadura láser utilizado en esta aplicación presenta varias ventajas:

- Alta precisión en la unión de componentes.
- Capacidad de ajuste para diferentes especificaciones de infladores.

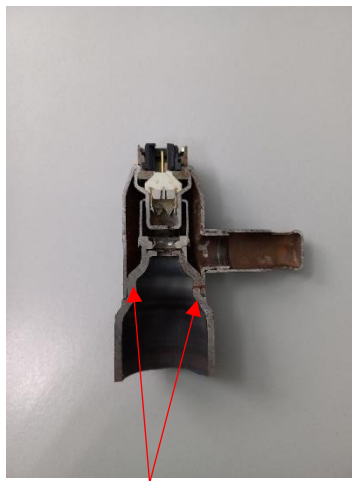


Ilustración 22: Área de soldadura en el interior del inflador. Fotografía tomada por autor

Proceso de análisis Metalográfico.

1. Preparación Inicial de Muestras

El proceso comienza con la preparación de las muestras. Estas son limpiadas cuidadosamente y luego sumergidas en un vaso de precipitados con alcohol isopropílico.



Este vaso se coloca en una tina de ultrasonido durante aproximadamente 15 minutos para eliminar cualquier residuo o impureza que pueda interferir en el análisis.

Ilustración 23: Muestras del inflador para el análisis de soldadura. Fotografía tomada por autor

2. Encapsulado de las Muestras en Probetas

Una vez limpias, las muestras son llevadas a la máquina *CitoPress-30*, que se encarga de encapsularlas en resina para formar las probetas. Esta máquina cuenta con dos torres, lo que permite fabricar dos probetas simultáneamente.

- En una de las torres se colocan las muestras y se añaden dos materiales: **DuroFast** y **PuriFast** (en ese orden).
- Luego, se cierra la torre y se inicia el proceso de encapsulado, que consta de dos etapas:
 - **Etapla caliente:** La temperatura alcanza hasta 180 °C, con una presión de hasta 300 bares, durante 9 minutos.

- **Etapa de enfriamiento:** La probeta es enfriada durante 3 minutos.



Ilustración 24: Proceso para realizar la probeta. En la imagen de la izquierda se observa la maquina (CitoPress-30) con las instrucciones de trabajo, en la imagen de en medio se observa la probeta terminada, en la imagen de la derecha se observa la parte inferior de la probeta mostrando las muestras. Fotografías tomadas por el autor

3. Lijado de las Probetas

Las probetas encapsuladas son transferidas a la máquina *Tegramin-30*, donde se realiza el lijado para obtener una superficie tipo espejo, indispensable para un análisis preciso.

- El proceso de lijado consta de seis pasos, usando diferentes tipos de lijas:
 - **Lijas con agua:** Granulometrías 120, 220 y 1200. Durante este paso, la máquina expulsa agua para facilitar el proceso.
 - **Lijas con suspensiones:** Lijas MD-Largo, MD-Mol y MD-Nap. Estas trabajan con tres tipos de suspensiones abrasivas, con partículas de 9, 3 y 1 micra, respectivamente.

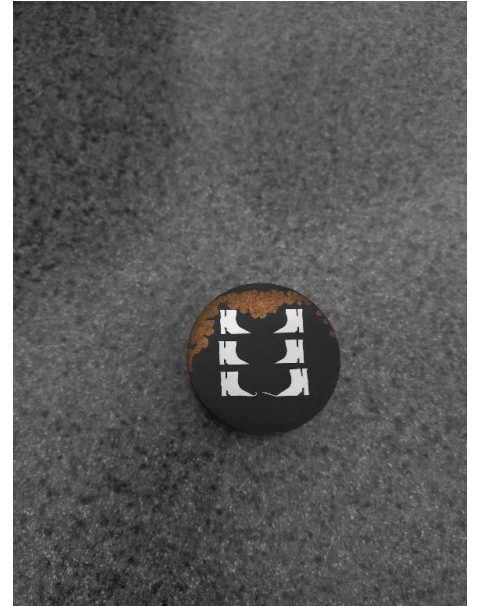
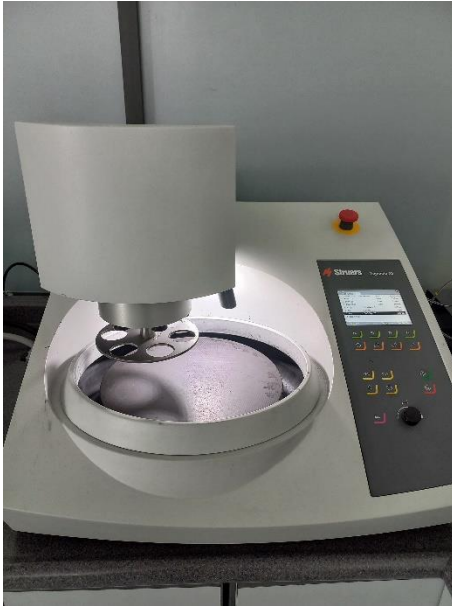


