



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

“Diagnóstico de cordones de suelda en chasis de vehículos livianos a base de líquidos penetrantes.”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

**Línea de investigación:** Producción Industrial y Tecnología Sostenible

**AUTOR:**

Wilson Adrián Chávez Latacumba

**DIRECTOR:**

Ing. Erik Paul Hernández Rueda MSc.

Ibarra-Ecuador

**2026**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

## IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	<b>DE</b>	1004568349	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	<b>Y</b>	Chávez Latacumba Wilson Adrián	
<b>DIRECCIÓN:</b>	Panamericana Antigua – Calle Bolivia		
<b>EMAIL:</b>	wachavezl@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELF. MOVIL</b>	096862671

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Diagnóstico de cordones de suelda en chasis de vehículos livianos a base de líquidos penetrantes
<b>AUTOR (ES):</b>	Chávez Latacumba Wilson Adrián
<b>FECHA: AAAAMMDD</b>	2026/03/27
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
<b>CARRERA/PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERO AUTOMOTRIZ
<b>DIRECTOR:</b>	MSc. Paul Hernández



## AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, CHÁVEZ LATACUMBA WILSON ADRIÁN, con cédula de identidad Nro. 1004568349, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 27 días del mes de Marzo de 2026

### EL AUTOR:

.....

CHÁVEZ LATACUMBA WILSON ADRIÁN



### CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 27 días, del mes de Marzo de 2026

#### **EL AUTOR:**

.....

CHÁVEZ LATACUMBA WILSON ADRIÁN



**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Ibarra, 27 de Marzo de 2026

Ing. Hernández Rueda Erik Paul MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

*(f)* .....

*Ing. Hernández Rueda Erik Paul MSc.*

*C.C.: 1002978060*



El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “**Diagnóstico de cordones de solda en chasis de vehículos livianos a base de líquidos penetrantes**” elaborado por Chávez Latacumba Wilson Adrián, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f):.....

*Ing. Hernández Rueda Erik Paul MSc.*

C.C.: 1002978060

(f):.....

*Ing. Mafla Yopez Carlos Nolasco PhD.*

C.C.: 0401447826



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación, con todo mi amor y gratitud, a mi familia. Ustedes han sido mi puerto seguro y el motor incombustible de mis sueños; gracias por los sacrificios silenciosos, por la paciencia infinita y por enseñarme que no hay meta inalcanzable cuando se tiene el respaldo de un hogar.

A mis amigos, mis compañeros de batalla. Gracias por las largas jornadas de estudio, por los consejos en los momentos de crisis y por esa hermandad que hizo que los desafíos de la carrera se transformaran en anécdotas inolvidables. Sin su apoyo, el camino habría sido mucho más difícil.

Finalmente, extiendo mi más profundo reconocimiento a los ingenieros y mentores que formaron parte de mi preparación académica. Gracias por compartir su sabiduría con generosidad y por exigir de mí lo mejor en cada proyecto. Su pasión por la excelencia fue la chispa que impulsó este trabajo y su guía técnica fue el pilar fundamental para culminar con éxito mi formación profesional.



### **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, por brindarme el espacio y las herramientas necesarias para mi formación profesional.

De manera especial, agradezco al MSc. Paul Hernández, por su valiosa guía académica, su paciencia y sus acertadas correcciones, las cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de esta investigación.

Finalmente, extendo mi reconocimiento a todas las personas e instituciones que, de manera directa o indirecta, facilitaron la obtención de información y brindaron su apoyo técnico durante la ejecución de este trabajo.



## RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación se genera debido a la necesidad de garantizar la integridad estructural y la seguridad de los chasis de vehículos livianos, debido a que las uniones permanentes están sometidas a cargas dinámicas, vibraciones y esfuerzos regularmente que pueden generar discontinuidades no perceptibles a simple vista, el objetivo general fue diagnosticar los cordones de soldadura de los chasis mediante ensayos no destructivos por líquidos penetrantes, con el fin de identificar la presencia de fisuras o discontinuidades en la superficie de los puntos críticos. La metodología aplicada consistió tanto en la inspección visual y la aplicación del ensayo con líquidos penetrante en probetas que fueron soldadas bajo condiciones controladas siguiendo la normativa AWS D1.3, así como en los puntos críticos de los chasis de vehículos funcionales. Siguiendo pasos que se encuentran regularizados por la normativa ASTM 1417, además de ello la aplicación de los criterios de aceptación establecidos por la normativa ASME sección VIII, párrafo 1 para la interpretación de las indicaciones. Los resultados obtenidos evidenciaron la presencia de discontinuidades como lo son poros, falta de fusión, falta de penetración, socavados entre otras fallas superficiales encontradas a lo largo de los cordones de soldadura, especialmente en aquellas que son expuestas a mayores esfuerzos. Debido a ello la inspección por líquidos penetrantes es un método eficaz, accesible y confiable para la detección temprana de fisuras en los cordones de soldadura, permitiendo prevenir fallas estructurales optimizar los procesos de mantenimiento y mejorar los criterios de control de calidad en la industria automotriz.

**Palabras clave:** Ensayos no destructivos, líquidos penetrantes, chasis de vehículos, probetas, puntos críticos, soldadura.



## ABSTRACT

This research arose from the need to ensure the structural integrity and safety of light vehicle chassis. Permanent joints are subjected to dynamic loads, vibrations, and stresses that can generate discontinuities not visible to the naked eye. The overall objective was to diagnose chassis welds using non-destructive testing with penetrant liquids to identify the presence of cracks or discontinuities on the surface of critical points. The methodology consisted of both visual inspection and penetrant testing on specimens welded under controlled conditions according to AWS D1.3, as well as on critical points of functional vehicle chassis. The procedures followed the guidelines established by ASTM D1417, and the acceptance criteria established by ASME Section VIII, Paragraph 1 were applied for interpreting the results. The results obtained revealed the presence of discontinuities such as porosity, lack of fusion, lack of penetration, undercutting, and other surface defects found along the weld beads, especially in those exposed to greater stress. Therefore, liquid penetrant inspection is an effective, accessible, and reliable method for the early detection of cracks in weld beads, allowing for the prevention of structural failures, optimization of maintenance processes, and improvement of quality control criteria in the automotive industry.

**Keywords:** Non-destructive testing, penetrant liquids, vehicle chassis, test specimens, critical points, welding.



## **LISTA DE SIGLAS**

**ASME.** Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos

**AWS.** Sociedad Americana de Soldadores.

**SMAW.** Soldadura por Arco de Metal Protegido.

**MAG.** Gas Activo Metálico.

**END.** Ensayos No Destructivos.

**SAE.** Sociedad de Ingenieros Automotrices.



**ÍNDICE DE CONTENIDO**

**CAPÍTULO I..... 17**

**INTRODUCCIÓN ..... 17**

**1.1 Problema de investigación..... 17**

**1.2 Objetivos ..... 18**

**1.2.1 Objetivo general..... 18**

**1.2.2 Objetivos específicos..... 18**

**1.3 Formulación del problema de investigación ..... 18**

**CAPÍTULO II ..... 20**

**MARCO TEÓRICO ..... 20**

**2.1 Antecedentes ..... 20**

**2.2 Bases teóricas..... 22**

**2.2.1 Unión de metales..... 22**

**2.2.2 Normativa de soldadura..... 28**

**2.2.3 Comprobación de discontinuidades mediante ensayos ..... 29**

**2.2.3 Líquidos penetrantes. .... 32**

**2.2.4 Ventajas y limitaciones..... 34**

**2.2.5 Normativa de ensayos no destructivos ..... 35**

**2.2.6 Fallas estructurales..... 36**

**2.2.7 Comprobación de uniones en chasis ..... 37**

**CAPÍTULO III..... 41**

**MATERIALES Y MÉTODOS ..... 41**

**3.1 Materiales..... 41**

**3.1.1 Probetas de material equivalente al chasis..... 41**

**3.1.2 Chasis de los vehículos. .... 42**

**3.1.3 Chasis vehículo GO-KART..... 44**

**3.1.4 Equipos de soldadura y consumibles ..... 45**

**3.1.5 Líquidos penetrantes ..... 48**

**3.2 Metodología..... 52**

**3.2.1 Estructura del método utilizado..... 53**

**3.2.2 Secuencia de procedimiento de uniones..... 54**

**3.2.3 Casos reales chasis de los vehículos..... 58**



<b>3.2.3 Desarrollo de ensayos no destructivos .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.4 Criterios de aceptación mediante la evaluación con líquidos penetrantes. ....</b>	<b>64</b>
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>67</b>
<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>67</b>
<b>4.1 Elementos seleccionados para la inspección .....</b>	<b>67</b>
<b>4.2 Inspección visual de soldaduras .....</b>	<b>68</b>
<b>4.2.1 Uniones de soldadura en probetas .....</b>	<b>69</b>
<b>4.2.2 Uniones de soldadura en los chasis de los vehículos .....</b>	<b>71</b>
<b>4.2.3 Uniones de soldadura en los chasis karting.....</b>	<b>74</b>
<b>4.3 Inspección por líquidos penetrantes .....</b>	<b>76</b>
<b>4.3.1 Aplicación del líquido limpiador .....</b>	<b>76</b>
<b>4.3.2 Aplicación del líquido penetrante .....</b>	<b>78</b>
<b>4.3.3 Aplicación del líquido revelador .....</b>	<b>80</b>
<b>4.4 Análisis. ....</b>	<b>83</b>
<b>4.4.1 Análisis de resultados de ensayos mediante líquidos penetrantes probetas .....</b>	<b>84</b>
<b>4.4.2 Análisis de resultados de ensayos mediante líquidos penetrantes de cordones de soldadura en uniones críticas del chasis. ....</b>	<b>88</b>
<b>4.4.3 Análisis de resultados de ensayos mediante líquidos penetrantes en cordones de soldadura en Go-kart .....</b>	<b>108</b>
<b>4.4.4 Comparaciones de chasis de un vehículo sin accidentes y uno con accidentes. ....</b>	<b>110</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>113</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>115</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>116</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tipos de uniones desmontables para cada material .....	25
<b>Tabla 2.</b> Uniones permanentes. ....	28
<b>Tabla 3.</b> Normas para soldaduras. ....	28
<b>Tabla 4.</b> Tipos y procesos de líquidos penetrantes. ....	33
<b>Tabla 5.</b> Normativa para ensayos no destructivos mediante líquidos penetrantes. ....	35
<b>Tabla 6.</b> Clasificación y tipos de fisuras. ....	37
<b>Tabla 7.</b> Propiedades Mecánicas – Acero HSLA Docol 420LA. ....	40
<b>Tabla 8.</b> Propiedades del material SAE 1020 .....	41
<b>Tabla 9.</b> Unidad vehicular y especificaciones técnicas. ....	42
<b>Tabla 10.</b> Especificaciones técnicas Go - Kart. ....	44
<b>Tabla 11.</b> Especificaciones técnicas del equipo BP 250 AMP .....	45
<b>Tabla 12.</b> Especificaciones electrodo E6013. ....	46
<b>Tabla 13.</b> Especificaciones técnicas del equipo BP WELDPACK. ....	47
<b>Tabla 14.</b> Especificaciones alambre ER70S-6. ....	48
<b>Tabla 15.</b> Especificaciones técnicas del líquido removedor .....	49
<b>Tabla 16.</b> Especificaciones técnicas del líquido penetrante .....	50
<b>Tabla 17.</b> Especificaciones técnicas del líquido revelador. ....	51
<b>Tabla 18.</b> Parámetros operativos proceso SMAW. ....	56
<b>Tabla 19.</b> Parámetros operativos proceso MAG .....	57
<b>Tabla 20.</b> Soldadura SMAW en condiciones normales. ....	69
<b>Tabla 21.</b> Soldadura SMAW con amperaje aumentado. ....	69
<b>Tabla 22.</b> Soldadura MAG en condiciones normales .....	70
<b>Tabla 23.</b> Soldadura MAG condiciones de intemperie y aumento de amperaje. ....	71
<b>Tabla 24.</b> Aplicación del líquido limpiador en probetas. ....	76
<b>Tabla 25.</b> Aplicación del líquido penetrante en probetas. ....	79
<b>Tabla 26.</b> Aplicación de líquido revelador probetas .....	81



**ÍNDICE DE FIGURAS**

**Figura 1.** Uniones temporales ..... 23

**Figura 2.** Soldadura por arco eléctrico..... 26

**Figura 3.** Proceso MIG..... 27

**Figura 4.** Soldadura TIG. .... 27

**Figura 5.** Fundamentos de las tintas penetrantes. .... 33

**Figura 6.** Placa del material SAE 1020..... 41

**Figura 7.** Equipo BP 250 AMP ..... 45

**Figura 9.** Equipo BP WELDPACK ..... 47

**Figura 11.** Líquido Limpiador ..... 49

**Figura 12.** Líquido penetrante..... 50

**Figura 13.** Líquido revelador ..... 51

**Figura 14.** Diagrama de flujo, estructura de metodología ..... 53

**Figura 15.** Procedimiento de soldaduras..... 54

**Figura 16.** Dimensiones de las placas..... 55

**Figura 17.** Junta de tope cuadrada ..... 55

**Figura 18.** Uniones en los chasis ..... 58

**Figura 19.** Desarrollo de inspección visual..... 59

**Figura 20.** Limpieza manual con cepillo de cerdas metálicas ..... 60

**Figura 21.** Proceso mediante líquidos penetrantes..... 61

**Figura 22.** Evaluación de criterios de aceptación ..... 64

**Figura 23.** Grieta en forma de estrella ..... 65

**Figura 24.** Falta de fusión ..... 66

**Figura 25.** Soportes de motor..... 72

**Figura 26.** Soportes de suspensión delantera. .... 73

**Figura 27.** Largueros..... 73

**Figura 28.** Soportes de suspensión trasera ..... 74

**Figura 29.** Cordones de soldadura de uniones de Go Kart. .... 75

**Figura 30.** Aplicación del líquido limpiador en las distintas uniones..... 78

**Figura 31.** Aplicación de líquido penetrante chasis de vehículos. .... 80



<b>Figura 32.</b> Aplicación de líquido penetrante en chasis Go Kart. ....	80
<b>Figura 33.</b> Aplicación de líquido revelador en chasis.....	82
<b>Figura 34.</b> Análisis de ensayos Probeta N°1 SMAW. ....	84
<b>Figura 35.</b> Análisis de ensayos Probeta N°2 SMAW. ....	85
<b>Figura 36.</b> Análisis de ensayos Probeta N°1 MAG. ....	86
<b>Figura 37.</b> Análisis de ensayos Probeta N°2 MAG. ....	87
<b>Figura 38.</b> Aparición de discontinuidades en el soporte del motor Great Wall.....	89
<b>Figura 39.</b> Resultados de ensayos en soporte de suspensión delantera Great Wall.....	90
<b>Figura 40.</b> Análisis de fallas en el larguero Great Wall.....	91
<b>Figura 41.</b> Resultados obtenidos en el soporte de la suspensión trasera Great Wall.....	92
<b>Figura 42.</b> Análisis de ensayo en el soporte del motor Toyota Hilux.....	94
<b>Figura 43.</b> Discontinuidades en el soporte de suspensión delantera Toyota Hilux. ....	95
<b>Figura 44.</b> Falla en el larguero Toyota Hilux.....	97
<b>Figura 45.</b> Discontinuidad en el soporte de la suspensión trasera Toyota Hilux.....	98
<b>Figura 46.</b> Falla presente en el soporte del motor Nissan Frontier. ....	99
<b>Figura 47.</b> Discontinuidad en el soporte de la suspensión delantera Nissan Frontier. ....	100
<b>Figura 48.</b> Resultados del ensayo en el larguero Nissan Frontier.....	101
<b>Figura 49.</b> Discontinuidad en el soporte de la suspensión trasera Nissan Frontier. ....	102
<b>Figura 50.</b> Fallas presentes en el soporte del motor Chevrolet Grand Vitara.....	104
<b>Figura 51.</b> Discontinuidades en el soporte de la suspensión delantera Chevrolet Grand Vitara. .....	105
<b>Figura 52.</b> Discontinuidad presente en el larguero Chevrolet Grand Vitara.....	107
<b>Figura 53.</b> Falla en el soporte de la suspensión trasera Chevrolet Grant Vitara.....	108
<b>Figura 54.</b> Discontinuidades en el eje trasero del Go Kart.....	109
<b>Figura 55.</b> Comparacion del soporte del motor entre los dos vehículos.....	111
<b>Figura 56.</b> Comparación del soporte de la suspensión delantera entre los dos vehículos. ...	111
<b>Figura 57.</b> Comparacion del larguero entre los dos vehículos.....	112
<b>Figura 58.</b> Comparación del soporte de la suspensión trasera entre los dos vehículos. ....	112



## ESTRUCTURA DEL PLAN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

## CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

**Tema**

Diagnóstico de cordones de suelda en el chasis de vehículos livianos a base de líquidos penetrantes.

**El problema****1.1 Problema de investigación**

El campo automotriz en la actualidad ha evolucionado de manera muy significativa el cual a sus inicios los primeros vehículos como lo son las carretas las cuales eran tirados por los caballos hasta los vehículos eléctricos de hoy en día. Actualmente a diferencia de los primeros coches que estaban contruidos de madera, cuando a estos sufrían accidentes o se agrietaban y se rompía alguna de sus partes, solo se las podían sustituir por otra pieza nueva, en cambio cuando sucede este tipo de casos en los vehículos de la actualidad ya sea por desgastes de sus piezas o porque tuvo algún accidente, algunas partes del vehículo como lo es el chasis se pueden repararlas soldándolas cuando estas llegan a romperse, al momento de realizar esta acción no se toma en cuenta los altos requerimientos y las exigencias a los cuales se expone estructura al cuando esta empieza a realizar su respectivo trabajo, en la cual puede existir la presencia de averías o discontinuidades en los cordones de la soldadura, haciendo que estos provoquen altos costos de reparación en el materiales y también humanos, los cuales pueden salir afectados cuando la pieza se rompa y cree algún accidente por defectos que no se percataron al momento de realizar la soldadura. Por ello en países más desarrollados como Estados Unidos, Europa, China etc. [1]. Se realizan pruebas no destructivas para comprobar la calidad de la soldadura, en Latinoamérica solo países que tienen un mayor desarrollo emplean ensayos no destructivos. En Ecuador es un campo no tan utilizado, por ello es necesario implementar estos tipos de ensayos en este caso las pruebas de fisuras con tintas penetrantes para así lograr que la industria mejore la calidad de los productos.



## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Diagnosticar los cordones de suelda en el chasis de vehículos livianos a base de líquidos penetrantes, analizando el comportamiento de estos al ser colocados sobre superficies con puntos de suelda, estableciendo medidas de seguridad efectivas previniendo fallos y facilitando la elaboración de planes preventivos y correctivo mediante la detección temprana de fisuras.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Investigar la detección de fisuras en cordones de sueldas mediante ensayos no destructivos.
- Analizar puntos de unión críticos de un chasis.
- Detectar los defectos superficiales en los puntos de suelda del chasis de un vehículo utilizando líquidos penetrantes.
- Documentar y agrupar las fallas encontradas en la soldadura durante la inspección para así facilitar el análisis y la elección de estrategias.

## 1.3 Formulación del problema de investigación

El presente trabajo se lo realizará mediante pruebas con ensayos no destructivos utilizando los líquidos penetrantes, las evaluaciones se realizarán en una parte del chasis la cual este dañada y sea necesario repararla haciéndole puntos de suelda, dichas pruebas se las realizaran en el chasis de cuatro vehículos livianos. A demás de ellos las pruebas también se las realizaran en el chasis de un karting con el fin de analizar el comportamiento de los líquidos penetrantes en soldaduras ya establecidas en las respectivas normas y así lograr hacer una comparación entre soldaduras hechas en un taller de reconstrucción y soldaduras hechas conforme a la norma.

El presente documento se realizará para dar a conocer sobre uno de los ensayos no destructivos que se pueden realizar en áreas de la industria automotriz, debido a que nuestro país no hay tantos lugares en los cuales controlen la calidad de la soldadura por medio de líquidos penetrantes, por ello los beneficios que conlleva la investigación es para demostrar lo cual importante es realizar dichas pruebas a los puntos de soldadura para así lograr detectar fallas antes de que estas sean ya ofrecidas al público. La investigación también se la realizar para así poder analizar las rupturas de los chasis las cuales son un gran problema en la industria del



transporte, para ser más específicos en los automóviles, camiones entre otros. Por consiguiente, la investigación abarcara las causas de las rupturas, así como los estados de la suelda y si las sueldas que se utilizan para las reparaciones de los chasis son las correctas. Por ello es importante analizar las soldaduras con las pruebas no destructivas así garantizando que el producto no tenga defectos así evitando soldaduras defectuosas las cuales pueden comprometer la integridad estructural de la pieza así logrando evitar situaciones catastróficas y no poner en peligro la seguridad ya sea de los trabajadores o personas las cuales adquieran el producto. También las pruebas deben realizarse para así asegurar la calidad del producto, ya que una soldadura mal hecha puede generar grietas y la debilidad de la estructural haciendo que este material soldado no cumpla los estándares de calidad requeridos. Detectar y corregir la soldadura durante las etapas iniciales ayudara a evitar gastos futuros como las correcciones de estas, también el ahorro de los materiales de construcción, mano de obra y minimizar el tiempo.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

La soldadura en los vehículos es un componente esencial ya sea para la creación de estos o para su reparación, se los pueden soldar por medio de puntos de resistencia, soldadura laser y soldadura por arco, o también por soldadura por puntos de fricción y agitación, estos son los métodos están establecidos o son fiables. Se pueden desarrollar diferentes tipos de aleaciones como el magnesio puede unirse con el aluminio, pero generan grandes problemas los cuales son las formaciones de compuestos intermetálicos frágiles. Investigadores de Pouranvari escribió sobre la evaluación crítica sobre la soldadura de acero en los vehículos, esto se refiere a la soldadura por puntos de resistencia del acero [2].