Ilustración 25: Proceso de lijado. En la imagen de la izquierda se muestra la maquina (Tegramin-30) encargada del lijado, en la imagen de en medio se observan los discos de lijado, y en la imagen de la derecha se observa la probeta con el acabado espejo. Fotografías tomadas por el autor.

4. Ataque Químico

Después del lijado, se realiza el ataque químico para revelar los detalles estructurales de la soldadura.

- La probeta se sumerge en un vaso de precipitados que contiene una solución de ácido nítrico al 3% (solución Nital). Esto permite revelar la microestructura de la soldadura, destacando posibles defectos o características relevantes.

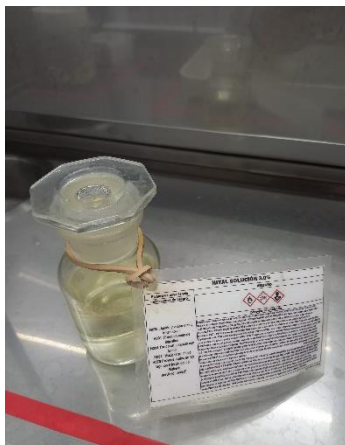


Ilustración 26: ácido nítrico al 3% (solución Nital). Fotografía tomada por el autor

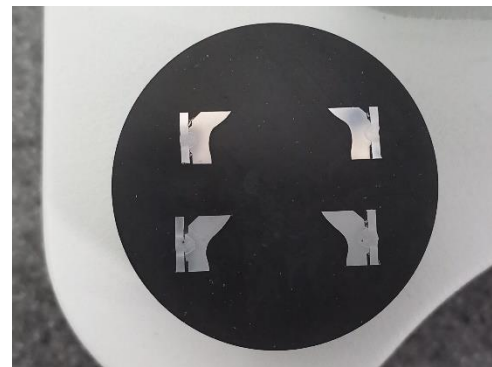


Ilustración 27: Revelación de la microestructura de la soldadura. Fotografía tomada por el autor.

5. Análisis en Microscopio

Finalmente, las probetas atacadas químicamente son evaluadas utilizando un microscopio metalográfico.

- Las imágenes obtenidas se proyectan en un ordenador, donde, con la ayuda de un software especializado, se realizan mediciones y análisis detallados de la soldadura. Estas herramientas permiten identificar defectos y evaluar las características de la unión soldada.

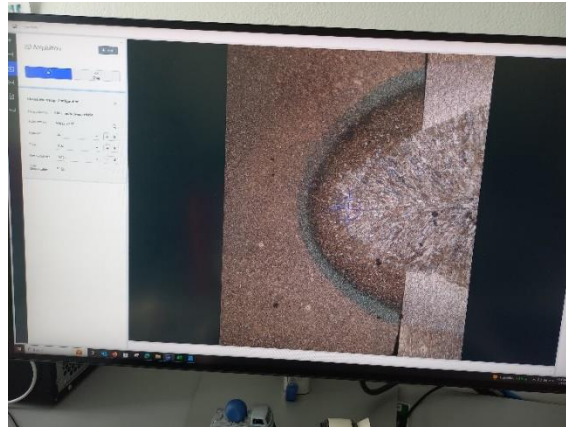


Ilustración 28: Microestructura de la soldadura bajo el microscopio utilizando un software en un ordenador. Fotografía tomada por el autor.

Preparación de Muestras para el Proyecto

Selección de Infladores

Para este proyecto, se aprobaron **10 infladores** que representan las condiciones típicas del proceso de soldadura láser en la empresa. En la siguiente figura se muestra una imagen con los infladores seleccionados.



Ilustración 29: Infladores para el análisis. Fotografía Tomada por autor.

Preparación de Muestras

De los infladores seleccionados, se realizaron diversos cortes estratégicos para evaluar diferentes aspectos de la soldadura láser. Las muestras se describen a continuación, de esa misma manera se agruparon para elaborar las probetas:

1. Corte Transversal (probeta 1)

- **Corte a la Mitad de la Soldadura:** Este corte permite evaluar la sección transversal en el centro de la trayectoria.

2. Cortes Longitudinales (probeta 2)

- **Inicio del Overlap:** Corte en la región donde comienza la trayectoria de soldadura.
- **Mitad del Overlap:** Corte en un punto intermedio del solapamiento de la soldadura.
- **Final del Overlap:** Corte en el punto donde la soldadura completa su trayectoria.

3. Cortes por Ángulos Específicos (probeta 3)

- **Corte en los 90° y 270°:** Muestra diseñada para observar los bordes opuestos de la soldadura.
- **Corte en los 0° y 180°:** Muestra que permite analizar los extremos de la soldadura en posiciones opuestas.

4. Cortes Aleatorios (probetas 4 y 5)

- Se realizaron **6 cortes aleatorios** para obtener una visión general de las condiciones de soldadura a lo largo de diferentes puntos del inflador.



Ilustración 31: Muestras con los cortes correspondientes. Fotografía tomada por el autor.



Ilustración 30: Probetas correspondientes a cada grupo. Fotografías tomadas por el autor.

Observaciones Especiales

Durante la inspección inicial de los infladores, se identificó un defecto visible a simple vista en uno de ellos. Este defecto corresponde a un **socavón** localizado en la soldadura, como se muestra en la siguiente figura. Este inflador fue incluido en el análisis para evaluar las causas del defecto y su impacto en la calidad de la soldadura.



Ilustración 32: Socavón en soldadura laser en uno de los infladores de muestra. Fotografía tomada por el autor

Resultados

Para llevar a cabo el análisis metalográfico de las soldaduras láser en los infladores de airbags, se seleccionaron cinco probetas, obtenidas a partir de diferentes infladores. Estas probetas fueron evaluadas bajo el microscopio con el objetivo de identificar y documentar los defectos presentes en las zonas soldadas. Los resultados obtenidos en cada probeta proporcionaron información clave sobre las variaciones y anomalías en el proceso de soldadura.

En la primera probeta analizada, correspondiente al corte transversal del inflador, se tomaron cuatro fotografías principales para documentar los hallazgos. Estas incluyen una vista general que muestra el **overlap**, una vista a **90°**, una vista a **270°** y una última imagen en la que se destacan las **porosidades** presentes en la zona soldada. Estas imágenes permitieron identificar los principales defectos encontrados.

El análisis de las porosidades reveló que la **distancia entre poros** varía entre **0.629 mm** y **1.1738 mm**, mientras que el **diámetro medio de los poros** oscila entre **0.223 mm** y **0.497 mm**. Según la norma **ISO 13919-1**, el diámetro medio permisible para poros en soldaduras críticas no debe superar 0.5 mm. En esta probeta, aunque la mayoría de los poros están dentro del rango aceptado, el valor superior de 0.497 mm se aproxima al límite permisible. Esto propone la necesidad de monitorear el proceso para prevenir que los diámetros medios excedan los criterios de aceptación.

En la zona correspondiente al **overlap**, se realizaron mediciones adicionales para evaluar las dimensiones generales. El grosor total del inflador en esta sección fue de **4.023 mm**, mientras que la soldadura alcanzó una **profundidad de 2.54 mm**, representando el **63.1%** de penetración respecto al grosor total lo que representa una parte significativa de la sección total. Según la norma **AWS D17.1**, una penetración mínima aceptable para soldaduras críticas debe estar entre 60% y 80% del grosor total. El resultado obtenido cumple con este criterio, indicando una penetración adecuada.