P Almaguer y R Estrada dicen que los puntos de soldadura son fundamentales en la estructura. Por ello se realizaron pruebas para poder analizar los ensayos de fatiga que se generan en dichas uniones, con materiales que se utilizaron para este fueron AISI 1015 y E5013, las pruebas fueron hechas con la máquina de ensayo universal MTS810, con una relación de tensión del 0,1. Estas se pruebas se las analizo mediante microscopia óptica y electrónica de barrido y como resultado se obtuvieron límite de la fatiga de 178 MPa y un punto de em 2,039,093 ciclos [3]. Los ensayos no destructivos en los cuales unos de ellos es la tinta penetrante trata de analizar los cordones de soldadura que se realizaron sobre diferentes tipos de aceros en formas de probetas 32 de ellas en total, los líquidos penetrantes los cuales tienen la capacidad de penetrar en discontinuidades que tiene el material en un tiempo prudencial, estas superficies deben estar libres de cualquier suciedad haciendo que la tinta logre ingresar a grietas, los líquidos salen a la superficie y se lo observa colocando otro liquido llamado revelador [4]. Sabeenadev dice que las pruebas de líquidos penetrantes van más allá de ser simplemente una herramienta de detección, permite identificar y localizar defectos, aunque no es posible seguir la evolución de los defectos o evaluar su gravedad en términos de profundidad. Esta limitación se considera su principal inconveniente, a pesar de los beneficios relacionados



con el ahorro en costos y tiempo, como la disponibilidad de materiales más económicos y una menor necesidad de capacitación. Esto simplifica el proceso a una evaluación binaria de aceptación o rechazo, lo que puede conducir a desechar piezas no defectuosas y conservar secciones con problemas, generando posibles gastos adicionales [5]. W. Cunalata, J. Terán, E. Santillán, and W. Bonilla, afirman que el diseño y construcción de un chasis para el vehículo, el chasis se divide en cuatro subsistemas, los cuales se han desarrollado siguiendo las normativas del reglamento SAE 2014 para asegurar su eficacia y seguridad. Además, se han establecido protocolos de prueba para evaluar el rendimiento del vehículo en pista, así como ensayos en un banco de pruebas para confirmar su estabilidad bajo ciertas inclinaciones. Por último, se ha considerado la viabilidad económica al seleccionar entre diversas alternativas, asegurando así que el proyecto sea adaptable a nuestro entorno y accesible para su implementación [6].

Las normas que rigen los ensayos no destructivos son ASTM E165, ASTM E1417, IRAM 760, IRAM CNEA Y 500 1001, IRAM CNEA Y 500 1004, IRAM ISO 12706. Estas normas se aplican dependiendo del material y medio ambiente. El líquido penetrante tiene las propiedades de incorporarse a grietas y estos no se limitan solo a metales, también pueden estar en materiales cerámicos de vidrio entre otros. Los resultados que se obtuvieron al utilizar los líquidos penetrantes son que luego de aplicar el revelador, los cuales se notan marcas de la tinta penetrante lo cual se debe tomar en cuenta para someter al material a esfuerzos los cuales pueden causar daños al material [7]. P. Quezada afirma que un vehículo disponga de una magnitud apropiada de la rigidez torsional permite corregir actitudes de sobreviraje y subviraje a través de la regulación de la carga lateral de transferencia. Además, una pequeña rigidez de torsión puede ocasionar excesivas deformaciones. La rigidez del chasis depende de la forma y en donde se encuentran las barras, así como también su geometría y material de construcción [8]. Es más recomendable usar la soldadura TIG para el diseño del chasis, ya que el acabado de cordón es mucho más efectivo, y la penetración que este tipo de soldadura tiene, este también afirma que el proceso no causara daño a las propiedades del material de acero cuyo porcentaje de carbono sea inferior a 0.2%. Esto se lo hace debido a que en nuestro medio no se dispone de alambre menor a 0,8mm la garganta usando MIG [9]. Según P. Espín, para iniciar el proceso de soldadura, es fundamental iniciar el arco directamente en el punto de unión de los materiales. Una vez que se ha iniciado el arco, es necesario mantener una distancia constante entre las



piezas a unir y el electrodo, la cual debe ser aproximadamente igual al diámetro del electrodo. La configuración del cordón de soldadura varía según el tipo de soldadura que se esté llevando a cabo, pudiendo ser recta u oscilatoria. La longitud del cordón está determinada por el tiempo que el soldador emplea en consumir el electrodo [10].

La característica esencial que define la calidad del chasis de un vehículo es su rigidez torsional longitudinal, que se refiere a su capacidad para resistir la torsión a lo largo del eje longitudinal cuando el vehículo se enfrenta a curvas o al pasar por obstáculos o baches. Cuando el chasis carece de la rigidez necesaria, la suspensión no puede desempeñar adecuadamente su función. Por esta razón, la rigidez torsional tiene un impacto significativo en el rendimiento y el comportamiento general del vehículo[11].

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Unión de metales

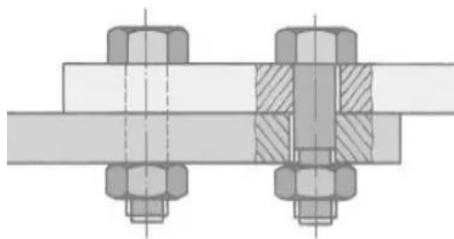
El proceso de unir metales consiste en un método por el cual dos o más metales pueden conectarse entre sí, por medio de calor, presión, o una mezcla de los dos, con o sin material de aporte, y así creando uniones ya sean temporales o permanentes, las cuales realizaran un solo trabajo, tienen el objetivo de transmitir cargas de un perfil o una barra a otro con el cual este unido, y además los puntos de soldadura cuya función es mantener unidos los perfiles que forman una barra compuesta [12]. Existen dos diferentes clases de uniones metálicas, como ya se mencionaron anteriormente. Las uniones temporales, utilizan piezas fundamentales como lo son los pasadores, atornillado entre otros. En otro caso las uniones permanentes como el roblonado, adhesivos, las soldaduras, pegamentos entre otros[13].

Las uniones temporales facilitan separar las piezas sin romper el medio ni dañarlas como se muestra en la

Figura 1.



**Figura 1.** Uniones temporales



**Fuente:** Instituto Tecnológico de Campeche, Cadena Adrián, proceso de unión de metales, 2018.

Las soldaduras se dividen en varios tipos como los son las uniones por puntos, soldadura TIG (Tungsten Inert Gas), soldadura MIG (Metal Inert Gas), soldadura por gas, soldadura por oxiacetileno y soldadura por arco, entre otros[14].

La unión de metales es una ciencia ampliamente documentada en el ámbito de la producción en industrias como la automotriz, aeroespacial, así como en diversos procesos de manufactura gracias a sus cortos tiempos de ciclo, bajo costo operativo, facilidad de implementación y capacidad para adaptarse a diversas combinaciones de materiales. Se puede tomar en cuenta diversos códigos, especificaciones y estándares definen variables esenciales, complementarias y suplementarias.

Así, todas las variables involucradas en la fabricación del producto están bien definidas, ya sea por normas de la AWS, AISI, ASME, o por especificaciones del propio fabricante, entre otros[15].

### **2.2.1.1 Tipos de uniones**

Los tipos de uniones que se utilizan son dos los cuales son uniones temporales y uniones permanentes. Cada uno de ellos se utilizan en diferentes aplicaciones y requerimientos a los cuales se los someterá.

### **Uniones temporales**



Son aquellas que unen un número de piezas para formar una misma, y permiten la separación de estas con movimientos sencillos sin destruirlas o dañarlas. Este utiliza en su mayoría tornillos y tuercas.

**Uniones atornilladas:** Los tornillos están resurgiendo en el ámbito de las construcciones metálicas con la introducción de tornillos de alta resistencia y uniones pretensadas que comprimen las partes de la unión. Este tipo de unión atornillada permite que los tornillos trabajen a tracción, mientras que la junta opera por rozamiento debido a la alta presión de contacto generada por el pretensado. Esto resulta en uniones capaces de soportar diversas solicitaciones, incluyendo momentos, lo que las hace adecuadas para crear nudos rígidos. Todos los tornillos en la junta funcionan simultáneamente, ya que las solicitaciones son soportadas por el rozamiento entre las placas. Además, pueden utilizarse en uniones mixtas que combinan tornillos y soldadura[16].

**Uniones por pasadores:** Las uniones por pasadores se destacan por su facilidad de desmontaje de las piezas conectadas. Estas uniones también se pueden clasificar según la función que los pasadores desempeñan en el montaje. Existen diferentes tipos de pasadores los cuales son:

- **Pasadores de fijación:** Se utiliza para fijar dos piezas que solo necesitan transmitir fuerzas de giro con magnitudes bajas.
- **Pasadores de arrastre:** Este tipo de unión se usa para conectar dos componentes que necesitan trabajar conjuntamente en diferentes momentos, o que deben ensamblarse y desensamblarse en intervalos de tiempo específicos durante una operación.
- **Pasadores de articulación:** Implica superponer dos piezas (una dentro de otra) y fijarlas mediante un pasador. Usualmente se emplean pasadores cilíndricos y estriados para esta función [17].

### Uniones por abrazaderas

Las uniones con abrazaderas ofrecen ventajas en las industrias como lo son la automotriz, minera, entre otras. Estas ventajas incluyen la reducción del menor peso del mecanismo, facilitando transporte e instalación, y mayor resistencia a la corrosión ambiental en el que se



encuentra la tubería. La incorporación de estas fibras de E-glass (clase más común de fibras de vidrio) mejora las propiedades mecánicas sin aumentar significativamente la densidad[18].

Existen diferentes tipos de uniones desarmables a parte de las uniones que ya se mencionaron anteriormente como los son las uniones, estas pueden ser utilizadas con otros tipos de materiales como se muestra en la Tabla 1.

*Tabla 1. Tipos de uniones desmontables para cada material*

Material	Unión desmontable
Metales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chavetas</li> <li>• Ejes estriados</li> <li>• Guías.</li> </ul>
Plásticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plásticos</li> </ul>
Textiles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botón y ojal</li> <li>• Cremallera</li> <li>• Tiras de velero</li> <li>• Corchetes</li> </ul>
Cerámicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementos roscados</li> </ul>

**Fuente:** Wordpress, Moya Johan, union entre piezas, 2014.

### Uniones Permanentes.

Son aquellas que unen dos o más partes para formar un solo elemento, y para lograr separarlas el elemento de unión tiene que ser eliminado, y así haciendo que para lograr unirlos de nuevo se tiene que agregar un elemento nuevo de unión, estos tipos de unión se pueden clasificar en soldaduras, soldadura fuerte y débil, y adhesivos.

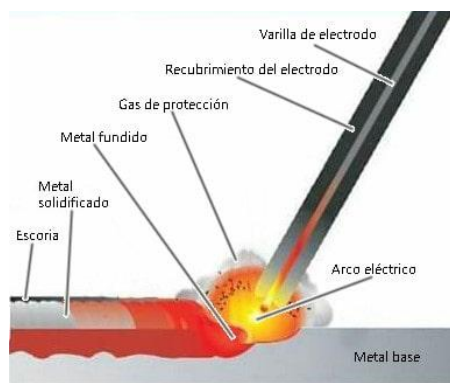
### Soldadura por arco metálico con electrodo revestido



La soldadura por Arco Metálico con Electrodo Revestido (SMAW con sus siglas en inglés), es una de las soldaduras que más se utilizan en todos los campos. La intensidad de corriente ajustada es uno de los factores clave que influyen en las propiedades mecánicas del soldado y su dureza dependen principalmente de la composición química del material base [19]. La composición química del acero influye directamente en las propiedades mecánicas finales del proceso de soldadura. En este proceso se utiliza electrodos los cuales constan de un revestimiento y un núcleo metálicos [20]. El cebado, se lo puede hacer de diferentes maneras, las cuales son por golpe el cual se consiste en dar golpes la punta del electrodo hacia la base, o deslizar la punta de electrodo así creando el arco eléctrico como se observa en la

Figura 2.

*Figura 2. Soldadura por arco eléctrico*



**Fuente:** LinkedIn, García Yezid, electrodo de soldadura SMAW, 2025.

### **Soldadura de Gas Inerte de Metal**

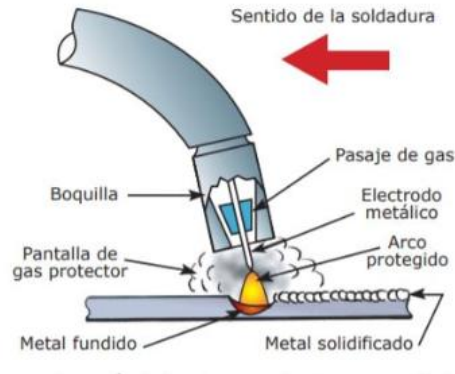
La soldadura de Gas Inerte de Metal (MIG con sus siglas en inglés), es un proceso que se lo puede realizar de manera automática o semiautomática, consta de un electrodo consumible continuo, una pistola y gas inerte, cuya función es proporcionar un área protectora. Este al contener un electrodo continuo y un gas protector logra crear cordones más estables y limpios. Esta región puede ser de helio, argón o una fusión de los dos[21].

Al momento de que inicia el arco eléctrico, la pistola libera el gas protector y se observa los conductos por donde salen cada uno de ellos como se detalla en la



Figura 3.

Figura 3. Proceso MIG.



Fuente: PDFCOFFEE, Echeverría Erices, informe de soldadura, 2011.

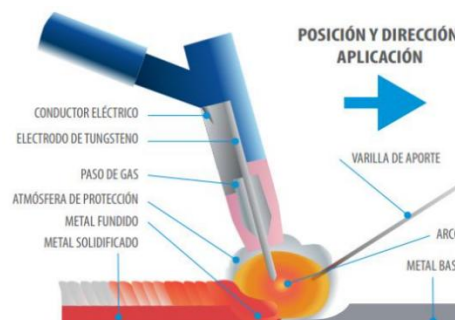
### Soldadura de Gas Inerte de Tungsteno

La soldadura de Gas Inerte de Tungsteno (TIG con sus siglas en inglés), es un método de soldadura que emplea un arco eléctrico entre un electrodo no consumible y la pieza a soldar como fuente de energía para fundir el metal. Tanto el gas inerte que protege el baño de fusión como el material de aporte se añaden externamente al electrodo[22].

Utiliza una elevada temperatura la cual es de  $3410^{\circ}\text{C}$ , con el que se logra crear un arco eléctrico entre el tungsteno y la parte a la cual se la va a soldar, esta crea soldaduras más duras y limpias como se muestra en la

Figura 4.

Figura 4. Soldadura TIG.





**Fuente:** Soldadura eléctrica, Jet-Arco, proceso de soldadura con electrodo de tungsteno.

Existen más tipos de uniones permanentes los cuales tienen el mismo propósito de unir los metales, cada una de ellas cumplen un rol, por ello se las utiliza dependiendo del trabajo que se va a realizar como se observa en la Tabla 2.

*Tabla 2. Uniones permanentes.*

Uniones permanentes	Tipos
<b>Soldadura por arco</b>	Soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW con sus siglas en inglés)
<b>Soldadura por resistencia</b>	Soldadura por puntos Soldadura por costura
<b>Soldadura oxiacetilénica</b>	Soldadura por haz de electrones Soldadura por láser
<b>Soldadura por fricción</b>	Soldadura por fricción rotativa Soldadura por fricción-agitación
<b>Pegamentos</b>	Adhesivo epóxico Siliconas acéticas Superpegamentos

**Fuente:** fbmx, BFMÉXICO, tipos de soldadura, s.f.

### 2.2.2 Normativa de soldadura

Para un proceso más confiable se lleva a cabo inspecciones para asegurar el cumplimiento de las normas técnicas, tanto antes como durante un proceso administrativo[23]. Por ello en estas se técnicas, códigos de prácticas así también como las guías las cuales muestran procesos que se deben llevar a cabo el análisis y procedimientos para realizar las soldaduras como lo indica la Tabla 3.

*Tabla 3. Normas para soldaduras.*

Tipo	Número	Título



NTE INEN	129	Inspección radiográfica de soldaduras a tope en aceros.
NTE INEN- ISO	8501-3	Preparación de substratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 3: Grados de preparación de soldaduras, bordes y otras áreas con imperfecciones en la superficie (ISO 8501-3: 2006, IDT).
NTE INEN	1390	Electrodos revestidos de acero al carbono para soldaduras por arco de metal protegidos. Requisitos.
NTE INEN- ISO	9606-1	Calificación de soldadores – Soldadura por fusión – Parte 1. Aceros (ISO 9606-1 + Cor. 1.2012. IDT).
ISO	3834	Conjunto norma EN 1090-1: Marcado CE de Estructuras de Acero y Aluminio. Conjunto norma EN 15085-2: Soldeo de vehículos y componentes ferroviarios.
AWS	AWS D1.1/D1.1M:2020	Especificación estructural para soldadura de acero.
AWS	AWS D1.3/D1.3M:2018	Especificación estructural para soldadura de láminas de acero delgadas.
AWS	AWS D1.6	Especificación estructural para soldadura de acero inoxidable.

### 2.2.3 Comprobación de discontinuidades mediante ensayos

Los ensayos para la detección de discontinuidades son procedimientos los cuales sirven para evaluar la integridad, resistencia y calidad de los materiales y componentes, identificando posibles irregularidades que puedan comprometer su desempeño. Las irregularidades pueden ser tanto internos y externos como grietas, poros, fisuras o fallas en las uniones de las piezas.



La realización de los ensayos es fundamental para prevenir fallas, garantizar la seguridad, además de ello para asegurar que los materiales cumplen con las normas y especificaciones requeridas. Dependiendo del uso, los ensayos pueden dividirse en ensayos destructivos (ED con sus siglas en español) y ensayos no destructivos (END con sus siglas en español).

Estos métodos permiten tomar decisiones que serán fundamentales sobre la calidad como la confiabilidad de los materiales, asegurando su cumplimiento de los estándares de desempeño y seguridad.

### ***2.2.3.1 Ensayos destructivos***

Son pruebas técnicas en las cuales los materiales son llevados al límite de su capacidad hasta que sufran daños críticos, con el fin de obtener datos técnicos y detallados sobre su comportamiento en cuanto a su resistencia, ductilidad, tenacidad y otros parámetros. Las pruebas destructivas son esenciales debido a que se aseguran de que los materiales puedan soportar ya que estarán expuestos a condiciones reales[24].

#### ***Tipos de ensayos destructivos***

Existen diferentes tipos de ensayos destructivos que se usan en las industrias, haciendo énfasis en ámbitos de la construcción de componentes críticos. Los más comunes son:

- **Ensayo de tracción:** El ensayo se encarga de medir la resistencia de un material a ser estirado hasta su fractura.
- **Ensayo de compresión:** Evalúa el comportamiento del material cuando es comprimido bajo una carga controlada hasta el punto de rotura. Ayuda a determinar el uso del material en diferentes aplicaciones.
- **Ensayo de impacto:** Analiza el comportamiento del material cuando es golpeado con una repentina, analizando su capacidad de absorber energía sin fracturarse.
- **Ensayo de dureza:** Determina la dureza del material al estar expuesto a un desgaste continuo[24].



### 2.2.3.2 Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos a diferencia de los ED son técnicas utilizadas para inspeccionar productos terminados y semiacabados, con el fin de detectar heterogeneidades internas y superficiales mediante principios físicos, sin afectar la posterior utilización de los productos inspeccionados[25]. Son fundamentales para determinar todas las especificaciones intrínsecas de la pieza a inspeccionar y abordar los problemas que puedan surgir según las condiciones de trabajo a las que esté sometida la pieza[26].

#### *Tipos de ensayos no destructivos*

En la actualidad hay muchos ensayos no destructivos, los cuales van mejorando cada día. Para el área de la soldadura se pueden utilizar los siguientes; Ensayo visual, ensayo por líquidos penetrantes, ensayo por partículas magnéticas, ensayos radiográficos, ensayo por ultrasonido.