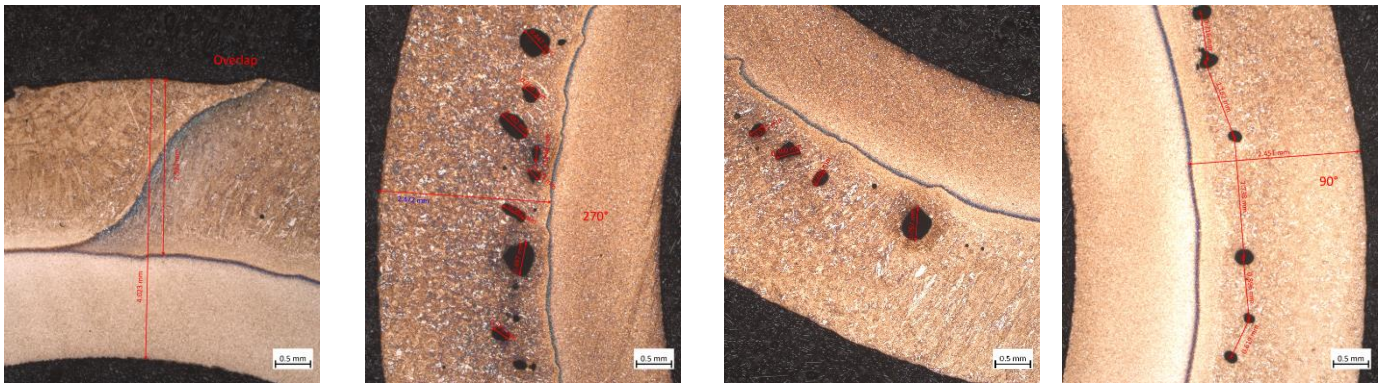


Ilustración 33: Probeta 1 con muestra de corte transversal. Fotografías tomadas por autor.

En la **segunda probeta analizada**, se estudió la sección del **overlap**, dividiéndolo en tres áreas clave: el inicio, la mitad y el final del overlap. Las mediciones realizadas en estas zonas permitieron identificar las distancias presentes en las curvas generadas por la acumulación de material de la soldadura.

En el **inicio del overlap**, se observó una distancia de **1.796 mm** en la parte superior y de **1.468 mm** en la parte inferior. Esto indica una ligera irregularidad en la distribución del material al comienzo de la soldadura.

En la **mitad del overlap**, se registraron distancias de **2.522 mm** en la parte superior y **2.127 mm** en la parte inferior. Estas mediciones evidencian un aumento en la acumulación de material, probablemente debido a la superposición de la soldadura en esta sección.

Finalmente, en el **final del overlap**, se midieron distancias de **1.942 mm** y **1.134 mm** en las zonas superior e inferior, respectivamente. Aquí, la acumulación de material disminuyó en comparación con la mitad del overlap, posiblemente por el cierre del proceso de soldadura.

Estas observaciones permiten identificar variaciones significativas en la geometría del overlap a lo largo del proceso.

Aunque la norma **ISO 13919-1** no especifica tolerancias para las distancias del material acumulado, estas variaciones pueden generar tensiones residuales o irregularidades en la calidad de la soldadura. Los resultados evidencian irregularidades que podrían ser consecuencia de fluctuaciones en la velocidad de desplazamiento del láser o en la distribución del material.

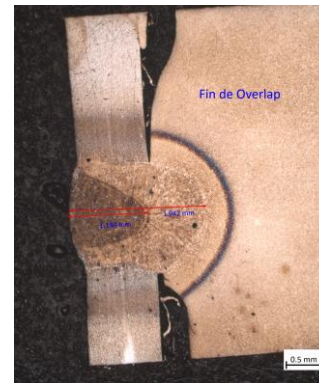
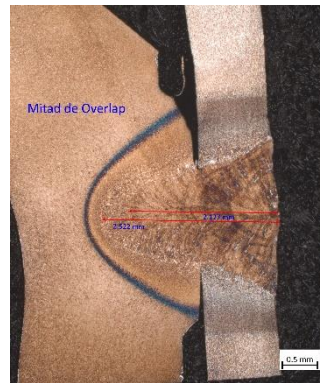
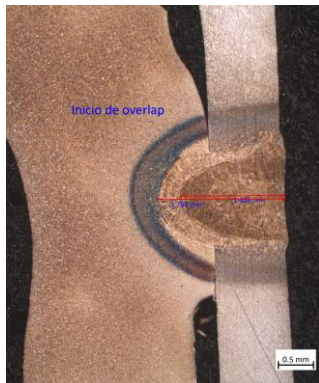


Ilustración 34: Probeta 2 con muestras de los cortes del overlap. Fotografías tomadas por autor.

En la **tercera probeta analizada**, se tomaron tres imágenes clave para evaluar las características de la soldadura. La primera imagen, correspondiente a la vista a **180 grados**, muestra una curva generada por la acumulación de material con una distancia de **1.839 mm**.

Adicionalmente, se tomaron fotografías del **lado derecho** y del **lado izquierdo** de la misma muestra, en las cuales se identificó la presencia de poros. El poro ubicado en el lado derecho tiene un diámetro de **0.328 mm**, mientras que el poro del lado izquierdo presenta un diámetro de **0.240 mm**. Estas mediciones destacan la presencia de defectos distribuidos a lo largo de la muestra.

Ambos diámetros medios cumplen con los criterios de la norma **ISO 13919-1**, al estar muy por debajo del límite máximo permisible de **0.5 mm**.

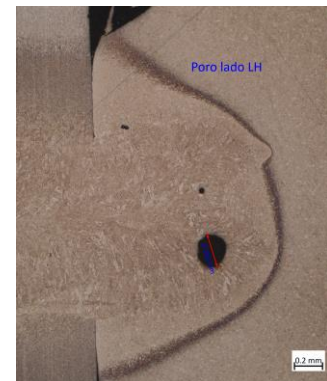
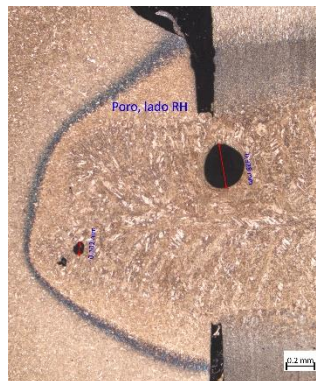
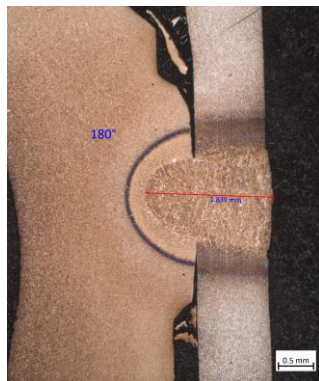


Ilustración 35: Probeta 3; con corte a los 180° y lados derecho e izquierdo con poro. Fotografías tomadas por el autor.

En la **cuarta y quinta probeta**, la mayoría de las muestras evidencian una calidad apropiada en la soldadura. Sin embargo, se identificaron **dos excepciones** con la presencia de poros. En una de las muestras, se detectó un poro con un diámetro medio de **0.197 mm**, mientras que en la otra el poro tenía un diámetro de **0.180 mm**.

Ambos diámetros medios cumplen con los límites establecidos por la norma **ISO 13919-1** donde los diámetros medios no deben superar los 0.5 mm. Estos resultados refuerzan la conclusión de que estas soldaduras tienen una calidad apropiada.



Ilustración 36: Probetas 4 y 5; muestras con poros. Fotografías tomadas por el autor.

Conclusiones

El análisis metalográfico de las soldaduras láser en los infladores de airbags ha permitido identificar defectos clave como porosidades y desajustes en la profundidad de la soldadura, con tamaños de poros que varían entre 0.180 mm y 0.497 mm, así como distancias entre poros de hasta 1.173 mm. Si bien las muestras en su mayoría mostraron resultados dentro de la normatividad, dos muestras presentaron defectos menores pero significativos en términos de tamaño de los poros.