- **Ensayo visual:** Es uno de los ensayos que se utilizan con mayor frecuencia debido a que son fáciles de aplicar, los resultados son rápidos y tienen un costo menor. Es el principal debido que a través de este se logra analizar la pieza para así aplicar otro tipo de ensayo. Mediante la inspección visual se puede analizar la superficie de la pieza, presencia de discontinuidades, poros, irregularidades entre otros. Por ello puede ser una prueba auxiliar. El equipo que usa este tipo de ensayos pueden ser lupas, linternas. Para esto, el material que se va a observar debe tener una buena iluminación, así como la limpieza [27].

- **Ensayo por líquidos penetrantes:** Se llevan a cabo mediante la aplicación de un líquido sobre la superficie del objeto a examinar, el cual penetra por capilaridad en las imperfecciones de la soldadura. Después de limpiar el exceso, el líquido revela las imperfecciones que han quedado retenidas en ellas[28]. La inspección mediante el ensayo no destructivo utiliza tres tintas, el limpiador, el penetrador y el revelador. Mediante los cuales logran apreciar imperfecciones como; poros, grietas, discontinuidades, entre otros, los cuales no se pueden observar a simple vista.

- **Ensayo por partículas magnéticas:** Se basa en el principio de que las líneas de campo magnético, al pasar por un material ferromagnético, se distorsionan cuando hay un cambio en la continuidad del material, como una variación dimensional abrupta o una discontinuidad. Si



la discontinuidad está abierta o cerca de la superficie del material magnetizado, las líneas de flujo se distorsionan en la superficie. Cuando se distribuyen partículas magnéticas finas sobre el área de la discontinuidad durante esta fuga de flujo, las partículas se adhieren al área y se hacen visibles bajo condiciones de iluminación adecuadas[29].

- **Ensayos radiográficos:** Permite inspeccionar materiales para detectar defectos no visibles, utilizando la capacidad de penetración de los rayos X de onda corta, rayos gamma y neutrones. Este método es una herramienta esencial en los ensayos no destructivos. Se emplea para examinar hormigón y una amplia variedad de soldaduras, permitiendo identificar grietas o defectos que de otra manera no serían visibles[30].

- **Ensayo por ultrasonido:** Analiza el tiempo de propagación de ondas de ultrasonido longitudinal entre transductores, con frecuencias de transmisión de pulsos que varían, su fundamento radica en ondas que emite una señal de alto voltaje y corta duración, la cual es transmitida a un transductor que vibra a su frecuencia de resonancia. Cuando el pulso llega hacia el otro transductor, se identifica el tiempo que tardó en recorrer la distancia, y con este valor y la distancia conocida, se obtiene la velocidad del pulso a través del elemento[31].

### 2.2.3 Líquidos penetrantes.

Como ya se mencionó anteriormente, estos penetran la capilaridad del material al cual se coloca, y mediante los cuales se pueden analizar las fallas que puede tener el material.

#### 2.2.3.1 Fundamentos de los líquidos penetrantes.

Los líquidos penetrantes se fundamentan al ser aplicados sobre zonas la cual debe estar previamente limpia y carecen de poros, las tintas son absorbidos en imperfecciones que puede poseer el material y se muestran en la superficie. Cuando se limpia el exceso en la superficie, quedara el líquido incrustado en las zonas que poseen imperfecciones y mediante el otro agente conocido como revelador se debe señalar y apreciar dichas zonas que poseen imperfecciones[32].

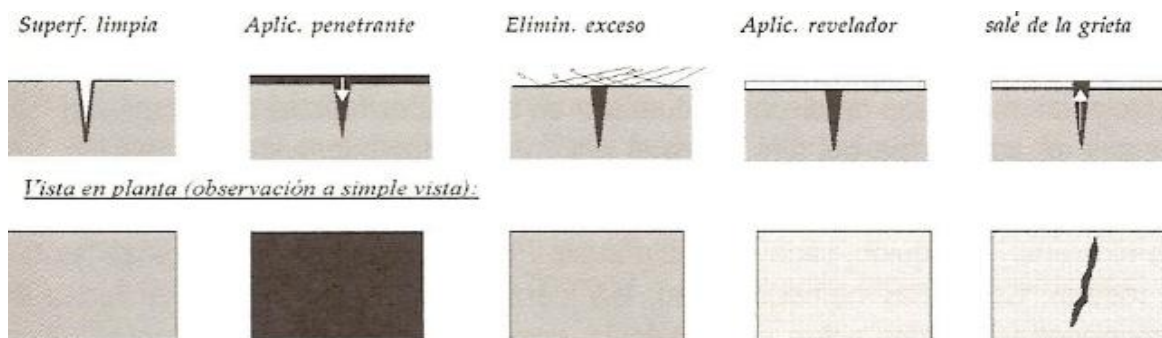
El líquido penetrante debe tener la característica de humectar la zona en la cual se aplica y formar una película la cual debe ser uniforme y continua. Además de ello debe tener la



capacidad de penetrar a fisuras las cuales no son posibles apreciar solo con la mirada como se aprecia en

Figura 5.

Figura 5. Fundamentos de las tintas penetrantes.



Fuente: Universidad de Cantabria, Rodero Adrián, algorítmica de reconstrucción de respuesta térmica 3D ante calentamientos lineales, s.f.

2.2.3.2 Tipos de líquidos penetrantes

Para los ensayos no destructivos, depende de la aplicación en los tipos de materiales y en las áreas de proceso a los cuales se los someterá[33]. Existen un gran número de líquidos penetrantes, dependen de cada marca los cuales se pueden dividir por tipos, procesos y clase de revelador que usan cada una de las tintas como se muestra en la

Tabla 4.

Tabla 4. Tipos y procesos de líquidos penetrantes.

Método de aplicación	Tipo de líquido empleado
TIPO I	Penetrantes fluorescentes
TIPO II	Tintas permanentes o visibles
PROCESO A	Penetrante lavable en agua
PROCESO B	Penetrante postemulsificado
PROCESO C	Penetrante removible con solvente
REVELADOR SECO	Grano fino



<b>REVELADOR NO ACUOSO</b>	Suspensión adsorbente aplicada por rocío
<b>REVELADOR HÚMEDO</b>	Suspensión adsorbente de polvo en agua aplicada por inmersión

**Fuente:** Universidad de Córdova, Madariaga Livardo, procedimientos de ensayos no destructivos en la empresa c.i metal marine inspección c.i.m.i para estar acorde con los avances tecnológicos y cambios a las normas internacionales, 2020.

### ***2.2.3.3 Modo de aplicación***

Para una correcta aplicación de los líquidos penetrantes, es fundamental que las superficies sean las adecuadas, se aplican en materiales metálicos y cerámicas, y en ocasiones en materiales plásticos. Hay que asegurar de que la superficie es la adecuada, se limpia de grasas, polvo entre otros, con una pulidora. Después, aplicar el líquido penetrante rojo de manera uniforme, esperar 10 a 20 minutos para que el producto penetre en las áreas defectuosas y se seque. Transcurrido el tiempo usar un apósito disolvente para eliminar el exceso de líquido penetrante y secar la superficie. Y finalmente pulverizar el señalizador blanco para crear una capa y déjalo actuar.

Cuando el líquido penetrante en la fisura reaccione, el revelador de defectos indicará claramente las áreas defectuosas, permitiendo su intervención y reparación[34].

### ***2.2.3.1 Proceso de inspección.***

La tinta que queda incrustada en la superficie se observara con una iluminación adecuada. Las discontinuidades se revelan mediante el color que contrasta el líquido penetrante sobre el color blanco del revelador. Por ello, se debe registrar los defectos encontrados, mediante los cuales existen criterios de aceptación o rechazo de la pieza[35].

### **2.2.4 Ventajas y limitaciones.**

Las ventajas que poseen las pruebas mediante líquidos penetrantes son los resultados rápidos y fáciles de entender. A comparación de otras pruebas como por ejemplo por partículas magnéticas, la aplicación de las tintas penetrantes no se ven afectadas a metales ferromagnéticos. Es un aplicación práctico y fácil de realizar. No es necesario dispositivos especiales. No se limita por el tamaño de la pieza a analizar. Las limitaciones que poseen



dependen de la profundidad de la grieta, ya que, si es demasiado profunda, el líquido no penetrara lo suficiente y además de ello solo se limita a materiales que no contengan poros[36].

### 2.2.5 Normativa de ensayos no destructivos

Son métodos rigurosos que se aplican a procesos de ensayos no destructivos hacia las soldaduras, en las cuales se analizan el método a los cuales son susceptibles las pruebas, el material al cual se va a tratar, así como también los tipos de líquidos penetrantes como se observa en la

Tabla 4[37]. Por ello existen normas dictan el procedimiento para el tipo de ensayo según el método de aplicación como se observa en la Tabla 5 .

**Tabla 5.** Normativa para ensayos no destructivos mediante líquidos penetrantes.

Norma	Clasificación
ASTM E-165	Tipo I – Inspección con penetrantes fluorescentes
	Método A – Lavable con agua.
	Método B – Postemulsificable lipofílico.
	Método C – Removible con solvente.
	Método D - Postemulsificable hidrofílico.
	Tipo II – Inspección con penetrante visible.
ASTM E1220	Método A – Lavable con agua.
	Método C – Removible con solvente.
	Características de los líquidos usados en los ensayos.
ASME V	Requisitos para la realización de pruebas no destructivas en equipos y componentes.
NTE INEN-ISO	Ensayos no destructivos. Ensayos por líquidos penetrantes. Vocabulario (ISO 12706:2009, IDT).
NTE INEN-ISO	Ensayos no destructivos. Ensayo mediante líquidos penetrantes y partículas magnéticas. Condiciones de observación (ISO 3059:2012, IDT).



<b>NTE INEN-ISO</b>	Ensayos no destructivos. Ensayo por líquidos penetrantes. Parte 2: ensayo de productos penetrantes (ISO 3452-2:2006, IDT).
<b>ASTM E1417</b>	Definen procedimientos estándar y las condiciones específicas de temperatura para realizar ensayos con líquidos penetrantes.

## 2.2.6 Fallas estructurales

Las fallas estructurales son defectos que se presentan en una estructura o componente cuando esta no puede soportar las cargas y esfuerzos para los cuales fue construida. Estas fallas pueden ser creadas por diferentes factores como errores en el diseño, calidad de los materiales, procesos de fabricación inadecuados entre otros. Su detección temprana es fundamental debido a que las fallas pueden comprometer a la seguridad, funcionabilidad y vida útil de la estructura, así como del personal que la utiliza. El análisis de las fallas, permiten identificar las causas que las provocan y establecer medidas correctivas para prevenir los fallos a futuro.

### 2.2.6.1 Causas de fisuras.

Las grietas por fatiga comienzan en discontinuidades geométricas, por lo que concentradores de tensión como muescas y agujeros causan concentraciones de tensión que pueden ocurrir en singularidades metalúrgicas. No se trata solo de discontinuidades, también puede deberse a porosidad del material[38].

Las condiciones de la superficie del elemento, como la rugosidad (que puede generar concentraciones de tensión), los cambios en las propiedades de la superficie entre la capa dura y el núcleo blando, así como la tensión residual de la superficie exterior, contribuyen al aumento del riesgo de fallo en la superficie[38].

Pueden ser problemas debido a la degradación de los materiales, que puede ser provocada por procesos químicos como la corrosión. La corrosión es un daño químico que afecta a las estructuras metálicas, causando un deterioro progresivo de sus propiedades. Este proceso ocurre en estructuras desprotegidas expuestas al aire y la humedad, y se intensifica en el interior, causa una disminución en los bordes, así formando grietas en las mismas[39].



### 2.2.6.2 Características de las fisuras.

Las características que pueden tener la creación de fisuras en el chasis se caracterizan por la forma de estas, orientación, su profundidad, entre otras. Dichas fisuras pueden deberse a las causas que anteriormente se mencionaron. Por ello en la

Tabla 6, se logra apreciar la clasificación de las fisuras.

*Tabla 6. Clasificación y tipos de fisuras.*

Clasificación.	Tipos de fisuras.
<b>Mecanismos de formación.</b>	Fisuras por fatiga.
	Fisuras por fragilidad.
	Fisuras por ductilidad.
	Fisuras por corrosión.
	Fisuras por Creep.
<b>Localización.</b>	Fisuras por impacto.
	Fisuras superficiales.
	Fisuras internas.
<b>Naturaleza del material.</b>	Fisuras de soldadura.
	Fisuras en metales.
	Fisuras en cerámicos.
<b>Forma.</b>	Fisuras en polímeros.
	Fisuras lineales.
	Fisuras ramificadas.
	Fisuras en zigzag.

### 2.2.6.3 Método de detección

Los métodos que se utilizan para la detención de fisuras pueden ser ensayos no destructivos como los que se mencionaron anteriormente, también existen métodos como los destructivos los cuales fragmentan el objeto que se analiza, para así localizar la zona exacta en las que se



encuentran las zonas afectadas por las grietas. Además de ello depende en la zona que se desea hacer la prueba, así como el material y el tipo de prueba que se desee aplicar[40].

### 2.2.7 Comprobación de uniones en chasis

La comprobación de uniones en los chasis, son evaluaciones realizadas en el campo automotriz en la estructura vehicular. Las pruebas evalúan la resistencia mecánica del material y presencia de defectos. Debido a que el chasis es la principal estructura que soporta cargas dinámicas como estáticas, así como impactos producidos durante funcionamiento del vehículo. Por ello, el estado y la calidad de los componentes ya sean uniones temporales o uniones permanentes, son fundamentales para garantizar la rigidez, estabilidad y la seguridad del vehículo. Estas inspecciones incluyen ensayos como la inspección visual y métodos como los ensayos no destructivos. Este procedimiento ayuda a realizar un mantenimiento preventivo, así como correctivo del vehículo. Logrando mantener los estándares de seguridad del vehículo.

#### 2.2.7.1 Chasis

El chasis es una estructura metálica completa o tubular que actúa como el esqueleto del automóvil. Su función es soportar el peso y las tensiones de todos los componentes del vehículo, así como las fuerzas generadas por diversas cargas, y también proporciona protección a los pasajeros y conductores[41]. El chasis ayuda a las cargas de la carrocería y los otros elementos que componen el vehículo, va desde el motor hasta las suspensiones, haciendo que estos sean una estructura firme.

#### 2.2.7.2 Tipos de chasis

Existen diferentes tipos de chasis los cuales van desde los que sirven para autos convencionales, hasta los vehículos que se usan en competencias. Estos tipos son:

- **Chasis monocasco autoportante:** Se trata de una estructura unitaria, es decir que conforma una sola pieza. Comprende también la parte de carrocería, ya que realiza funciones del bastidor, por ello tiene el nombre de autoportante. Estos tipos de carrocerías se la utilizan en la actualidad con mayor frecuencia debido a que es la producción en masa es mucho más fácil de realizar y tiene una elevada rigidez. Esto también debido a que las normas para disminuir la



contaminación insisten que los chasis sean mucho más ligeros y así evitar el consumo excesivo de combustible[42].

- **Chasis de largueros o escalera:** A diferencia del chasis que se menciona anteriormente, su chasis y carrocería son independientes. La estructura de este consiste en dos largueros los cuales se extienden y se interconectan con otros pequeños. La carrocería va unida al chasis, ya sea por uniones temporales como los tornillos, o también por pegamentos especiales. Estas se caracterizan por que soportan cargas grandes, así también como su fácil construcción. Se usan en vehículos mayormente todoterreno, vehículos industriales, así como también vehículos de transporte[43].

- **Tubular:** Se usa para la construcción de vehículo de competencia, hecho con tubos de acero, para así contener el peso máximo. Se interconectan entre sí para crear una estructura que se compone de triángulos. Se lo hace debido a que esta no se deforma al recibir tanto esfuerzo y divide todos a todos sus lados. Al momento de soldar se consigue una estructura esquelética muy ligera[44].

- **Subchasis:** Se usa en superdeportivos, su estructura es de un monocasco para el habitáculo, formando un tipo bañera hecha de fibra de carbono, y sus demás partes son tubulares[42].

### 2.2.7.3 Materiales de construcción

Para la fabricación de los chasis se toman en cuenta diversos elementos como los materiales que sean ligeros, resistentes, y seguros. Además de ellos se analiza si estos materiales son reciclables.

En la actualidad, la construcción de estos debe ser amigables tanto para las personas, así como para el medio ambiente[45]. Por ello, los materiales que se usan para su construcción son:

- **Acero:** Es el que más usan los fabricantes, debido su resistencia, ya sea térmica o mecánica. También debido a su rendimiento y su durabilidad. En la actualidad han mejorado el acero haciendo que este material sea mucho más fuerte, rígido y ligero. Además de ellos es un material mucho más rentable[45].



- **Aluminio:** Usado en la industria automotriz porque es ligero, es muy eficiente al momento de absorber la energía y tiene una alta resistencia. Además de ello es resistente a la corrosión.

- **Magnesio:** El magnesio es utilizado en la actualidad mezclándolo con el aluminio, es mucho más ligero que el aluminio y mucho más que los elementos derivados del acero. Este tiene menor resistencia a la fatiga, tracción entre otras cosas que el aluminio. Este es usado por que tiene una alta resistencia térmica[46].

En la mayoría de los casos, los materiales utilizados para la construcción de los chasis mantienen una misma composición y por ello presentan propiedades mecánicas similares. Esto debido a que la mayoría de los fabricantes estandarizan los aceros que se emplean. Lo cual sirve para optimizar procesos, reducir costos y poseer una línea de producción uniforme.

El acero HSLA es uno de los aceros más utilizados en la fabricación de chasis para vehículos livianos, debido a que posee una alta resistencia y una baja aleación, por lo cual está diseñado para ofrecer una mayor resistencia mecánica sin incrementar significativamente el peso.

*Tabla 7. Propiedades Mecánicas – Acero HSLA Docol 420LA*

	Estándar	Recubrimiento	Dirección de ensayo	Límite elástico Rp0.2 (MPa)	Resistencia a la tracción Rm (MPa)	Elongación A80 (%)	Radio interior mínimo para doblado 90°
Docol CR 420LA	VDA 239-100	GI, GA*, ZA*	L	420 - 520	480 - 600	17	$1.0 \times t$
Docol HR 420LA	VDA 239-100	UC	L	420 - 520	480 - 600	18	$0.5 \times t$
	VDA 239-100	GI*	L	420 - 520	480 - 600	18	$1.0 \times t$

**Fuente:** SSAB Docol, Cuál es la definición de acero HSLA acero de alta resistencia con baja aleación, 2025.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Materiales

##### 3.1.1 Probetas de material equivalente al chasis

Las placas metálicas que se usaron para la elaboración de las probetas fueron realizadas con los materiales SAE 1020 como se muestra en Figura 6. Los aceros SAE 1020 son aceros estructurales al carbono de baja aleación, ampliamente utilizados donde se requiera buena soldabilidad, ductilidad y resistencia mecánica como se evidencia en la Tabla 8. Estas propiedades coinciden con la buena soldabilidad en aceros empleados en bastidores y componentes estructurales de vehículos de la primera generación con los cuales en su mayoría son aceros laminados en caliente con contenidos de carbono.

*Figura 6. Placa del material SAE 1020*



*Tabla 8. Propiedades del material SAE 1020*

<b>Propiedades Mecánicas</b>	<b>SAE 1020</b>
Resistencia a la tracción	350 – 450 MPa
Limite elástico	165 – 350 MPa
Elongación	20 % - 30 %
Dureza Brinel	110 – 160 HB
<b>Composición Química</b>	
Carbono	0.17 % - 0.23 %
Manganeso	0.30 % - 0.60 %
Fósforo	0.04 %
Hierro	Balance

**Fuente:** Aceros Mapa, Acero SAE 1020,2021.

### 3.1.2 Chasis de los vehículos.

El chasis en un vehículo constituye la estructura metálica sobre el cual se integran y se fijan todas las partes que conforman el vehículo. La estructura soporta las partes fundamentales como lo son el motor, la transmisión, la suspensión, los diferenciales y la carrocería. Su función radica en proporcionar una base rígida y estable, para soportar y distribuir el peso de los componentes así garantizando la integridad estructural. Adicionalmente, el chasis en conjunto con el sistema de suspensión trabaja para absorber vibraciones y mejorar el confort. En la Tabla 9 se muestran las especificaciones técnicas de los vehículos que se utilizarán para las pruebas, así como su modelo año, tipo de carrocería, entre otras cosas.

*Tabla 9. Unidad vehicular y especificaciones técnicas.*

<b>Unidad Vehicular</b>	<b>Especificaciones Técnicas.</b>
<b>Great Wall Wingle</b>	Año de fabricación: 2018 Tipo de carrocería: Camioneta doble cabina Tracción: Trasera 4 x 2 Cilindraje: 2.4 L




---

### Chasis

Estructura: Bastidor tipo escalera.

Material: Acero de alta resistencia AHSS.

Elementos principales: Dos largueros, travesaños transversales, soporte de suspensión delante y trasera y placas de anclaje para la caja de carga.

---

#### Toyota Hilux

Año de fabricación: 2008

Tipo de carrocería: Camioneta, doble cabina.

Tracción: Trasera 4 x 2.

Cilindraje: 2.7 L.

---

### Chasis

Estructura: Batidor tipo escalera.

Material: Aceros estructurales de baja aleación HSLA

Elementos principales: Dos largueros, travesaños transversales, soporte de suspensión delante y trasera y placas de anclaje para la caja de carga.

---

#### Nissan Frontier

Año de fabricación: 2005

Tipo de carrocería: Camioneta, doble cabina.

Tracción: 4 x 4.

Cilindraje: 3.0 L.

---

### Chasis

Estructura: Bastidor tipo escalera

Material: Aceros estructurales de baja aleación HSLA

Elementos principales: Dos largueros con estructura en doble C, travesaños transversales, soporte de suspensión delante y trasera, soporte del motor y la transmisión y placas de anclaje para la caja de carga

---

#### Chevrolet Grand

Año de fabricación: 2005

#### Vitara

Tipo de carrocería: SUV compacto, cerrada

Tracción: Trasera 4 x 2

---



Cilindraje: 1.6 L

**Chasis**

Estructura: Chasis independiente.

Material: Aceros estructurales de baja aleación HSLA

Elementos principales: Dos largueros, travesaños transversales, soporte se suspensión delante y trasera.

**Toyota Hilux**

Año de fabricación: 2009

Tipo de carrocería: Camioneta, doble cabina.

Tracción: Trasera 4 x 2.

Cilindraje: 2.7 L.

**Chasis**

Estructura: Batidor tipo escalera.

Material: Aceros estructurales de baja aleación HSLA

Elementos principales: Dos largueros, travesaños transversales, soporte se suspensión delante y trasera y placas de anclaje para la caja de carga.

**3.1.3 Chasis vehículo GO - KART**

Además, se usó el chasis de un vehículo Go - kart debido a que este tipo de estructura está sometido a cargas dinámicas durante su operación. Por lo que los esfuerzos generados por aceleraciones, frenadas entre otras son transmitidas directamente a las uniones soldadas del chasis debido a que este carece de un sistema de suspensión.

*Tabla 10. Especificaciones técnicas Go - Kart.*

Kart CRG	<b>Fabricante:</b> CRG Srl
	<b>Material:</b> Tubos de acero cromo-molibdeno
	<b>Homologación:</b> FIA




---

**Diámetros de tubos:** 32 mm

**Diámetro eje trasero:** 50 mm

**Distancia entre ejes:** 1042 mm

---

**Propiedad mecánica**

**Tubos de acero cromo-molibdeno**

Límite elástico

435 – 560 MPa

Resistencia a la tracción

560 – 750 MPa

Elongación

18 – 25 %

Dureza

170 – 220 HB

---

**Fuente:** Dacooper, Material Data Sheet, AISI-SAE 4130, s.f

### 3.1.4 Equipos de soldadura y consumibles

En la investigación se emplearon distintos equipos de soldadura para la fabricación y evaluación de las probetas y posteriormente compararlas con las soldaduras originales de los vehículos. Los equipos seleccionados presentan tecnologías que son ampliamente utilizados en diversos campos industriales, cada uno de los equipos poseen características específicas en cuanto al control de calor, penetración de la soldadura y la calidad del cordón. El uso de los equipos permite analizar el comportamiento de los materiales bajo distintos métodos de unión, lo cual permitió la aplicación de los resultados y la comparación en condiciones reales de operación.

#### 3.1.4.1 Soldadora de arco BP 250 AMP

La Soldadora BP Raptor como se muestra en la Figura 7, es un equipó tipo inversor para soldadura SMAW, el cual ofrece un arco estable, así como una mayor eficiencia energética y una facilidad de uso. Su tecnología permite un control más preciso del arco eléctrico. En la Tabla 11, se aprecia las características técnicas que posee el equipo.



*Figura 7. Equipo BP 250 AMP*



*Tabla 11. Especificaciones técnicas del equipo BP 250 AMP*

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
<b>Marca</b>	BP
<b>Voltaje</b>	110V -220 V
<b>Amperaje</b>	60 – 250 A
<b>Ciclo de trabajo</b>	60 % trabajo a 40 % descanso
<b>Trabajos</b>	Electrodos E6011 – E6013 en 3/32. Electrodos 1/8 con ciclo de trabajo reducido

**Fuente:** Trujillo Duque, soldadora inverter 200amp 110/220v-60hz bp00879 raptor, s.f.

### 3.1.4.2 Electrodo E-6013

El electrodo E 6013, es uno de los electrodos revestidos que se usan frecuentemente en los procesos de soldadura como se muestra en la Tabla 12. El electrodo se usó debido a su compatibilidad con los aceros estructurales en lámina, además de ello una respuesta adecuada para materiales bases en bajos espesores. Su resistencia mínima de 420 MPa cumple con los requerimientos mecánicos del acero estructural, y su revestimiento rutilico proporciona un arco estable.

*Tabla 12. Especificaciones electrodo E6013.*

Propiedad	Valor garantizado
Resistencia a la tracción	≥ 420 MPa



Límite elástico	≥ 330 MPa
Elongación	≥ 17 %
Resiliencia KV2	—
Tipo de revestimiento	Rutílico
Posiciones de soldadura	Todas las posiciones
Tipo de corriente	AC - DC
Penetración	Media

**Fuente:** Jet Arco, Electrodo AWS E-6013, s.f.

**3.1.4.3 Soldadora WELDPACK 4 en 1**

La soldadora BP Weldpack como se evidencia en la Figura 8, es un equipo versátil, puede realizar distintos procesos de soldadura, posee una protección térmica. Su capacidad permite proporcionar suficiente potencia para realizar una buena penetración en diferentes tipos de materiales metálicos. La tecnología INVEN proporciona consumo optimizado de la energía. Tal como se detalla en la Tabla 13, se muestran las especificaciones técnicas del equipo.

**Figura 8. Equipo BP WELDPACK**



**Tabla 13. Especificaciones técnicas del equipo BP WELDPACK**

<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	
<b>Voltaje</b>	110 V - 220 V
<b>Corriente Máxima</b>	200 AMP
<b>Calibre de Alambre (MAG)</b>	0.8 mm – 1mm



<b>Factor de Trabajo</b>	MMA= 200/60 (electrodo) / MAG= 270/60
<b>Tecnología</b>	IGBT
<b>Antorcha MAG</b>	3 MTS
<b>Grapa de Tierra</b>	SI
<b>Porta electrodos</b>	600 AMP
<b>Regulador para CO2</b>	SI

**Fuente:** Mercado libre, Soldadora Bp Inven  
MAG/MMA 270amp Azul, s.f.

#### 3.1.4.4 Alambre ER70S-6

El alambre ER70S-6 como se observa en la Tabla 14, se caracteriza debido a su elevado contenido de silicio y manganeso, lo que le permite tener un alto poder desoxidante. Dicho material posee una resistencia de 465 MPa, superior a la del metal base en la lámina estructural diseñado para obtener cordones de soldadura libres de porosidad y ofreciendo una alta resistencia a la tracción en estado soldado. Se utiliza más comúnmente con gases como el CO<sub>2</sub>.

**Tabla 14.** Especificaciones alambre ER70S-6.

<b>Propiedad</b>	<b>Especificación</b>
Resistencia a la tracción (Rm)	≥ 450 MPa - 560 MPa
Límite elástico (ReL)	≥ 400 MPa
Elongación (A)	≥ 22 %
Resiliencia (KV2)	≥ 47 J
Posiciones de soldadura	Todas las posiciones
Tipo de corriente	DC+
Penetración	Media - Alta
Gas de protección	CO <sub>2</sub> o mezcla Ar + CO <sub>2</sub>

**Fuente:** Jet Arco, Alambre ER70s-6 s.f.



### 3.1.5 Líquidos penetrantes

Para la evaluación de la calidad de las soldaduras y la detección de fallos se usó un kit de líquidos penetrantes. El kit está compuesto por 3 componentes esenciales los cuales permiten la identificar las fallas de manera más sencilla.

#### 3.1.5.1 Líquido removedor

El líquido removedor o limpiador Figura 9. Líquido Limpiador, encargado de eliminar grasas, suciedad, polvo y otro contaminante que interfieran con la inspección, así garantizando la penetración del líquido. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se detallan las especificaciones técnicas de líquido.

*Figura 9. Líquido Limpiador*



*Tabla 15. Especificaciones técnicas del líquido removedor*

Especificaciones técnicas	
Líquido removedor	
<b>Cantidad</b>	400 ml
<b>Máster Pack</b>	12 Pz
<b>Aspecto</b>	Botella con líquido bajo presión
<b>Color</b>	Sin color
<b>Fragancia</b>	Característico del disolvente



<b>Densidad relativa</b>	A 20 ° C 0,66 ÷ 0,70 g/ml
<b>Punto de inflamabilidad</b>	Inf. 0 ° C
<b>Presión a 20 ° C</b>	4/6 bar
<b>Viscosidad</b>	0,32 mPa.s (20 ° C) Base líquida
<b>Temperatura auto encendida</b>	456 ° C (Base líquida)
<b>Densidad de vapor</b>	2,1 (Base líquida)
<b>Tensión de vapor.</b>	240 hPa ( 20 ° C) (Base líquida).

**3.1.5.2 Líquido penetrante**

El líquido penetrante Figura 10. Líquido penetrante, se aplica en la superficie ya limpia, este fluirá, detectará imperfecciones en las cuales penetra. Así facilitando su ubicación. En la Tabla 16 se registran los parámetros técnicos del producto.

*Figura 10. Líquido penetrante*



*Tabla 16. Especificaciones técnicas del líquido penetrante*

<b>Especificaciones técnicas</b>	
<b>Líquido penetrante.</b>	
<b>Cantidad</b>	400 ml
<b>Máster Pack</b>	12 Pz
<b>Aspecto</b>	Botella con líquido bajo presión



<b>Color</b>	Rojo
<b>Fragancia</b>	Características del disolvente
<b>Densidad relativa</b>	A 20 ° C 0,68 ÷ 0,72 g/ml
<b>Punto de inflamabilidad</b>	Inf. 0 ° C
<b>Presión a 20 ° C</b>	4/5 bar
<b>Punto de fusión</b>	< 30 ° C (Método de arrullo capilar) (Base líquida)
<b>Punto de ebullición</b>	175 – 215 ° C (Base líquida)
<b>Temperatura de encendido</b>	> 450 ° C (DIN 51794) (Base líquida)
<b>Viscosidad cinemática</b>	ca. 1mm <sup>2</sup> /s (DIN 51562) (Base líquida).

### 3.1.5.3 Líquido revelador

El líquido revelador Figura 11. Líquido revelador permite la visualización de los defectos, el líquido hace que el líquido penetrante se emerja a la superficie y sea detectable a simple vista. En la Tabla 17 se detallan las propiedades fisicoquímicas del agente revelador a emplearse.

*Figura 11. Líquido revelador*



*Tabla 17. Especificaciones técnicas del líquido revelador*

Especificaciones técnicas Líquido revelador	
<b>Cantidad</b>	400 ml
<b>Máster Pack</b>	12 Pz



<b>Aspecto</b>	Botella con liquido bajo presión
<b>Color</b>	Blanco
<b>Fragancia</b>	Característico del disolvente
<b>Densidad relativa</b>	A 20 ° C 0,73 ÷ 0,77 g/ml
<b>Punto de inflamabilidad</b>	Inf. 0 ° C
<b>Presión a 20 ° C</b>	4/5 bar
<b>Viscosidad</b>	0,32 mPa.s (20 ° C) (Base liquida )
<b>Temperatura auto encendida</b>	465 °C (Base liquida)
<b>Densidad de vapor</b>	2,1 (Base liquida)
<b>Tensión de vapor.</b>	240 hPa ( 20 °C) (Base liquida).
<b>Temperatura de fusión</b>	> 1000 °C (Residuo seco TiO2)

### 3.2 Metodología

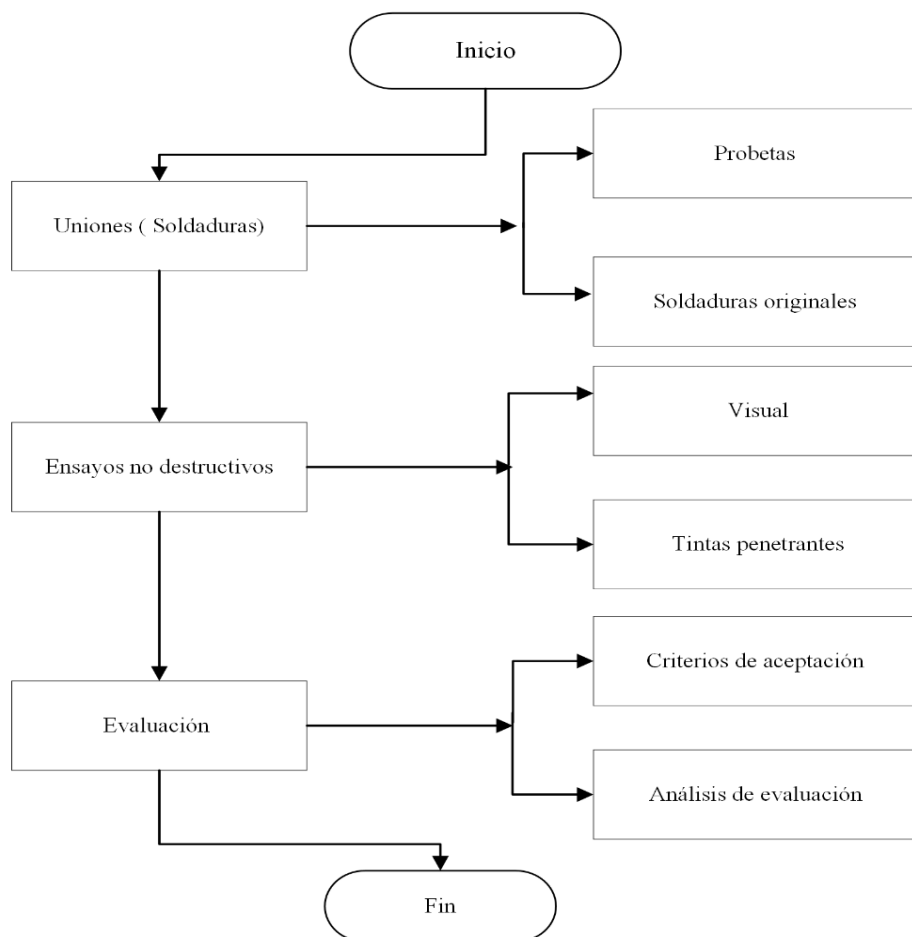
La metodología aplicada en esta investigación se desarrolla con el propósito de evaluar la calidad, así como el comportamiento de las uniones soldadas, tanto en condiciones controladas mediante las probetas, y en condiciones reales presentes en las uniones de los chasis. Este enfoque nos permitió establecer una correlación entre los resultados experimentales, determinado como influyen los parámetros de soldadura, el material base, así como el tipo de proceso que se emplea en la integridad estructural del conjunto. La razón principal de realizar la metodología en probetas es que estas, permiten un control preciso de las variables de soldadura, como lo son la corriente, voltaje, velocidad de avance, material base, entre otros. Garantizando así resultados que se puedan repetir y medir. Con ello se logra identificar defectos como porosidad, falta de fusión, grietas etc. Los cuales son complicados de detectar directamente en el chasis del vehículo. Una vez obtenidos los resultados, estos se comparan con las soldaduras aplicadas en los puntos críticos del chasis. Este análisis comparativo permite validar si los procesos de soldadura utilizados en la práctica automotriz cumplen con las normativas y los estándares de calidad establecidos. Además de ello evidenciar la diferencia que puede existir entre una soldadura realizada bajo condiciones controladas y otra que estuvo expuesta a condiciones reales de uso diario.



El proceso se realiza por la necesidad de garantizar la seguridad estructural del chasis, ya que este componente es la base del vehículo y el encargado de soportar esfuerzos dinámicos, impactos y vibraciones continuas. Las fallas de los chasis han sido responsables de múltiples incidentes a nivel mundial, por soldaduras defectuosas que provocaron la separación de componentes, lo cual hizo la pérdida de control del vehículo, así como deformaciones críticas de la estructura. Dichas evidencias resaltan la importancia de establecer un procedimiento experimental que permita detectar y prevenir estas deficiencias antes de su aparición en servicio.

### 3.2.1 Estructura del método utilizado

*Figura 12. Diagrama de flujo, estructura de metodología*



La metodología que se utilizó para la investigación contara de tres aspectos, en los cuales se inició por la creación de las probetas en las cuales serán realizadas con diferentes procesos de

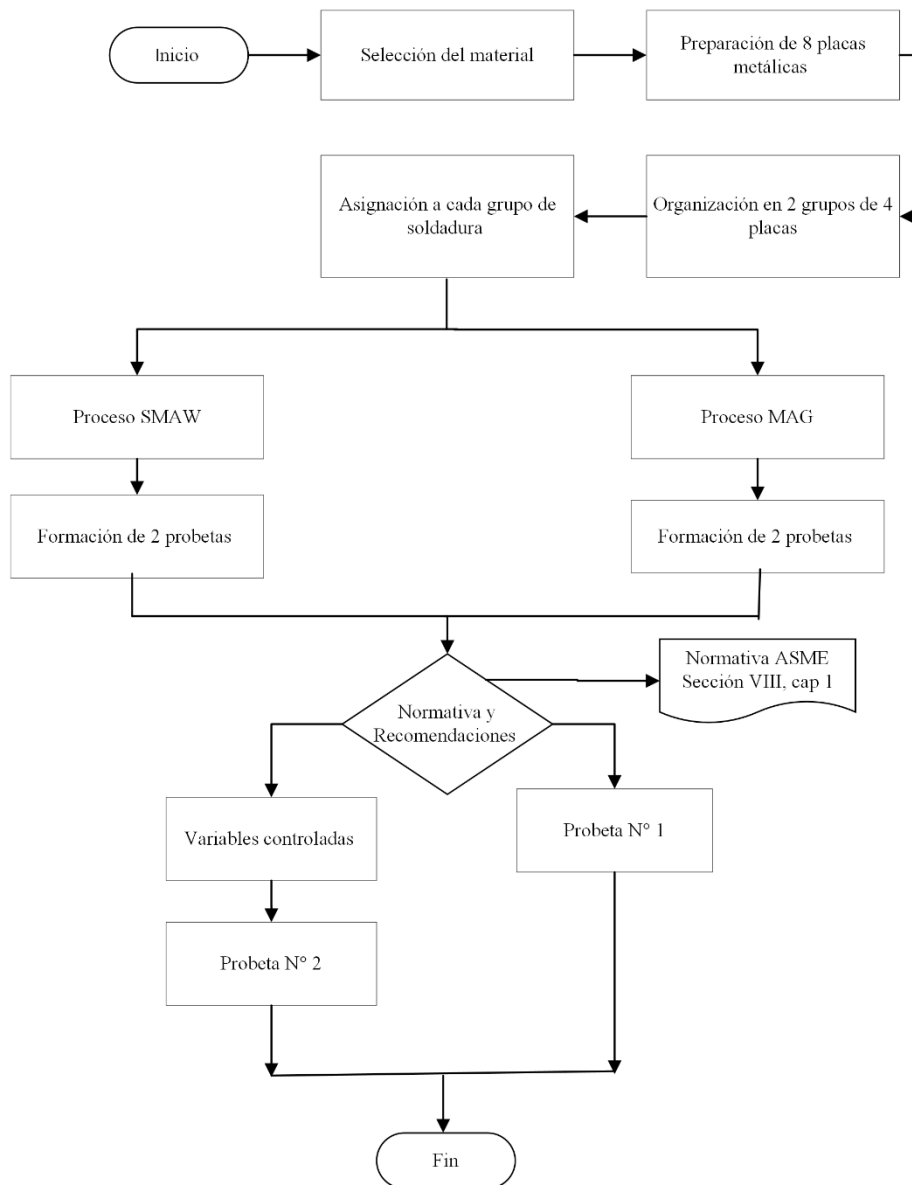


soldadura, así como siguiendo la normativa y recomendaciones de los fabricantes, así como sin normativa, además de ello la detección de los puntos de uniones mediante soldadura en los puntos críticos de chasis de los vehículos. Por otro, se realizaron los ensayos no destructivos tanto en las probetas como en las uniones de los vehículos y finalmente, se realizará el análisis de los criterios de aceptación o rechazo establecidos por la normativa, luego aplicarlos en las discontinuidades que se presentaran en las probetas, y compararlas con los cordones de soldadura de los vehículos.



3.2.2 Secuencia de procedimiento de uniones

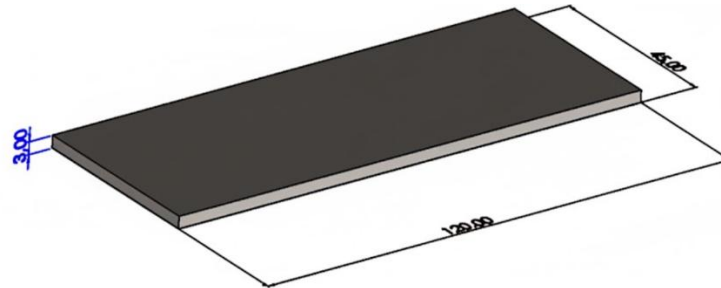
Figura 13. Procedimiento de soldaduras



Para la elaboración de las probetas se las realizó siguiendo la normativa AWS D1.3: Código de Acero Estructural – Acero en Lámina, la cual establece el procedimiento de soldaduras aplicables a láminas de acero de un espesor menor o igual a 3/16 pulgadas (4.8 mm). Las láminas utilizadas como base presentan dimensiones de 120 mm de largo, 45 mm de ancho y 3 mm de espesor como se presenta en la Figura 14.