La mayoría de los resultados obtenidos cumplen con los límites establecidos por las normativas internacionales **ISO 13919-1** y **AWS D17.1**, sin embargo, algunos valores, como el diámetro medio de los poros más cercanos al límite permisible y las variaciones en la distribución del material en el overlap estos resultados apuntan a una posible relación entre los parámetros de soldadura como pueden ser la potencia de emisión del láser, velocidad de desplazamiento y distancia focal, como también la presencia de humedad o algún contaminante en los componentes del inflador. Es necesario considerar una revisión detallada de los parámetros del proceso así como implementar un monitoreo en tiempo real para prevenir variaciones inesperadas. La mejora del control sobre la soldadura láser podría mejorar la calidad de las uniones y reducir la frecuencia de defectos, lo que tendría un impacto positivo.

Este análisis metalográfico para soldadura laser en infladores de airbags no sólo proporciona una evaluación del estado actual de la soldadura láser en los infladores, sino que también ofrece una base para la implementación de mejoras en los procesos de manufactura. El estudio abre la puerta a futuras investigaciones que puedan optimizar los parámetros de soldadura y desarrollar soluciones que minimicen defectos, asegurando un nivel de calidad que cumpla con los estrictos requisitos de la industria automotriz.

Propuestas correctivas.

El análisis realizado en el presente proyecto ha permitido identificar diversas áreas de oportunidad para mejorar la calidad del proceso de soldadura en los infladores de air bags.

Para abordar estos problemas y optimizar la calidad del proceso de soldadura, se proponen tres soluciones que no sólo buscan corregir los defectos actuales, sino también prevenir futuras incidencias. Estas propuestas incluyen la implementación de un dispositivo para el secado y descontaminación de los tanques y activadores, un sistema de control automático de parámetros de soldadura y un sistema de inspección post-soldadura basado en tecnología de ultrasonido.

A continuación, se presentan los detalles de cada una de estas soluciones.

Propuesta 1: Implementación de un Dispositivo para Secado y Descontaminación de Tanques y Activadores

Objetivo: El propósito de esta propuesta es diseñar un dispositivo que garantice que los tanques y activadores estén completamente secos y libres de contaminantes antes de iniciar el proceso de soldadura, lo que ayudará a reducir los defectos de soldadura derivados de humedad o residuos que puedan afectar la soldadura.

Descripción: El dispositivo consistirá en una cabina compacta diseñada específicamente para el secado y descontaminación de tanques y activadores, que podría integrarse directamente en la línea de producción. Esta cabina estará equipada con un sistema de aire caliente controlado o deshumidificadores industriales para garantizar la eliminación completa de la humedad. También incorporará un sistema de filtrado de alta eficiencia, que capturen partículas, eliminando polvo, residuos metálicos y otros contaminantes.

El transporte de los tanques y activadores dentro y fuera del dispositivo se realizará mediante una banda transportadora, diseñada para minimizar el contacto manual.

Adicionalmente, la cabina contará con sensores integrados para monitorear continuamente los niveles de humedad y la calidad del aire en el interior.

1. **Secado eficaz:** El dispositivo tendría un sistema de calefacción controlado de aire caliente para secar los tanques y activadores, eliminando cualquier rastro de humedad. Se incorporaría un sistema de control para garantizar un mínimo nivel de humedad, minimizando la posibilidad de aparición de porosidades o fisuras.
2. **Filtrado de contaminantes:** El sistema de filtrado se diseñaría para eliminar partículas sólidas, como polvo, residuos metálicos microscópicos o cualquier contaminante generado durante la manipulación previa. Para ello, se implementarían filtros de alta eficiencia, como los de tipo HEPA o ULPA, capaces de capturar partículas de hasta 0.3 micrones o más pequeñas. Además, se incluiría un mecanismo de succión controlada para asegurar que cualquier partícula suspendida en el aire dentro del dispositivo sea retirada de manera efectiva antes de liberar los componentes para el siguiente paso.
3. **Integración:** El dispositivo se ubicaría al inicio del proceso de manufactura, justo antes de la inserción de los tanques y activadores en la máquina de soldadura. Este sistema garantizaría que los tanques y activadores pasen directamente al área de carga en las condiciones óptimas, sin requerir intervención manual adicional. Se consideraría además la implementación de sensores de humedad y partículas que monitoreen en tiempo real la calidad del secado y filtrado, con alertas en caso de anomalías.