*Figura 14. Dimensiones de las placas*



La unión de las placas se realizó utilizando una junta de tope cuadrada, como se evidencia en la Figura 15. Este tipo de junta se emplea debido a que el espesor de la lámina es reducido, lo cual no permite la conformación de biselados para otro tipo de uniones. La junta de tope cuadrada permite una correcta alineación y formación del cordón de soldadura. La junta tendrá una separación de 2 mm para la primera probeta y de 4mm de separación para la segunda probeta.

*Figura 15. Junta de tope cuadrada*



**Fuente:** Elecromechsidhant, características de las uniones soldadas, s.f.

Se prepararon 12 placas metálicas, las cuales se organizaron en tres grupos de cuatro unidades, con el objetivo de obtener 2 probetas para cada proceso de soldadura. La probeta número uno de cada proceso se realizó siguiendo rigurosamente las normas, así como las recomendaciones de los fabricantes en lo que respecta al material de aporte, parámetros de soldadura, entre otros.

Por su parte, la segunda probeta de cada uno de los procesos se la utilizo para la aplicación de variaciones controladas en los procesos de soldadura, con el fin de evaluar los cambios en sus respectivas uniones.

### **3.2.2.1 Soldadura mediante el proceso SMAW**

- **Probeta número 1, proceso SMAW condiciones normales:** En la probeta número 1 ejecutara el proceso de soldadura siguiendo los estándares establecidos en la normativa (AWS



D1.3). Así mismo se considerará las recomendaciones del fabricante respecto al material de aporte, así garantizando la elección correcta del material de aporte. Durante la aplicación del cordón de soldadura se mantendrán los parámetros operativos definidos, especificando el rango del amperaje y velocidad de avance, con el fin de asegurar el arco eléctrico y la correcta unión de la soldadura como se muestra en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Parámetros operativos proceso SMAW.

Pase o Capa(s) de soldadura	Proceso	Velocidad de pase	Metales de aporte		Corriente		Amperaje
			Clase	Diámetro	Tipo y polaridad	Velocidad de consumo	
1	SMAW	0.002 m / s	E -6013	2.5 mm	DCEP	-	115 A

Además de ellos se cuidará la preparación de la superficie mediante limpieza mecánica, eliminando el material de aporte restante y partículas contaminantes, lo cual favorecerá la adherencia y reducir la posibilidad de defectos superficiales.

**- Probeta número 2, proceso SMAW aumento de amperaje y condiciones de intemperie:**

En la probeta número 2 se ejecutó el proceso de soldadura teniendo variaciones, así logrando analizar los cambios que incidieron en el cordón de soldadura. En esta probeta se cambiará el amperaje aumentando de 135 A es decir un 17.4 % por lo establecido por la norma, lo cual afectó la calidad del cordón de soldadura, pero se mantuvo la velocidad de pase de la soldadura. Además de ello se tomó en cuenta la velocidad del aire ya que la unión se la simulo en condiciones de intemperie con una velocidad de aire del 2.5 m/s es decir con un 400 % más al recomendado por la normativa.

Al igual que la primera probeta, también se tendrá en consideración en la limpieza de la superficie.

**3.2.2.2 Soldadura mediante el proceso MAG**

**- Probeta número 1, proceso MAG condiciones normales:** La probeta número 1 se someterá al proceso de soldadura siguiendo los parámetros previamente establecidos y en condiciones



normales, manteniendo las especificaciones dadas por el fabricante en lo que se refiere al flujo del gas (CO<sub>2</sub>), la velocidad de avance, así como el amperaje tal como se detalla en la Tabla 19. El material de aporte que se utilizó fue el alambre de acero ya mencionando anteriormente.

**Tabla 19.** Parámetros operativos proceso MAG

Pase o Capa(s) de soldadura	Proceso	Velocidad de pase	Gas de protección	Metales de aporte		Corriente		Amperaje
				Clase	Diámetro	Tipo y polaridad	Velocidad de consumo	
1	MAG	0.05 m / s	CO <sub>2</sub> puro	ER70S-6	0.9 mm	DCEP	0.07 m / s	100 A
2	MAG	0.06 m / s	CO <sub>2</sub> puro	ER70S-6	0.9 mm	DCEP	0.07 m / s	100 A

Además de ello se tuvo en consideración de la limpieza superficial de la unión para evitar el contacto de partículas contaminantes para que no interfieran en el cordón de soldadura. Así favoreciendo la adherencia y disminuyendo la aparición de defectos.

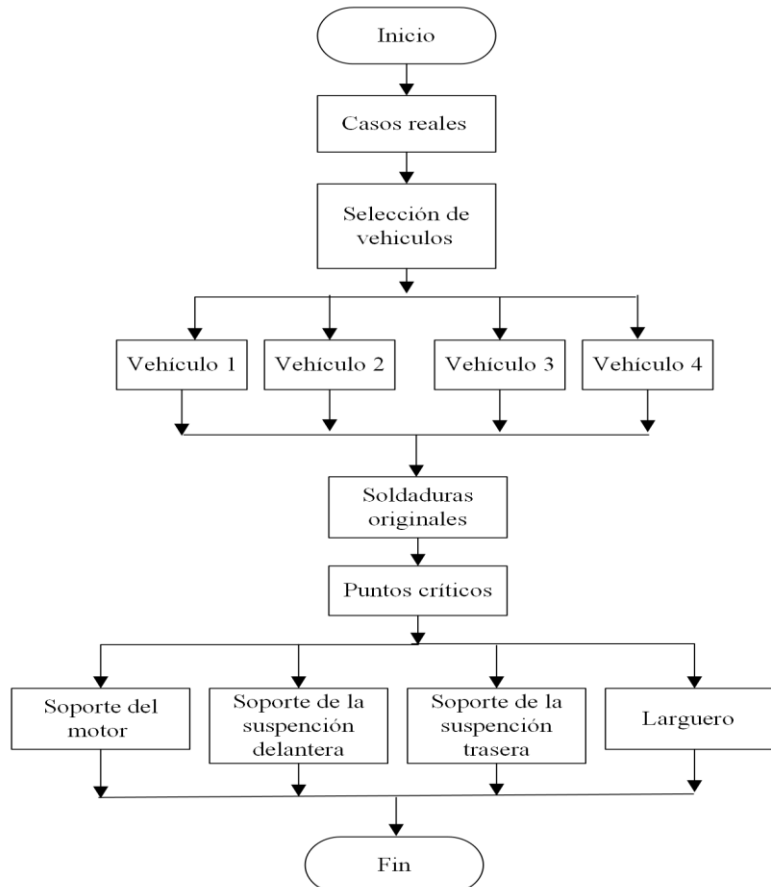
**- Probeta número 2, proceso MAG con aumento de amperaje y condiciones de intemperie:** En la probeta número 2, el proceso de soldadura presentó variaciones con respecto a las recomendaciones del fabricante, en particular se aumentó del amperaje el cual será de 100 A a 125 A en los dos pases es decir un aumento del 25 %. Además, la probeta fue soldada en condiciones de intemperie lo que expondrá al cordón de soldadura directo a flujos de aire con un aumento de la velocidad del 400 % lo cual afectarán su composición.

La limpieza superficial de la probeta no se realizó adecuadamente, lo que permitió que partículas que se movían en aire se adhiriera en el cordón de soldadura, favorecerán a la aparición de defectos.



### 3.2.3 Casos reales chasis de los vehículos

*Figura 16. Uniones en los chasis*



#### 3.2.3.1 Puntos de soldadura en los chasis de vehículos

En el análisis estructural de los chasis, como primer paso se escogieron cuatro vehículos los cuales sus carrocerías estén montadas sobre un chasis, luego de ello se inspeccionaron y se lograron encontrar puntos de suelta originales que unen a las diferentes partes del chasis con los demás componentes para el funcionamiento correcto de la vehículo, se escogerán cuatro puntos estratégicos de uniones por soldadura los cuales son puntos críticos para la integridad y el correcto funcionamiento del vehículo.

En este caso los puntos críticos que se usarán para realizar el análisis con los líquidos serán: soporte del motor, soporte de la suspensión delantera, soporte de la suspensión trasera y



Larguero. Los cuales cumplen una función clave en la transferencia de cargas y rigidez estructural.

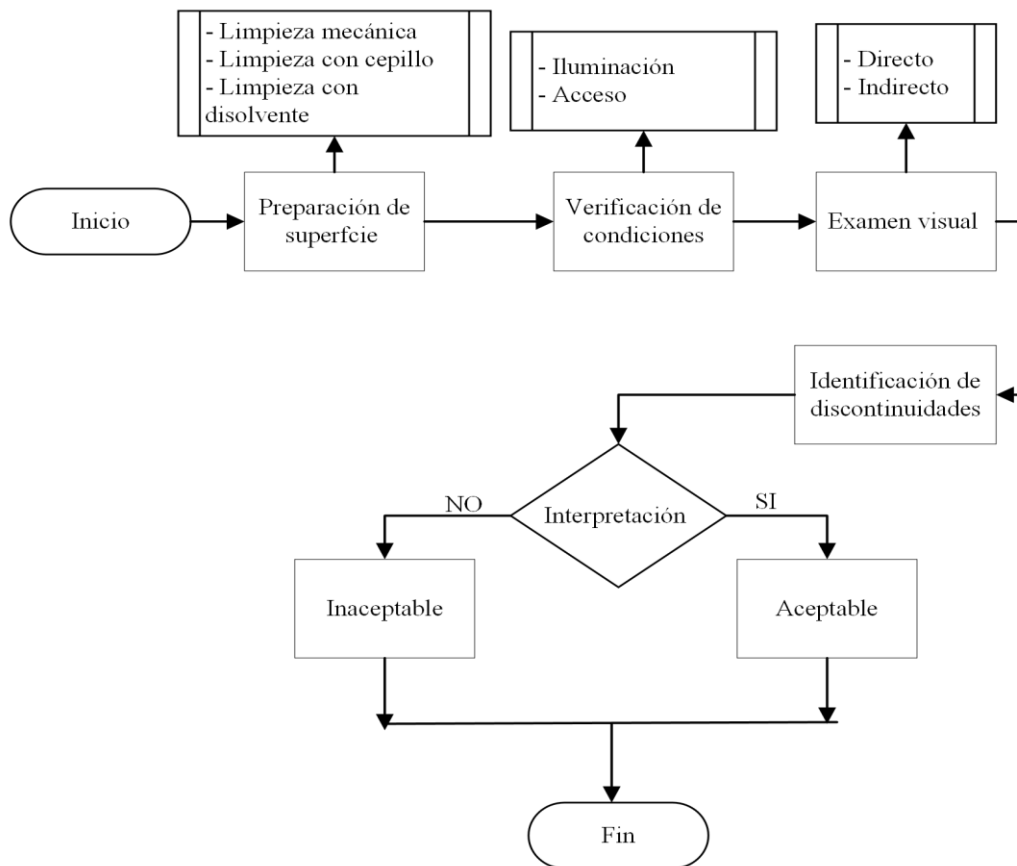
**3.2.3.2 Puntos de soldadura en los chasis del Go - Kart**

Para los puntos críticos de este tipo de vehículos, se analizó los puntos de uniones más críticas posibles en el chasis, en estos puntos se escogieron el soporte de las ruedas delanteras, soporte del asiento del piloto, uniones del soporte del motor y las uniones del eje trasero. Ya que estas están sometidas a altas tenciones cuando el vehículo está en uso.

**3.2.3 Desarrollo de ensayos no destructivos**

**3.2.3.1 Inspección visual**

*Figura 17. Desarrollo de inspección visual*



Una vez obtenidas las probetas mediante los diferentes procesos de soldadura (SMAW y MAG), se procedió con la limpieza de las impurezas residuales que pudieron haber quedado



en las probetas. Este proceso se lo realizó de manera mecánica empleando una pulidora eléctrica, con la cual permitió eliminar los excesos de material de aporte presentes en las probetas.

Por otro lado, la inspección de cordones de soldadura en los chasis de los vehículos se realizó utilizando de un cepillo de cerdas de acero como se observa en la Figura 18 . Esta herramienta fue seleccionada debido a que el uso de la pulidora eléctrica podría ocasionar un desgaste prematuro en las uniones soldadas, además de generar inconvenientes al remover la pintura protectora del chasis en áreas no deseadas

*Figura 18. Limpieza manual con cepillo de cerdas metálicas*



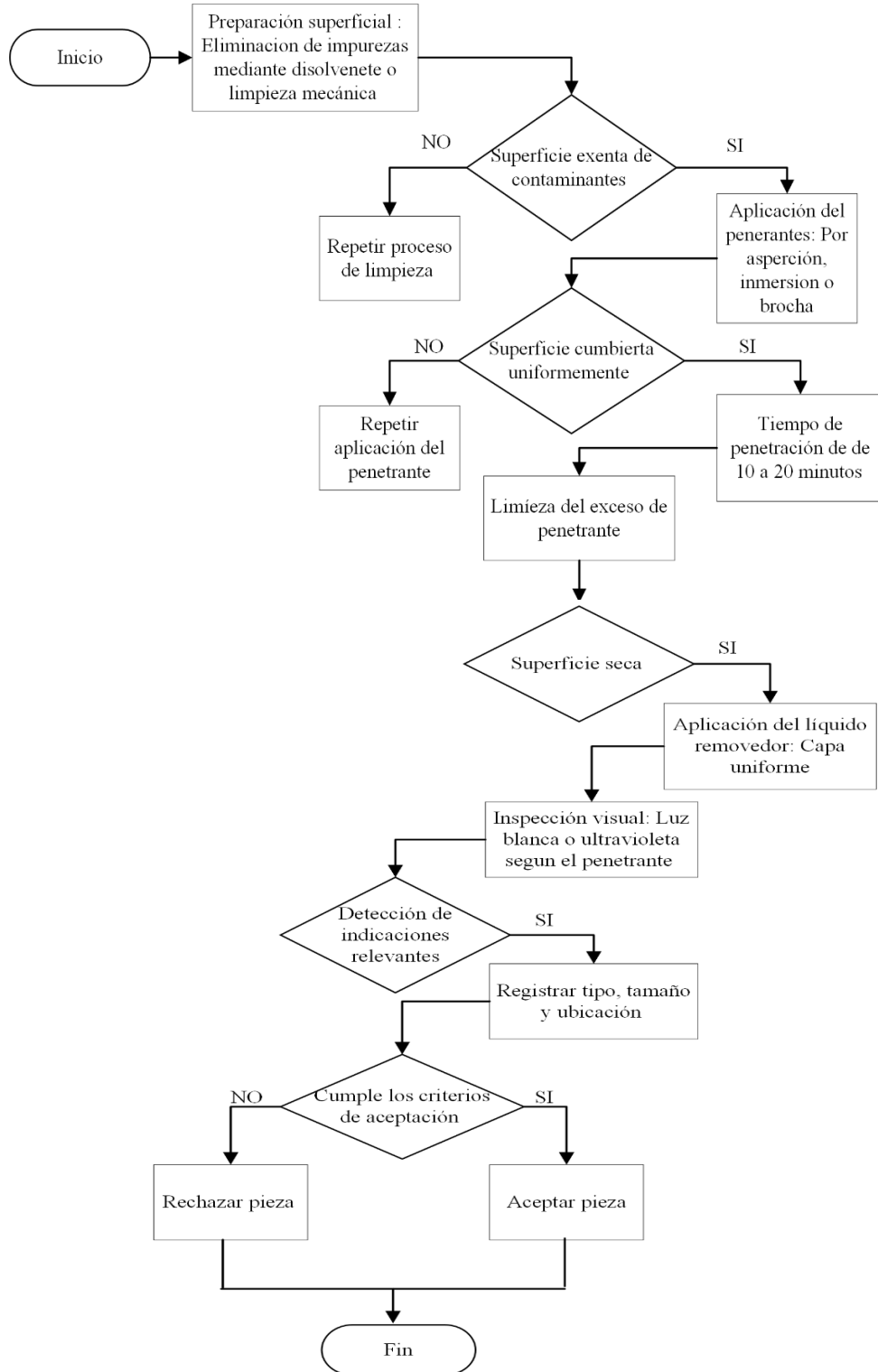
Estos procesos se los realizo con el propósito de detectar fallas e interpretarlos según la norma AWS D1.3, en las soldaduras perceptibles a simple vista sin necesidad de recurrir a los ensayos, ya sea en las probetas o chasis. Entre las discontinuidades más comunes que se pueden observar se encuentran:

- Grietas en las uniones soldadas.
- Presencia de poros en el cordón de soldadura.
- Exceso de material de aporte
- Entre otras imperfecciones superficiales.



3.2.3.2 Proceso de inspección mediante tintas penetrantes

Figura 19. Proceso mediante líquidos penetrantes





### ***Limpieza.***

El proceso inició con la limpieza de la superficie de las probetas y cordones de soldadura de los chasis, dicha superficie debe estar libre de partículas contaminantes, además de ello también debe estar completamente seca, así asegurando que el líquido pueda penetrar sin complicaciones. Como ya se mencionó anteriormente, las superficies de las probetas fueron limpiadas con la pulidora, posteriormente, se retiraron las partículas de polvo más grandes utilizando un paño seco.

Una vez completada esta etapa, se aplicó el primer producto químico el limpiador. Este tiene la función de eliminar los residuos de polvo restantes, así como restos de grasas que puedan quedar impregnadas en las probetas, así asegurando las condiciones estables para la inspección visual.

### ***Aplicación del líquido penetrante.***

Una vez verificado que los elementos se encuentren completamente libres de contaminantes, se procede a la aplicación del segundo producto químico, líquido penetrante.

Para su correcta aplicación, se recomienda mantener una distancia de pulverización aproximadamente de 30 cm a la superficie. La temperatura es un factor crítico para que el líquido garantice una buena penetración, siendo óptimo un rango de 4 °C a 52 °C. Temperaturas por debajo de su rango, el líquido puede aumentar su viscosidad, lo cual dificulta su penetración en posibles discontinuidades, mientras que temperaturas superiores, el líquido puede evaporarse antes de completar la penetración en las fallas.

Para asegurar una cobertura uniforme en la superficie, el pulverizador debe estar calibrado para lograr un rocío homogéneo y constante. La velocidad de aplicación también es esencial, ya que un movimiento demasiado rápido o lento pueden provocar un exceso o falta de líquido penetrante, por ello la velocidad está entre un rango intermedio, lo que asegura tener una cubierta uniforme.

Una vez aplicada en totalidad las superficies con el líquido penetrante, se lo deja actuar durante un tiempo de 10 a 20 minutos, conforme a la norma ASTM E1417, permitiendo que el líquido penetre de manera más efectiva en posibles fallas o discontinuidades presentes en las probetas.



### ***Eliminación del exceso de líquido.***

Ya transcurrido el tiempo de penetración, con ayuda de un paño limpio y seco, se remueve la cantidad restante de líquido penetrante de la superficie de las probetas. Ya realizado esto para que la prueba sea más efectiva se procede a humectar un paño con el líquido limpiador para una remoción más eficaz del exceso de penetrante.

### ***Secado de la superficie***

Después de eliminar el exceso de penetrante, se debe dejar que la humedad que se encuentra en la superficie de la probeta se evapore completamente durante un tiempo estimado 2 a 5 minutos. La temperatura de secado no debe sobrepasar los 50 °C, con el fin de evitar que el líquido penetrante pierda sus características

### ***Aplicación del revelador***

Una vez transcurrido el tiempo de secado, se procede a la aplicación tercer producto químico revelador mediante pulverización con un rocío asegurándonos que cubra uniformemente toda la superficie a inspeccionar. La distancia recomendada es de 30 cm, de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM E1417. La capa debe ser delgada para evitar acumulaciones, lo que puede dificultar la detección de las fallas.

El tiempo que se debe esperar para que el revelador actúe es de 5 a 10 minutos. Permitiendo una evaluación más precisa.

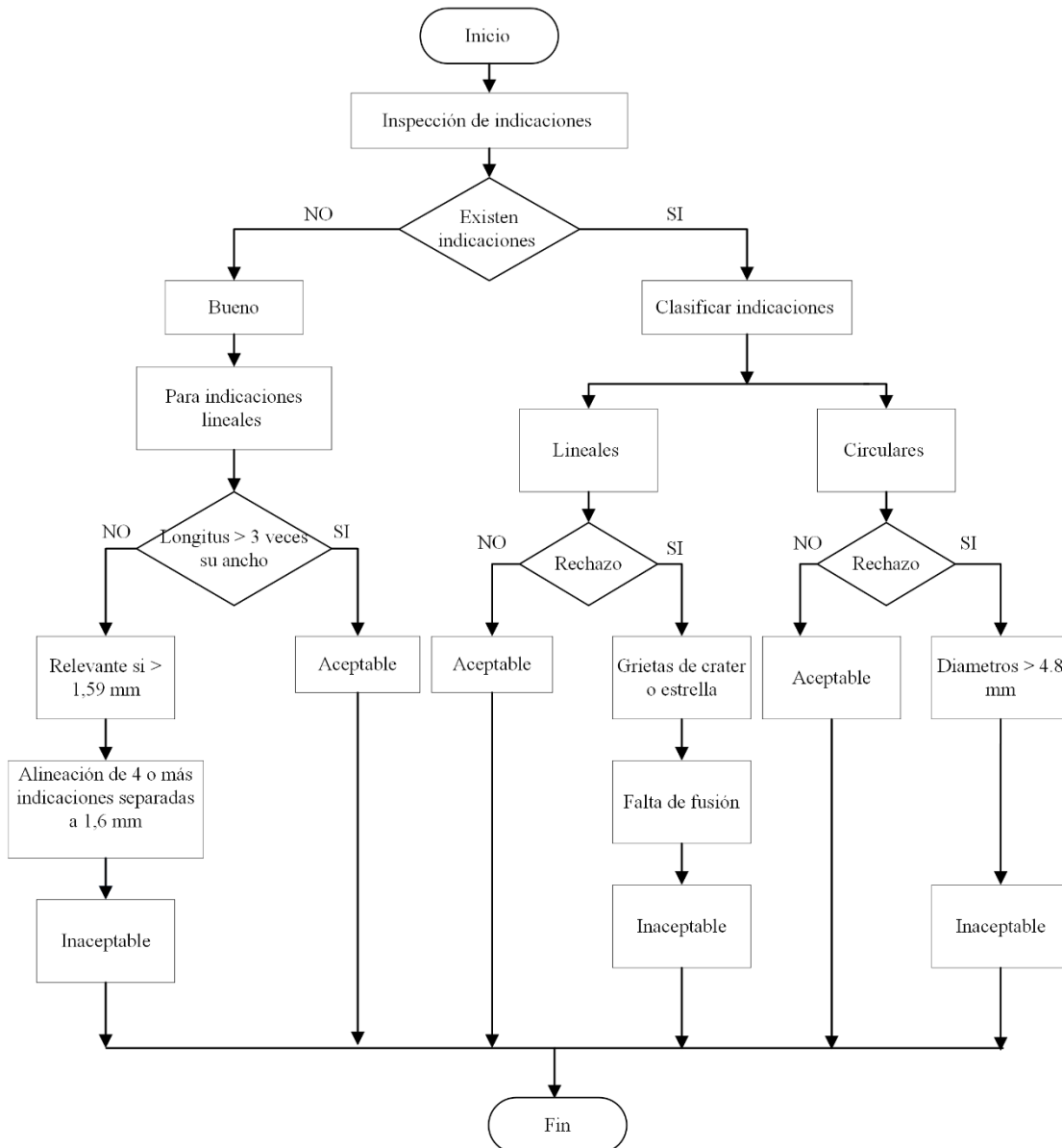
Para facilitar la identificación de las fallas, se recomienda emplear una fuente de luz adecuada que permita una correcta visualización de estas en las probetas.



**3.2.4 Criterios de aceptación mediante la evaluación con líquidos penetrantes.**

**3.2.4.1 Evaluación de criterios de aceptación**

*Figura 20. Evaluación de criterios de aceptación*



De acuerdo con lo establecido en la norma ASME, sección VIII división 1. Definen los parámetros de aceptación mediante ensayos con líquidos penetrante los cuales consideran las siguientes condiciones:



- La superficie inspeccionada debe encontrarse libre de indicaciones lineales
- No se admiten indicaciones de forma circular con dimensiones superiores a 4,8 mm en la superficie.
- No se permite la presencia de una alineación de cuatro a o más indicaciones relevantes separadas entre sí por una distancia de 1,6 mm o menores[47].

#### 3.2.4.2 Indicaciones lineales

Se definen con aquellas cuya longitud es, al menos, tres veces mayor que se ancho. Según los lineamientos de la norma ASME aplicables al ensayo por líquidos penetrantes, los criterios de aceptación para este tipo de discontinuidades se establecen de la siguiente manera:

- Se consideran relevantes las indicaciones con dimensiones superiores a 1,59 mm las cuales pueden conducir al rechazo en los siguientes casos:
- Cuando adoptan la forma de grietas de cráter o grietas en estrella cuyas longitudes son mayores a 3,96 mm.

*Figura 21. Grieta en forma de estrella*

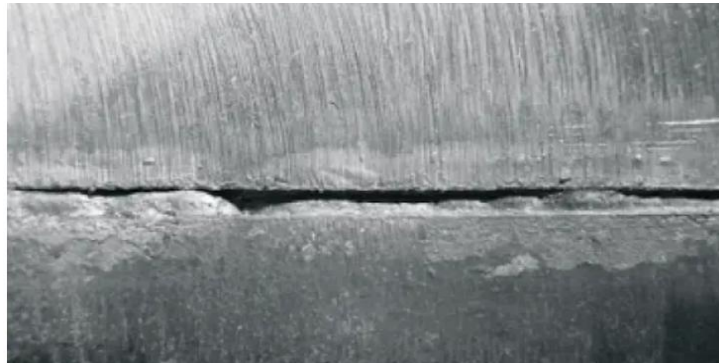


Fuente: Weldingofwelders, grietas en las soldaduras y como prevenirlas, 2024.

- Cuando las indicaciones no corresponden a grietas de cráter ni a grietas en estrella.
- En caso de cordones de soldadura, cuando se presentan indicaciones a falta de fusión con una longitud superior a 25,4 mm en un tramo continua aproximadamente 304,8 mm[47].



*Figura 22. Falta de fusión*



**Fuente:** Zintilon, defectos de soldaduras: tipos y causas, 2024.

#### **3.2.4.3 Análisis del estado.**

- **Bueno:** Si al realizar todo el proceso de inspección, el revelador no muestra rastro de penetrante incrustado en la superficie, ni colores intensos.
- **Aceptable:** Si se muestran colores intensos de las fallas en la superficie, pero el diámetro de este no sobrepasa lo establecido en la normativa.
- **Inaceptable:** Si al realizar todo el proceso aparecen rastros de colores intensos en la superficie, además de ello si las fallas sobrepasan las medidas de establecidas por la normativa.



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los ensayos no destructivos mediante inspección visual y líquidos penetrantes realizados en los cordones de soldadura en probetas, chasis de vehículos funcionales y chasis de un Go - kart, permiten identificar defectos superficiales en puntos críticos que están unidos de forma permanente mediante soldadura. El propósito de los ensayos es encontrar deficiencias presentes las cuales pueden comprometer a la integridad estructural del vehículo.

Los ensayos no destructivos mediante líquidos penetrantes, realizados en las probetas como en los chasis de los vehículos, permiten identificar fisuras y defectos en puntos críticos que están unidos mediante soldadura. Estas imperfecciones pueden originarse por sobrecarga de trabajo, deficiencias en las uniones soldadas o el desgaste por el paso del tiempo, afectando de manera negativa la integridad estructural del vehículo.

La metodología que se aplicada permite que los ensayos se realicen de manera técnica y precisa, en el caso de las probetas, mediante la inspección con líquidos penetrantes permiten evaluar el comportamiento de las uniones soldadas con los diferentes procesos de soldadura y detectar posibles defectos de fusión o discontinuidades que no son perceptibles a simple vista. Estas pruebas experimentales permiten comprar la aparición de defectos tano en probetas realizadas bajo una normativa y uno sin aplicar la normativa, lo que facilita su aplicación y comparación posterior en escenarios reales, como la inspección de los chasis de los vehículos.

Al realizarse las pruebas con tintas penetrantes en vehículos en circulación, especialmente en puntos críticos del chasis, permiten apreciar cómo las cargas y esfuerzos operativos, así como accidentes en los que estuvieron involucrados afectan las uniones soldadas en el chasis, y si existieran fisuras o defectos, poder planificar acciones de mantenimiento preventivo y correctivo, contribuyendo a garantizar la seguridad y la fiabilidad estructural de los vehículos.

#### 4.1 Elementos seleccionados para la inspección

Los elementos seleccionados para la inspección mediante ensayos no destructivos con líquidos penetrantes fueron: probetas, chasis de vehículos funcionales y el chasis de un vehículo tipo Go - kart. Las probetas, como ya se mencionó previamente, fueron sometidas a distintos



procesos de soldadura SMAW y MAG. Estas probetas fueron usadas con el propósito de evaluar cómo se comportan los líquidos penetrantes en cada tipo de unión, además de ello verificar el correcto funcionamiento de los líquidos y su capacidad de detección en discontinuidades.

En cuanto a los chasis de los vehículos, se eligieron debido a que son parte fundamental del vehículo, debido a que constituye el soporte principal encargado soportar los esfuerzos mecánicos y sostiene componentes fundamentales como el motor, transmisión, suspensión, entre otros y resista su peso. Al estar sometidos a tensiones estructurales continuas durante su operación pueden generar que las uniones soldadas lleguen a deteriorarse y puedan presentar fisuras. Adicionalmente, se seleccionó el chasis de un Go - kart con el fin de analizar las zonas críticas que están sometidas a esfuerzos más severos. Y permitiendo evaluar la resistencia de las uniones soldadas y verificar la presencia de discontinuidades derivadas del trabajo.

Los chasis seleccionados presentan variaciones en su configuración estructural debido a que corresponden a vehículos de diferentes modelos, y años de fabricación, para así lograr un análisis comparativo más amplio y preciso en los distintos escenarios.

Los resultados que se obtienen permiten la aceptación y el rechazo de los componentes mediante parámetros técnicos establecidos por normativas que permiten una comprensión más exacta para la respectiva evaluación.

#### **4.2 Inspección visual de soldaduras**

La inspección visual inicio con la limpieza de las superficies soldadas, tanto de las probetas, así como los puntos de soldadura de lo chasis de los vehículos. Para ello, se empleó alcohol isopropílico y un paño limpio, para así lograr la limpieza de impurezas de las soldaduras de los componentes, con el fin de eliminar impurezas solidas que se encuentran adheridas al material base y el cordón de soldadura.

Este procedimiento permite obtener una inspección más precisa para el registro de discontinuades presentes aun sin la necesidad de una limpieza profunda con otros instrumentos.

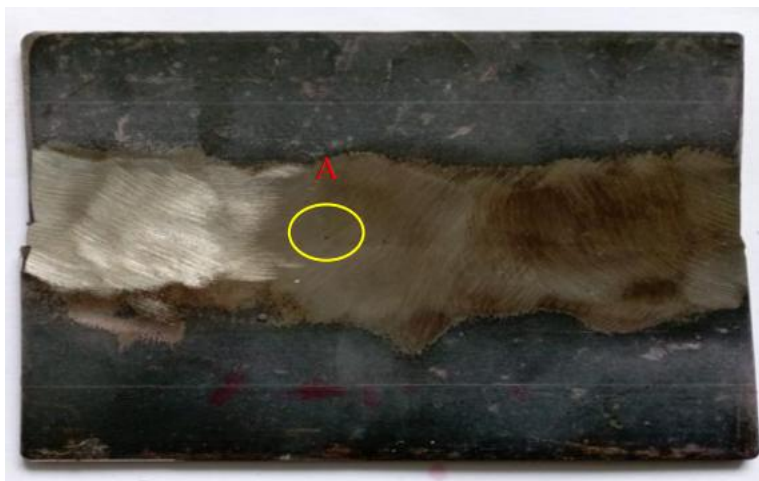


**4.2.1 Uniones de soldadura en probetas**

La soldadura en las probetas se realizó bajo los criterios establecido en la normativa AWS D1.3, en lo que respecta a la identificación de defectos y discontinuidades encontrados en la soldadura mediante la inspección visual. El procedimiento nos permite evaluar la calidad superficial de las uniones soldadas, y verificar sus parámetros de aceptación y rechazo que establece la norma.

*Tabla 20. Soldadura SMAW en condiciones normales.*

Probeta N°	1	Proceso	SMAW	Parámetro	Condiciones normales
------------	---	---------	------	-----------	----------------------



Identificación	Normativa	Longitud	Descripción	Evaluación
A	AWS D1.3	0.3 mm	Poros aislados	Aceptable

*Tabla 21. Soldadura SMAW con amperaje aumentado.*

Probeta N°	2	Proceso	SMAW	Parámetro	Amperaje aumentado e intemperie
------------	---	---------	------	-----------	---------------------------------



Identificación	Normativa	Longitud	Descripción	Evaluación
A	AWS D1.3	5 mm	Falta de continuidad	Inaceptable
B	AWS D1.3	8 mm	Porosidad agrupada	Inaceptable
C	AWS D1.3	0.2 mm	Porosidad aislada	Aceptable

Tabla 22. Soldadura MAG en condiciones normales

Probeta N°	1	Proceso	MAG	Parámetro	Condiciones normales
------------	---	---------	-----	-----------	----------------------

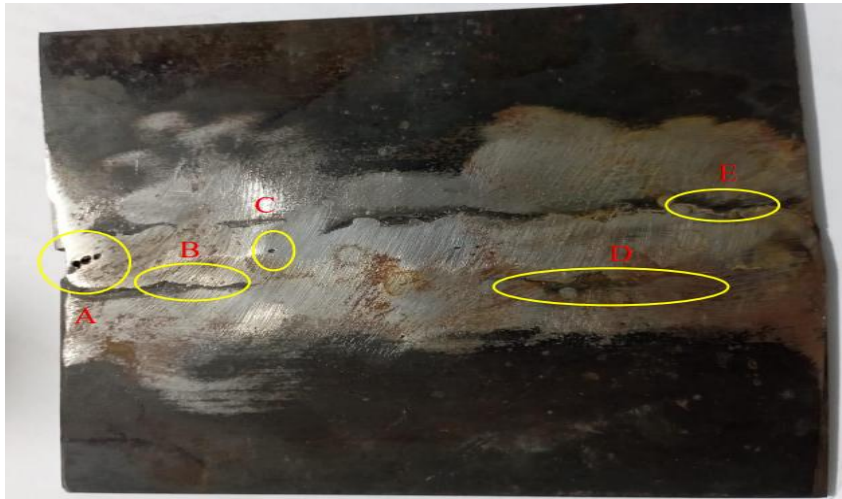


Identificación	Normativa	Longitud	Descripción	Evaluación
A	AWS D1.3	1 mm	Falta de continuidad	Aceptable



*Tabla 23. Soldadura MAG condiciones de intemperie y aumento de amperaje.*

Probeta N°	2	Proceso	MAG	Parámetro	Condiciones de intemperie y aumento de amperaje
------------	---	---------	-----	-----------	---



Identificación	Normativa	Longitud	Descripción	Evaluación
A	AWS D1.3	3 mm	Porosidad agrupada	Inaceptable
B	AWS D1.3	15 mm	Falta de fusión	Inaceptable
C	AWS D1.3	1,7 mm	Porosidad aislada	Aceptable
D	AWS D1.3	27 mm	Falta de fusión	Inaceptable
E	AWS D1.3	18 mm	Falta de fusión	Inaceptable

En los cordones de soldadura de cada una de las probetas se pueden observar que poseen discontinuidades. En las probetas que se soldaron siguiendo la normativa existen fallas que son aceptables según la normativa, pero en las probetas que se soldaron sin seguir la misma existe la presencia de algunas discontinuidades que no son aceptables, pero por motivo de estudio y comparaciones se las aceptará para continuar con el siguiente ensayo no destructivo, el cual nos permitirá analizar si existen las apariciones de más imperfecciones superficiales.

**4.2.2 Uniones de soldadura en los chasis de los vehículos**

Las uniones de soldadura en los chasis de los vehículos se aplicaron los mismos criterios normativos de forma el procedimiento para la inspección visual de los componentes estructurales del vehículo como lo indica la normativa. Permite estandarizar el proceso de



evaluación. Los criterios se realizaron con la finalidad de identificar la presencia de discontinuidades similares en condiciones reales.

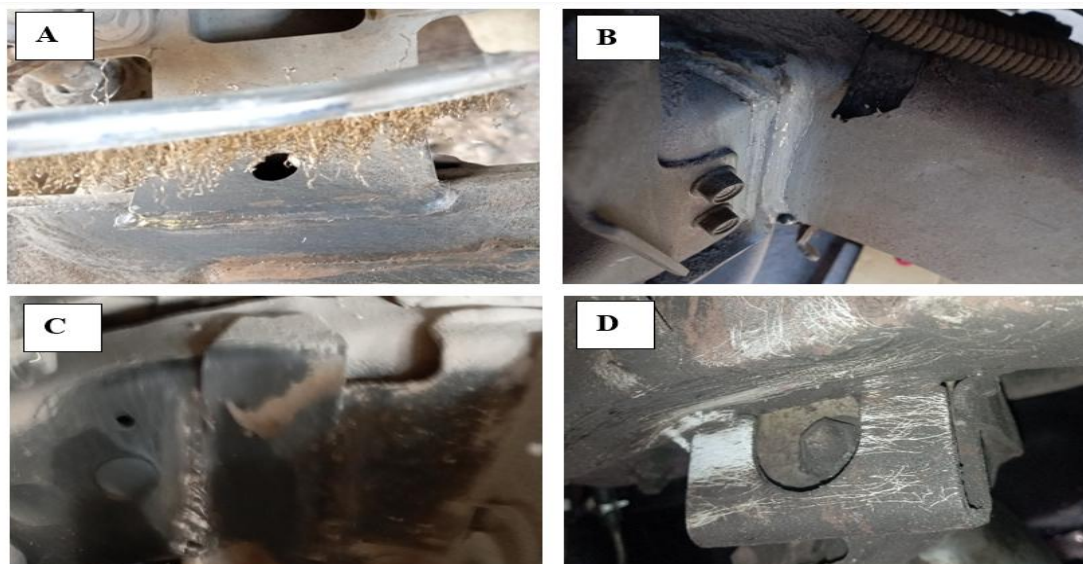
Los modelos de los vehículos analizados para los ensayos son:

- A. Great Wall.
- B. Toyota Hilux.
- C. Nissan Frontier.
- D. Chevrolet Grand Vitara.

#### 4.2.2.1 Soporte del motor

Es el elemento encargado de sostener y tener fijo al motor al chasis del vehículo, lo que permite mantener al motor en su posición correcta durante su funcionamiento. Soporta el peso del motor y absorber las vibraciones, así como los movimientos generados durante la operación. Además de ello evita que las vibraciones y movimientos se transmitan a la estructura del vehículo.

*Figura 23. Soportes de motor.*



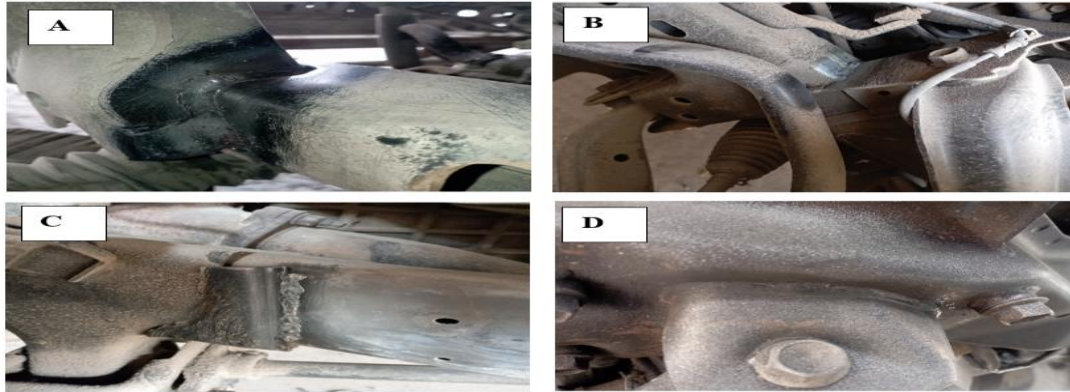
#### 4.2.2.2 Soporte de la suspensión delantera

El soporte de la suspensión delantera sirve como punto de anclaje para los componentes de la suspensión como lo son: brazos de suspensión, amortiguadores, resortes. La función que tiene



es soportar y transmitir las cargas generadas debido al peso del vehículo, las irregularidades presentes en el camino y las maniobras de dirección hacia la estructura del chasis.