Propuesta 2: Implementación de un Sistema de Control Automático de Parámetros de Soldadura

Objetivo: Implementar un sistema que controle automáticamente los parámetros de soldadura (potencia, velocidad de avance, distancia focal) durante todo el proceso, con el fin de mejorar la calidad de la soldadura y reducir defectos como porosidades, fisuras y desalineación.

Descripción: Este sistema estaría compuesto por sensores de monitoreo en tiempo real, los cuales medirían distintas variables críticas durante el proceso de soldadura. Estos sensores serían capaces de ajustarse a las condiciones del proceso para mantener los parámetros de soldadura.

1. **Sensores en tiempo real:** Sensores de temperatura, intensidad de láser y distancia focal que deberán monitorear las condiciones del proceso.
2. **Ajuste automático:** Los parámetros de soldadura, como la potencia y la velocidad, se ajustarían en tiempo real para corregir cualquier desviación detectada por los sensores, manteniendo las soldaduras dentro de los límites aceptables.
3. **Interfaz de control:** La interfaz del sistema permitiría a los operadores visualizar en tiempo real los ajustes automáticos que se están realizando.

Propuesta 3: Implementación de un Sistema de Inspección Post-Soldadura con Ultrasonido

Descripción:

El sistema de inspección post-soldadura con ultrasonido consiste en un equipo que utiliza tecnología de ultrasonido para detectar defectos internos en las zonas soldadas de los infladores. Este proceso se basa en la emisión y recepción de ondas ultrasónicas de alta frecuencia que penetran las soldaduras. Al encontrar un defecto interno, como porosidades o fisuras, las ondas se reflejan de manera irregular y son captadas por los sensores del sistema.

El proceso de inspección incluye los siguientes pasos:

1. **Emisión de ondas ultrasónicas:** Un transductor ultrasónico emite ondas hacia el interior de la zona soldada. Estas ondas se propagan a través del material y reflejan información sobre su estructura interna.
2. **Recepción y análisis:** Las ondas reflejadas son captadas por el mismo transductor o un receptor. La información recolectada se procesa mediante un software especializado que genera imágenes en tiempo real, mostrando cualquier irregularidad en el interior de la soldadura.
3. **Generación de informes:** El sistema convierte las imágenes obtenidas en datos detallados que incluyen la ubicación, tamaño y tipo de defecto detectado. Estos resultados se almacenan en una base de datos para trazabilidad y revisiones posteriores.

Integración con la línea de producción:

El equipo de ultrasonido se ubicará al final de la línea de producción, justo después del proceso de soldadura. Las piezas pasarán por la estación de inspección mediante una banda transportadora. El sistema contará con sensores que detecten el paso de cada pieza, activando el análisis ultrasónico.

Si se detectan defectos, el sistema separará las piezas defectuosas de manera automática mediante una compuerta o desviador en la banda transportadora, dirigiéndolas a una zona de retrabajo o desecho.

Competencias desarrolladas**Competencias Desarrolladas**

Durante este proyecto, adquirí conocimientos técnicos esenciales sobre la soldadura láser y su impacto en la seguridad automotriz. También me familiaricé con el análisis metalográfico, desde la preparación de probetas hasta el análisis bajo el microscopio.

Desarrollé habilidades organizativas al administrar mi tiempo, cumpliendo con los objetivos del proyecto y las actividades adicionales asignadas. Además, el trabajo en equipo fue clave, colaborando con colegas y asesores para obtener mejores resultados.

En cuanto a valores, este proyecto me permitió reforzar actitudes como la responsabilidad, la paciencia, el optimismo, la lealtad y la honestidad. Estas cualidades no sólo me ayudaron a superar desafíos, sino también a mantener buenas relaciones con los objetivos del proyecto y de la organización.

Este aprendizaje me permitió comprender mejor los procesos de manufactura, valorar la importancia de respetar los estándares establecidos y reconocer el impacto positivo del trabajo ético y colaborativo en el ámbito profesional.

Referencias

- AccTek. (s.f.). Obtenido de ¿Qué defectos de soldadura pueden ocurrir en la soldadura láser? ¿Cómo solucionarlos?: <https://www.accteklaser.com/es/que-defectos-de-soldadura-pueden-ocurrir-en-la-soldadura-laser-como-solucionarlo/>
- AIRGAB 24/7. (s.f.). Obtenido de Airbag Auto: Todo lo que Necesitas Saber sobre su Funcionamiento, Seguridad y Mantenimiento: <https://airbag247.cl/airbag-auto-como-funciona-problemas-comunes-y-consejos-de-mantenimiento/>
- Automotriz Mobi. (s.f.). Obtenido de Una introducción a la Airbags: <https://www.automotriz.mobi/coches/driving-safety/car-accidents/144924.html>
- Baison. (11 de Diciembre de 2023). Obtenido de 7 tipos de soldadura láser que debes conocer: <https://es.baisonlaser.com/blog/types-of-laser-welding/>
- Ciencia de hoy. (s.f.). Obtenido de La historia de los airbags: <https://cienciadehoy.com/la-historia-de-los-airbags/>
- Freire, N. (03 de Agosto de 2024). *National Geographic España*. Obtenido de Airbag, la tecnología que te salva la vida en milisegundos: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/airbag-tecnologia-que-te-salva-vida-milisegundos_22876
- INSERMAING Mantenimiento Industrial. (s.f.). *INSERMAING Mantenimiento Industrial*. Obtenido de Soldadura láser: La tecnología que transforma la industria: <https://www.insermaing.es/blog-de-soldadura/soldadura-laser/>
- Instituto Nacional de Tecnologia Aeroespacial. (s.f.). Obtenido de ¿Qué es un airbag? ¿cómo se consigue inflar un airbag en centésimas de segundo?: <https://www.inta.es/descubre-y-aprende/es/Curiosidades/Trasladarnos-en-vehiculos/que-es-un-airbag/>
- iSi Atomotive de Mexico. (2024). Tanque del inflador de AirBag. Cuapiaxtla, Tlaxcala, Mexico.
- Jimenez, C. (22 de Agosto de 2021). *Laminas y aceros*. Obtenido de Errores más comunes en la soldadura: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/errores-m%C3%A1s-comunes-en-la-soldadura>

Keyence. (s.f.). Obtenido de Conceptos básicos de la soldadura automatizada:

<https://www.keyence.com.mx/ss/products/measure/welding/laser/>

Loctite Teroson. (20 de Enero de 2021). *Loctite Teroson*. Obtenido de Tipos de airbag, componentes y funcionamiento: <https://blog.reparacion-vehiculos.es/tipos-de-airbag>

RedHistoria. (16 de Mayo de 2019). Obtenido de El primer rayo láser de la historia, creado por Theodore Mainman: <https://redhistoria.com/el-primer-rayo-laser-de-la-historia-creado-por-theodore-mainman/>

Shane. (11 de Agosto de 2023). *Historia de la soldadura laser: Evolucion e investigacion*.

Obtenido de MACHINE MFG: <https://www.machinemfg.com/es/laser-welding-history/>

Shane. (2 de Agosto de 2023). *Machine MFG*. Obtenido de 5 Tipos de defectos en la soldadura láser: <https://www.machinemfg.com/es/solutions-to-defects-in-laser-welding/>

Share me. (12 de Junio de 2020). Obtenido de Una breve historia del Airbag: <https://share-danielfeau.com/es/una-breve-historia-del-airbag/>

Universal Laser Systems. (s.f.). Obtenido de Historia de la tecnología laser:

<https://www.ulsinc.com/es/conocer/historia-del-l%C3%A1ser>

V8 Project. (31 de Agosto de 2017). Obtenido de Mercedes y los 30 años del airbag para el acompañante: <http://v8project.com.ar/2017/08/31/mercedes-y-los-30-anos-del-airbag-para-el-acompanante/>