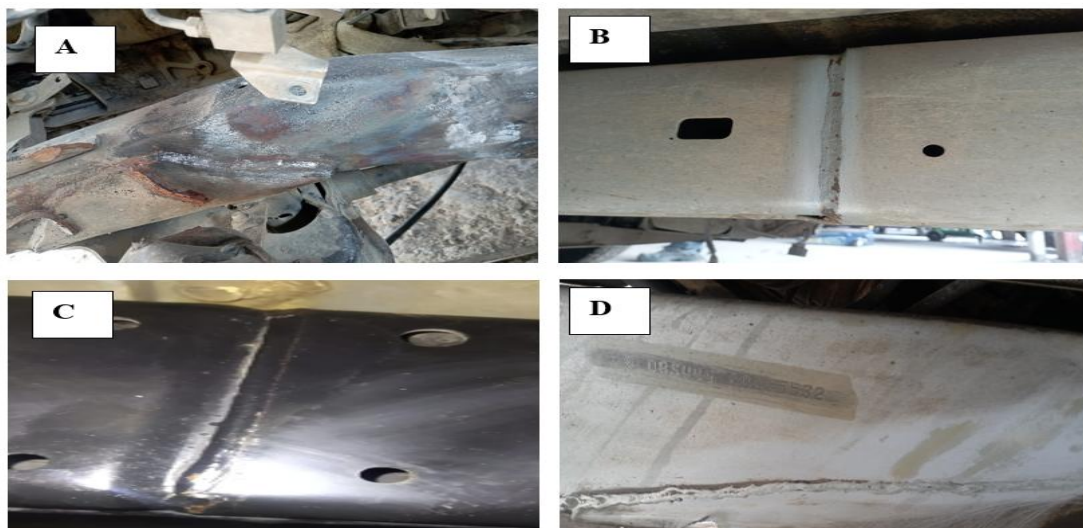
*Figura 24. Soportes de suspensión delantera.*



#### 4.2.2.3 Larguero

Constituye la columna principal de soporte de la estructura. Soporta y distribuye las cargas generadas por el peso del vehículo, así como otros elementos como lo son el motor, la suspensión y la carga. Permite resistir los esfuerzos de flexión y torsión durante el funcionamiento del funcionamiento del vehículo.

*Figura 25. Largueros.*

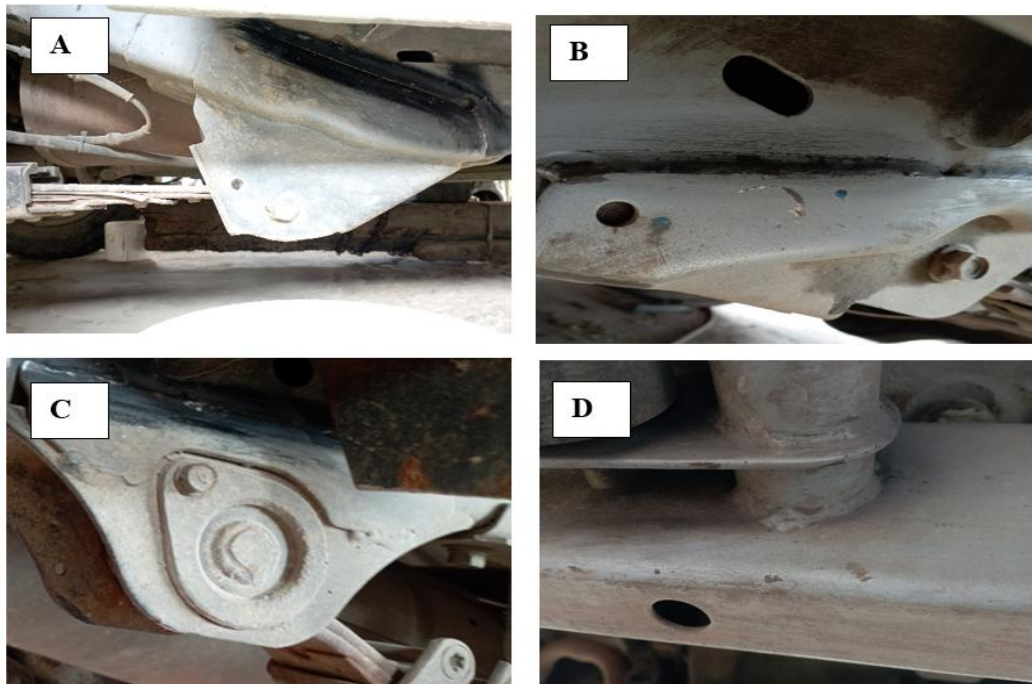




#### 4.2.2.4 Soporte de suspensión trasera

Es un elemento estructural que sirve como punto de anclaje para los componentes de la suspensión como amortiguadores, resortes, ballestas. Permitiendo así transmitir las cargas generadas por el peso del vehículo, además irregularidades del terreno y las maniobras de conducción hacia la estructura del chasis.

*Figura 26. Soportes de suspensión trasera*



En la inspección visual de los cordones de soldadura en los chasis de los vehículos de cada elemento, no se pudieron evidenciar discontinuidades presentes en la superficie de las uniones. Debido a ello, los cordones de soldadura se aprueban para el siguiente ensayo no destructivo.

#### 4.2.3 Uniones de soldadura en los chasis karting

Al igual que las anteriores uniones, las soldaduras del Go kart, la inspección visual se las aplicara siguiendo a la normativa AWS D1.3, así analizado las posibles presencias de imperfecciones superficiales presentes en los cordones de soldadura de las distintas uniones que posee el vehículo como se observa en la figura .



*Figura 27. Cordones de soldadura de uniones de Go Kart.*



En la inspección visual de los cordones de soldadura en el chasis del vehículo Go - kart, no se pudieron apreciar discontinuidades perceptibles a simple vista presentes en la superficie. Por lo cual cada cordón de soldadura se aprueba para el siguiente ensayo no destructivo.

Una vez finalizada la etapa inicial, mediante la inspección visual de todos los elementos a evaluar, se logró evidenciar que en la mayoría de los cordones de soldadura presentan una apariencia superficial aceptable según lo establecido en la normativa AWS D1.3. Sin embargo, en algunas uniones se presenciaron discontinuidades mayores en las probetas que fueron unidas sin seguir la normativa, además de ello se observaron discontinuidades las cuales se mantienen dentro de los límites establecidos por la norma.

Debido a ello se procede a la evaluación de las uniones de los componentes mediante líquidos penetrantes mediante lo establecido en la normativa ASME E1417, con el fin de analizar la aparición de imperfecciones que no son perceptibles a simple vista. El proceso de los ensayos consta de la aplicación de los tres productos químicos los cuales son: líquido limpiador, líquido penetrante y líquido revelador colocados en orden. La aplicación de los tres productos permite



un diagnóstico preciso para detectar imperfecciones que pasaron desapercibidas durante la inspección visual.

### 4.3 Inspección por líquidos penetrantes

Ya finalizada la inspección visual, se procedió a realizar los ensayos con líquidos penetrantes, tomado en cuenta los aspectos establecidos por la normativa ASTM E1417, a lo que se refiere a la práctica estándar para pruebas de líquidos penetrantes. Además de ello, la normativa ASME sección VIII, división 1, para la aplicación de criterios de aceptación de pruebas con líquidos penetrantes. Además de ello se usará la normativa AWS D1.3, menciona criterios de aceptación solamente para la inspección visual, pero no establece criterios de aceptación para la determinación de discontinuidades que se presentan en ensayos mediante líquidos penetrantes, sino que ayudara a clasificar los tipos de defectos encontrados en los ensayos.

#### 4.3.1 Aplicación del líquido limpiador

La preparación de las muestras inicio con la limpieza de las probetas y de los cordones de soldadura de los chasis. Para asegurar una superficie libre de impurezas, las probetas fueron sometidas a una limpieza mecánica mediante el uso de una pulidora eléctrica, mientras que los cordones de soldadura en los chasis fueron limpiados con ayuda de un cepillo de cerdas metálicas. Posteriormente se aplicó el líquido limpiador con el fin de eliminar contaminantes como grasas, corrosión y partículas contaminantes, para así asegurar de una correcta preparación de la superficie de las muestras a inspeccionar.

##### 4.3.1.1 Aplicación del líquido limpiador en probetas

La limpieza en las probetas es crucial para que el ensayo se desarrolle de manera adecuada, y el líquido penetrante ingrese de forma correcta, a continuación, en la tabla se muestra la aplicación del limpiador en cada una de las probetas.

**Tabla 24.** *Aplicación del líquido limpiador en probetas.*

---

**Proceso de soldadura SMAW**

---



**Proceso de soldadura MAG**



En la mayoría de las probetas analizadas, la aplicación del líquido limpiador permitió eliminar eficazmente las impurezas y óxido que estaban adheridos en la soldadura. Además, se observó la existencia de grasas en la superficie, los cuales fueron removidos exitosamente tras la limpieza. El procedimiento nos garantiza tener las condiciones adecuadas para la aplicación del líquido penetrante.

#### ***4.3.1.2 Aplicación del limpiador en cordones de soldadura de chasis***

La aplicación del líquido limpiador en los cordones de soldadura de los chasis tanto de los vehículos como en el del Go Kart, nos permite eliminar cualquier impureza superficial, garantizando así el proceso de inspección se lo realice de forma correcta. A diferencia de las probetas, la limpieza de las uniones resultó compleja debido a la forma estructural del vehículo ya que algunas zonas son angostas y dificultan el acceso y la remoción total de los contaminantes. La aplicación se las realizó en cada uno de los cordones de soldadura como se evidencia en las figuras



*Figura 28. Aplicación del líquido limpiador en las distintas uniones.*



El líquido limpiador permitió eliminar eficazmente el exceso de los contaminantes como el polvo de la superficie, ya que comúnmente quedan adheridas en los chasis. Además de ello, facilitó la remoción de grasas que estaban presentes en los cordones de soldadura. Sin embargo, el aspecto más difícil pero el más importante para que el proceso sea correcto, fue la eliminación completa de la pintura de protectora en las uniones de soldadura, ya que su presencia podría interferir en el siguiente proceso. Las zonas que fueron un poco complicada de limpiar fueron el soporte del motor y el soporte de la suspensión delante por las protecciones que estas poseen, pero con ayuda del líquido limpiador se garantizó una superficie quedaran totalmente limpia y apta para la adherencia del líquido penetrante.

#### **4.3.2 Aplicación del líquido penetrante**

Una vez terminado la correcta limpieza de las probetas y de los cordones de soldadura de los chasis, se procede a la aplicación del líquido penetrante, dicho liquido tiene la capacidad de introducirse en cavidades las cuales no son perceptibles a simple vista, esto lo hace debido a que este posee una viscosidad muy baja y una capacidad de fluides optima.

El área en el cual se va a aplicar debemos asegurar que esté completamente limpia y seca, para que el producto realice un buen trabajo. Dichas características permiten pruebas de calidad y técnicas, por el procedimiento tan riguroso aseguramos que los defectos que poseen puedan ser identificados en los elementos a inspeccionar.



**4.3.2.1 Aplicación del líquido penetrante probetas**

La aplicación del líquido penetrante en las probetas, en primera instancia nos aseguramos de que estén completamente limpias, y con ayuda de un paño, eliminamos cualquier indicio de humedad, para que así el líquido actúe de manera correcta introduciéndose en las imperfecciones que posean. En la siguiente tabla se aprecia el proceso de aplicación del líquido penetrante en las probetas.

*Tabla 25. Aplicación del líquido penetrante en probetas.*

---

**Proceso de soldadura SMAW.**

---




---

**Proceso de soldadura MAG.**

---





#### 4.3.2.2 Aplicación del líquido penetrante en los chasis

*Figura 29. Aplicación de líquido penetrante chasis de vehículos.*



#### 4.3.2.3 Aplicación del líquido penetrante en chasis karting

*Figura 30. Aplicación de líquido penetrante en chasis Go Kart.*



La aplicación del líquido penetrante tanto en las probetas y cordones de soldadura de los chasis se lo realiza de manera correcta respetando la distancia y las zonas en las que se lo colocará estén completamente limpias y secas, además de ello asegurándonos que el líquido cubra toda el área a inspeccionar evitando los excesos. El tiempo para que el líquido funcione de manera correcta fue de 10 a 20 minutos, así asegurándonos una penetración segura en las imperfecciones que puedan tener los elementos a inspeccionar.

#### 4.3.3 Aplicación del líquido revelador

El líquido revelador es el último producto que se aplica en el proceso de los ensayos no destructivos. El revelador permite que el líquido penetrante impregnado en las imperfecciones sumerja a la superficie, el líquido es de color blanco, así facilitando la visualización del líquido penetrante que se encuentra en las cavidades o imperfecciones de los elementos analizados.



Para que el líquido funcione correctamente, se lo aplica con una capa delgada y uniforme, asegurándonos que cubra toda la superficie a inspeccionar. Esta es una etapa fundamental, debido que con este paso demostraremos la efectividad de los ensayos realizados.

**4.3.3.1 Aplicación del líquido revelador en probetas**

Una vez limando el exceso de líquido penetrante, se procedió a la aplicación del líquido revelador en cada una de las probetas, su aplicación fue una capa delgada y uniforme en todas las superficies, permitiendo así que el líquido penetrante aparezca en las zonas que tienen fallas. Un exceso de líquido revelador impide que el líquido penetrante sumerja a la superficie correctamente.

**Tabla 26. Aplicación de líquido revelador probetas**

---

**Proceso de soldadura SMAW.**

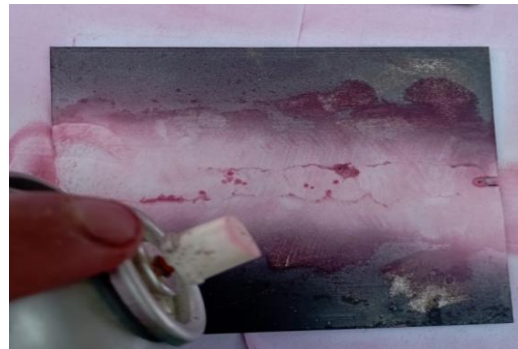
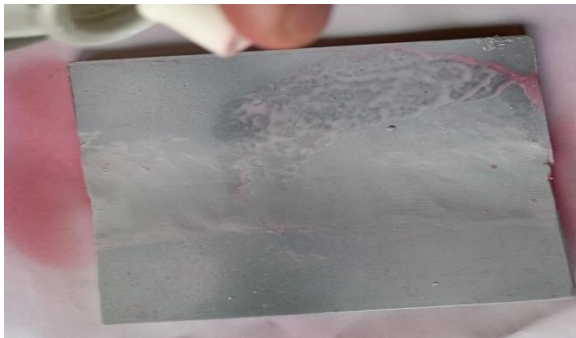
---




---

**Proceso de soldadura MAG.**

---





#### 4.3.3.2 Aplicación del líquido revelador en cordones de soldadura de chasis.

La aplicación del revelador es el último paso para realizar el proceso de inspección así lograr identificar discontinuidades presentes en los cordones de soldadura de los chasis. La aplicación del líquido debe ser una capa fina, para que el líquido pueda sumergir a la superficie. La etapa es crucial, así demostrando la efectividad de los ensayos.

*Figura 31. Aplicación de líquido revelador en chasis.*



La aplicación del líquido revelador permitió identificar de manera más precisa y fácil las discontinuidades superficiales presentes en los elementos evaluados. El líquido actuó como un agente que permitió resaltar las zonas en las que el líquido penetrante emergió a la superficie debido a que estaba incrustado en las grietas. Gracias a ello fue posible la visualización de forma más clara o indicios posibles de defectos es las áreas que se realizó el ensayo. En la mayoría de los elementos analizados, se logra evidenciar la presencia de discontinuidades, lo que confirma la eficacia del método con líquidos penetrantes en la detección de discontinuidades superficiales.



#### 4.4 Análisis.

Una vez finalizado los ensayos no destructivos mediante el método de líquidos penetrantes, el presente segmento tiene la finalidad de analizar de forma más detallada los resultados obtenidos en la evaluación. El objetivo fundamental de este análisis es detallar la efectividad del procedimiento aplicado para la detección de discontinuidades superficiales a los elementos que fueron escogidos para dicha evaluación, los cuales puedan comprometer con la integridad estructural del chasis del vehículo.

Así mismo los resultados obtenidos, se procederá a examinar los diámetros, ubicación y tipo de discontinuidades detectadas aplicando los criterios de aceptación establecidos en la norma utilizada. El proceso permitirá establecer la relación que existe entre las características que se observan en las fisuras y las posibles causas de su formación, lo cual ayudara a destacar la importancia de la detección temprana de discontinuidades mediante los ensayos no destructivos, ya que permite la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo antes que las fallas generen daños estructurales o un riesgo operativo.

De esta manera, el análisis técnico mediante el informe realizado proporcionara una interpretación más clara y precisas de las condiciones superficiales de los elementos inspeccionados, así constituir una base para la toma de decisiones que se orientan a la seguridad estructural del vehículo.

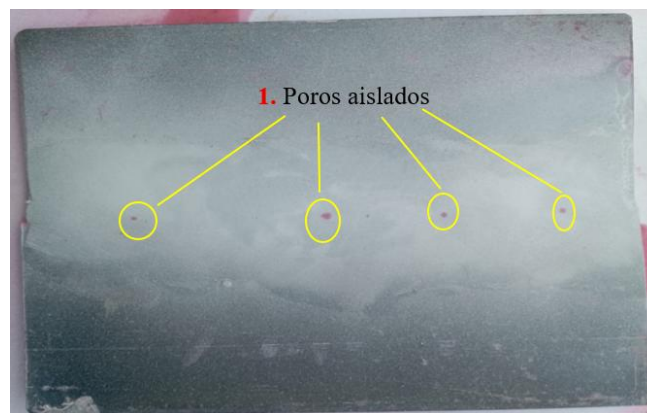


#### 4.4.1 Análisis de resultados de ensayos mediante líquidos penetrantes probetas

##### 4.4.1.1 Probeta N°1 proceso SMAW condiciones normales

En el ensayo realizado en la probeta N°1 se puede apreciar 4 discontinuidades del mismo tipo como se observa en la Figura 32. Según la normativa AWS D1.3 se los clasifican como poros aislados. Las discontinuidades se localizan en toda la parte longitudinal del cordón de soldadura.

**Figura 32.** Análisis de ensayos Probeta N°1 SMAW.



Según los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones redondeadas que posean un diámetro mayor a 1/8 de pulgada 3 mm se considerara una indicación relevante. Las indicaciones presentes poseen un diámetro aproximado de 1mm individualmente. Por lo tanto, las indicaciones son aceptables según lo establecido en la normativa.

##### 4.4.1.2 Probeta N°2 proceso SMAW aumento de amperaje y condiciones de intemperie

En la evaluación realizada en la probeta N°2 se evidenciaros varios tipos de imperfecciones superficiales presentes a lo largo del cordón de soldadura como se muestra en la Figura 33, las discontinuidades se enumeraron para seguir un orden lógico y el análisis de cada una.

1. Discontinuidad clasificada según la normativa AWS D1.3 como falta de penetración, posee una longitud de 11 mm. Localizada en a lo largo del cordón de soldadura.
2. Anomalía clasifica según la normativa AWS D1.3 como poro asilado. Localizado cerca de la discontinuidad 1. Posee una longitud de 3 mm.



3. Irregularidad clasificada según la normativa AWS D1.3 como poros dispersos. Localizada en la cercanía a la discontinuidad 2. Poseen una longitud total de 13 mm. Causadas por el contacto directo del aire que tuvo la soldadura al momento de unir las dos placas.

4. Falla superficial clasifica según la normativa AWS D1.3 como falta de fusión. Localizada en la parte final del cordón de soldadura. Posee una longitud de 8 mm. Causada por una falta de terminación continua de la soldadura en los dos metales bases.

**Figura 33.** Análisis de ensayos Probeta N°2 SMAW.



Según los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud  $5/32$  pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como las indicaciones 1 y 4 poseen longitudes de 11 mm y 8 mm respectivamente, se las considerará inaceptables.

Y para el análisis de aceptación de indicaciones redondeadas cuyo diámetro supere  $1/8$  de pulgada 3 mm y para indicaciones agrupadas redondeadas que superen los 11 mm serán considerados indicaciones relevantes. Los diámetros de cada discontinuidad presente en son de 3 y 13 mm. La discontinuidad numero 2 se encuentra al límite, por lo cual es aceptable. Pero la irregularidad 3, al superar el límite permitido es inaceptable.

#### 4.4.1.3 Probeta N°1 proceso MAG condiciones normales

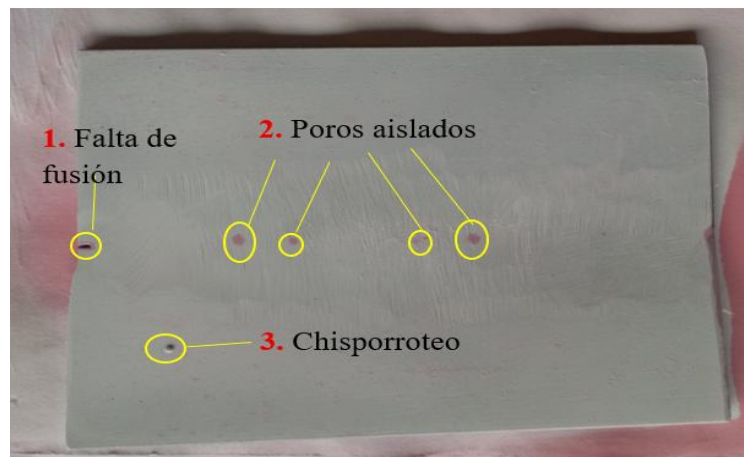
En la prueba realizada en la probeta, se pudieron apreciar discontinuidades superficiales presentes a lo largo del cordón de soldadura como se muestra en la Figura 34. Por ello se



enumerará cada tipo de discontinuidad para seguir un orden lógico y preciso de cada irregularidad.

1. Irregularidad clasificada según la normativa AWS D1.3 como falta de fusión. Localizada al inicio del cordón de soldadura, posee una longitud de 1.4 mm.
2. Discontinuidad clasificada según la normativa AWS D1.3 como poros aislados. Localizados a lo largo del cordón de soldadura. Poseen un diámetro de 1 mm independientemente.
3. Imperfección clasificada según la normativa AWS D1.3 como chisporroteo. Localizado en la superficie del material base en la parte inferior. Posee un diámetro de 1,3 mm.

**Figura 34.** Análisis de ensayos Probeta N°1 MAG.



Conforme con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud  $5/32$  pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como la indicación 1 posee una longitud de 1.4 mm. Por lo tanto, la discontinuidad es aceptable.

Y para las indicaciones circulares que poseen diámetros mayores a 3 mm son indicaciones relevantes. Como las indicaciones 2 y 3 poseen diámetros que se encuentra dentro de los límites permitidos. Por lo tanto, las irregularidades presentes son aceptables.

#### **4.4.1.4 Probeta N°2 proceso MAG aumento de amperaje y condiciones de intemperie**

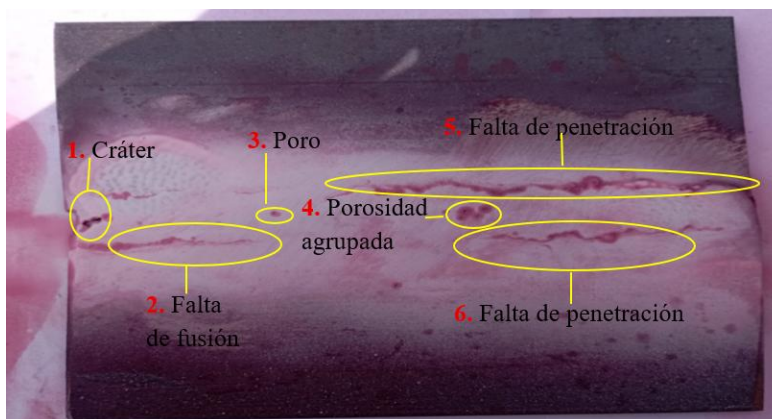
En las pruebas realizadas en la probeta, se observaron la aparición de diferentes discontinuidades superficiales presentes a lo largo del cordón de soldadura como se evidencia



en la Figura 35. Debido a ello se enumerarán cada uno de los defectos encontrados para así lograr poseen una análisis más detallado y preciso de cada uno.

1. Irregularidad clasificada según la normativa a AWS D1.3 como un cráter, posee una longitud de 6 mm de diámetro, localizada al inicio del cordón de soldadura.
2. Falla superficial clasificada según la normativa AWS D1.3 como falta de fusión, tiene una longitud de 29 mm, ubicada a lo largo del cordón de soldadura entre el metal base inferior.
3. Discontinuidad clasificada como Poro aislado, ubicada en la parte superior del metal base y el cordón de soldadura. Posee un diámetro de 1,3 mm.
4. Irregularidad superficial clasificada como porosidad agrupada. Ubicada en el centro del cordón de soldadura. Posee un diámetro de 11,5 mm en total.
- 5 y 6. Fallas superficiales clasificadas según la normativa AWS D1.3 como faltas de penetración. Ubicadas en la parte superior e inferior del metal base y el cordón de soldadura. Poseen longitudes de 68 mm y 37 mm.

**Figura 35.** Análisis de ensayos Probeta N°2 MAG.



De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud 5/32 pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como las indicaciones 2, 5 y 6 poseen longitudes de 29 mm, 68mm y 37 mm respectivamente. Por lo tanto, las discontinuidades presentes a lo largo del cordón de soldadura son inaceptables.



Y para las indicaciones circulares que poseen diámetros mayores a 3 mm y para indicaciones agrupada que posean un diámetro mayor a 11 mm son indicaciones relevantes. Como la indicación 3 posee un diámetro de 1.5mm, se encuentra dentro de los límites permitidos. Por lo tanto, la irregularidad presente es aceptable. Pero para la discontinuidad 4 que poseen un diámetro que supera el límite permitido, por lo tanto, la indicación es inaceptable.

Y para indicaciones en forma de estrella o cráter que supere los 4 mm será rechazo inmediatamente, por lo tanto, la falla 1 es inaceptable ya que representa una falla que puede comprometer a la integridad estructural del elemento.

#### **4.4.2 Análisis de resultados de ensayos mediante líquidos penetrantes de cordones de soldadura en uniones críticas del chasis.**

Las probetas constituyeron como material de referencia que nos permitirá identificar cada una de las fallas posibles que pueden aparecer al realizar los ensayos, por lo tanto, son material clave para la comparación de irregularidades que se manifiesten en situaciones reales como lo son los cordones de soldadura en los vehículos e identificar de manera más fácil y precisas que tipo de falla corresponde, así como los criterios de aceptación de cada una de las partes soldadas. Así analizando las posibles causas de las fallas y analizaras si son posibles repararlas en el estado en el que se encuentran o toca separar los materiales bases y unirlos de nuevo como dicte la norma para su respectivo funcionamiento.

##### **4.4.2.1 Great Wall Wingle**

#### **Soporte del motor**

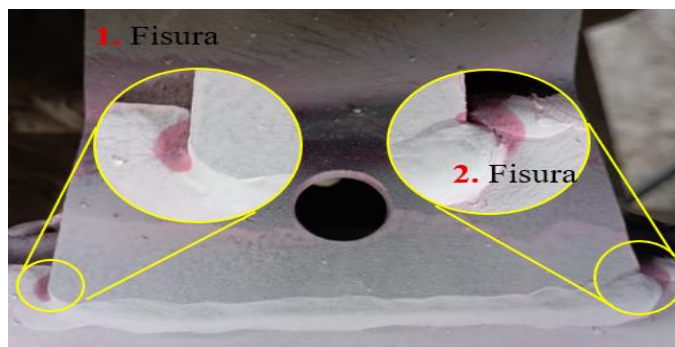
Una vez aplicado la metodología correspondiente a los ensayos no destructivos con líquidos penetrantes en casos reales, permitió obtener evidencias visuales reales de los distintos tipos de irregularidades que pueden aparecer en los cordones de soldadura de los puntos críticos en el chasis de los vehículos.

En la Figura 36 se pueden apreciar el mismo tipo de irregularidad según la normativa AWS D1.3 clasificadas como fisura ya que tiene una forma estrecha y posee una trayectoria definida. La fisura 1 posee una longitud de 12 mm y se ubica en la parte derecha del cordón de soldadura



y la fisura 2 tiene una longitud de 15 mm se encuentra ubicada en la parte izquierda del cordón de soldadura.

*Figura 36. Aparición de discontinuidades en el soporte del motor Great Wall.*



Las posibles causas de la aparición de las fisuras pueden ser:

- Un enfriamiento demasiado rápido.
- Estar sometido a altas tensiones.
- Parámetros de soldaduras incorrectos.
- Contaminación superficial entre otras posibles causas.

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud  $5/32$  pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como las indicaciones 1 y 2 poseen longitudes de 12 mm y 15 mm respectivamente. Por lo tanto, las discontinuidades presentes a lo largo del cordón de soldadura son inaceptables.

Debido a ello, es recomendable remover la pieza por completo y volverla a soldar siguiendo la normativa. Ya que presenta fallas que son graves en los dos lados del cordón de soldadura y pueden comprometer a la integridad estructural del vehículo.

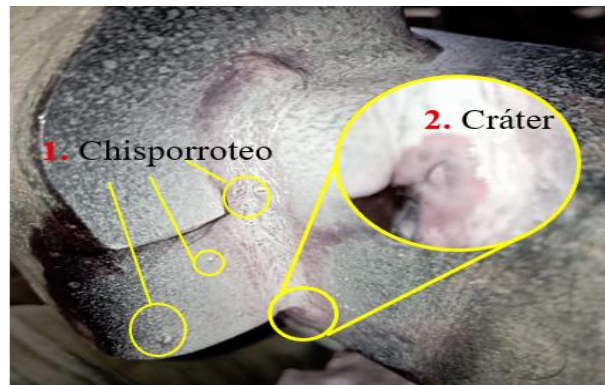
### **Soporte de la suspensión delantera**

En el ensayo realizado en cordón de soldadura de la suspensión delantera se pudieron apreciar distintas irregularidades superficiales como se muestra en la Figura 37. Estas se presentan como:



1. Irregularidad clasificada según la AWS D1.3 como chisporroteo. Ubicado en la superficie del material base con longitudes que no superan los 2 mm de diámetro.
2. Discontinuidad clasificada según la AWS D1.3 como cráter. Ubicado en la parte final del cordón de soldadura. Posee un diámetro de 3 mm.

*Figura 37. Resultados de ensayos en soporte de suspensión delantera Great Wall.*



Las posibles causas de la formación del cráter:

- Finalización brusca del arco.
- Poco material en el cierre del cordón.
- Caída repentina del voltaje.
- Superficie contaminada, entre otras posibles causas.

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones en forma de estrella o cráter que supere los 4 mm será rechazo inmediatamente, por lo tanto, la falla 2 es aceptable ya que no representa una falla que puede comprometer a la integridad estructural del elemento.

Y con respecto a la falla 1 los chisporroteos son aceptable mientras que estos no se causen problemas al momento de las pruebas. Son aceptables.

Por lo tanto, es recomendable que los chisporroteos sean eliminados, así como el cráter sea rellenado con suelda debido a que este aun no posee ramificaciones, antes de que este forme agrietamientos alrededor y así pueda comprometer al cordón de soldadura a una falla crítica.

## Larguero



En el ensayo realizado en cordón de soldadura en el larguero se pudieron apreciar distintas irregularidades superficiales como se muestra en la Figura 38. Estas se presentan como:

1. Irregularidad clasificada según la AWS D1.3 como chisporroteo. Ubicado en la superficie del material base con diámetros de 1,2 mm respectivamente.
2. Discontinuidad clasificada según la AWS D1.3 como falta de fusión. Ubicado en la parte superior del material base y el cordón de soldadura del cordón de soldadura. Posee un diámetro de 38 mm.

**Figura 38.** Análisis de fallas en el larguero Great Wall.



Las posibles causas de la formación de la falta de fusión se deben a varios aspectos los cuales son:

- Un arco de soldadura inestable.
- Falta de limpieza de las bases a unir.
- Ángulo del electrodo y la antorcha incorrectos.
- Variaciones en el voltaje al momento de juntar el material base, entre otras causas.

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud  $5/32$  pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como la indicación 2 posee longitudes de 38 mm representa una irregularidad crítica. Por lo tanto, la discontinuidad presente a lo largo del cordón de soldadura es inaceptable.



Y con respecto a la falla 1 los chisporroteos son aceptable mientras que estos no se causen interferencias al momento de realizar las pruebas. Son aceptables.

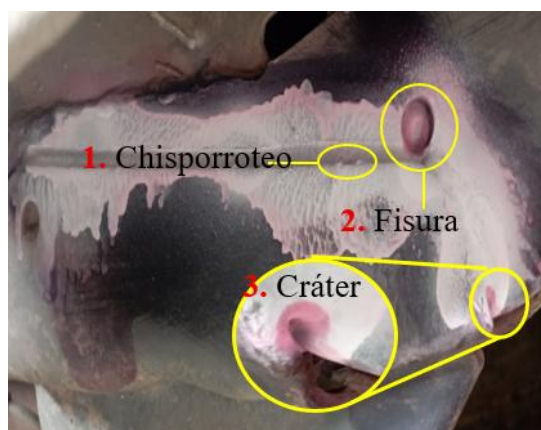
Debido a ello, se recomienda eliminar la zona defectuosa por ejemplo esmerilarla y volverla a soldar siguiendo los parámetros normativos. Ya que presenta fallas que son graves en los dos lados del cordón de soldadura y pueden comprometer a la integridad estructural del vehículo.

### Soporte de la suspensión trasera

En el ensayo realizó en la suspensión trasera del vehículo se pueden observar tres tipos de discontinuidades presentes como se muestra en la Figura 39. Las cuales se enumeran para su análisis respectivo y una mejor comprensión.

1. Discontinuidad clasificada según la normativa AWS D1.3 como chisporroteo, posee un diámetro aproximado de 1.3 mm, se encuentra ubicado en la superficie de las paredes del material base.
2. Irregularidad presentada según la normativa AWS D1.3 como fisura. Se ubica en el cordón de soldadura y agujero original del chasis. Posee un diámetro aproximado de 12 mm.
3. Y finalmente se aprecia otra discontinuidad clasificada según la normativa AWS D1.3 como cráter. Ubicada en la parte final del cordón de soldadura. Posee un diámetro de 4.7 mm.

*Figura 39. Resultados obtenidos en el soporte de la suspensión trasera Great Wall.*



Posibles causas de las fallas más críticas encontradas durante la inspección. Las dos fallas que pueden comprometer a la integridad estructural del vehículo son la fisura y el cráter:



### Fisura

- Un enfriamiento demasiado rápido.
- Estar sometido a altas tensiones.
- Parámetros de soldaduras incorrectos.
- Contaminación superficial entre otras posibles causas.

### Cráter

- Finalización brusca del arco.
- Poco material en el cierre del cordón.
- Caída repentina del voltaje.
- Superficie contaminada, entre otras posibles causas.

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud  $5/32$  pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como la indicación 2 posee longitudes de 12 mm representa una irregularidad crítica. Por lo tanto, la discontinuidad presente a lo largo del cordón de soldadura es inaceptable. Y para indicaciones en forma de estrella o cráter que supere los 4 mm será rechazo inmediatamente, por lo tanto, la falla 3 es inaceptable ya que presenta una longitud de 4.7 mm de diámetro y supera al límite establecido, además de ello la indicación presenta ramificaciones en su interior.

Por lo tanto, se recomienda cortar la parte afectada y volverla a soldar siguiendo los parámetros establecidos en la normativa. Ya que presenta fallas que son graves en los dos lados del cordón de soldadura y pueden comprometer a la integridad estructural del vehículo.

#### **4.4.2.2 Toyota Hilux 4x2 doble cabina**

En las pruebas realizadas en los cordones de unión críticos del vehículo se mostraron diferentes tipos de imperfecciones superficiales.

#### **Soporte del motor.**

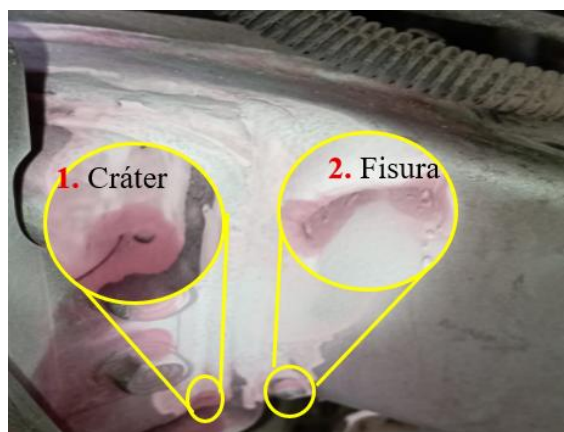
En las pruebas realizadas en el cordón de soldadura se pueden identificar diferentes tipos de defectos como se observa en la Figura 40, los cuales se numerarán para un análisis más detallado.



1. La discontinuidad clasificada según la AWS D1.3 como cráter. Ubicada en la parte inferior del cordón de soldadura. Posee una dimensión de 3.9 mm de diámetro.

2. Otra irregularidad presente se clasifica según la normativa AWS D1.3 como una fisura. Posee una longitud de 7 mm, al igual que la imperfección 1 se ubica en la parte inferior a la derecha de esta.

*Figura 40. Análisis de ensayo en el soporte del motor Toyota Hilux.*



Posibles causas de las fallas más críticas encontradas durante la inspección. Las dos fallas que pueden comprometer a la integridad estructural del vehículo son la fisura y el cráter:

#### Cráter

- Finalización brusca del arco.
- Poco material en el cierre del cordón.
- Caída repentina del voltaje.
- Superficie contaminada, entre otras posibles causas.

#### Fisura

- Un enfriamiento demasiado rápido.
- Estar sometido a altas tensiones.
- Parámetros de soldaduras incorrectos.
- Contaminación superficial entre otras posibles causas.

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud 5/32 pulgadas equivalente a 4 mm se considerara



una indicación relevante. Como la indicación 2 posee longitudes de 7 mm representa una irregularidad relevante. Por lo tanto, la discontinuidad presente a lo largo del cordón de soldadura es inaceptable. Y para indicaciones en forma de estrella o cráter que supere los 4 mm será rechazo inmediatamente, por lo tanto, la falla 1 es inaceptable ya que presenta una longitud de 3.9 mm de diámetro, no supera la longitud determinada, pero se encuentra en la longitud límite.

Por lo tanto, se recomienda en el caso de la fisura, cortar la parte afectada y volverla a soldar siguiendo los parámetros establecidos en la normativa. Y para el cráter se recomienda rellenarlo antes de que este genere ramificaciones en su parte interior. Las dos fallas son graves cordón de soldadura y pueden comprometer a la integridad estructural del vehículo si no se repararan inmediatamente.

### **Soporte de la suspensión delantera.**

En la inspección en el soporte de la suspensión delantera, se analizaron 2 tipos de fallas críticas presentes en el cordón de soldadura como se puede apreciar en la Figura 41.

1. La primera discontinuidad prese se clasifica según la normativa AWS D1.3 como falta de fusión. Posee una longitud de 2.2 mm. Ubicado en la parte superior del cordón de soldadura.
2. Otra irregularidad presente es una fisura. Ubicada en el centro de la unión. Posee una longitud de 5.6 mm.

**Figura 41.** *Discontinuidades en el soporte de suspensión delantera Toyota Hilux.*





Las posibles causas de las irregularidades pueden ser:

Falta de fusión:

- Un arco de soldadura inestable.
- Falta de limpieza de las bases a unir.
- Ángulo del electrodo y la antorcha incorrectos.
- Variaciones en el voltaje al momento de juntar el material base, entre otras causas.

Fisura

- Un enfriamiento demasiado rápido.
- Estar sometido a altas tensiones.
- Parámetros de soldaduras incorrectos.
- Contaminación superficial entre otras posibles causas.

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud  $5/32$  pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como la indicación 1 poseen longitudes de 2.2 mm, lo cual se encuentra dentro del límite establecido. Por ello la indicación es aceptable. Y para la irregularidad 2 cuya longitud es de 5.6 mm, representa una irregularidad relevante. Por lo tanto, la discontinuidad presente a lo largo del cordón de soldadura es inaceptable.

Por lo tanto, se recomienda en los dos casos, cortar la parte afectada y volverla a soldar siguiendo los parámetros establecidos en la normativa. Aunque la falta de fusión se encuentre en el límite permitido, puede que a lo largo del tiempo se expanda y genere una fisura en su parte interior. Las dos fallas son graves cordón de soldadura y pueden comprometer a la integridad estructural del vehículo si no se repararan inmediatamente.

### Larguero

En la prueba realizado en el cordón soldadura del larguero se logró identifica una sola discontinuidad presente, según la normativa AWS se la clasifica como una falta de fusión, se encuentra ubicada en la parte inferior de la unión como se evidencia en la Figura 42. Este posee una longitud aproximada de 4 mm.



*Figura 42. Falla en el larguero Toyota Hilux.*



Las posibles causas de esta irregularidad pueden ser:

- Un arco de soldadura inestable.
- Falta de limpieza de las bases a unir.
- Ángulo del electrodo y la antorcha incorrectos.
- Variaciones en el voltaje al momento de juntar el material base, entre otras causas.

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud 5/32 pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como la indicación posee longitudes de 4 mm no representa una irregularidad crítica hasta el momento. Por lo tanto, la discontinuidad presente a lo largo del cordón de soldadura es aceptable.

Debido a ello, se recomienda eliminar la zona defectuosa por ejemplo esmerilarla y volverla a soldar siguiendo los parámetros normativos. Aunque se encuentra dentro del rango permitido, pero se debe tomar en cuenta que es una falla grave y puede comprometer a la integridad estructural del vehículo.

### **Soporte de la suspensión trasera**

En las pruebas realizadas en el soporte de la suspensión trasera se pudieron identificar dos discontinuidades superficiales presentes a lo largo del cordón de soldadura como se puede observar en la Figura 43.

1. La irregularidad se clasifica según la normativa AWS D1.3 como falta de penetración. Se encuentra ubicada al inicio del cordón de soldadura. Posee una longitud de 18 mm.



**Figura 43.** *Discontinuidad en el soporte de la suspensión trasera Toyota Hilux.*



Posibles causas de las discontinuidades:

Falta de penetración.

- Corriente insuficiente.
- Mala preparación de la junta.
- Avance muy rápido.
- Raíz mal alineada, entre otras causas.

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud 5/32 pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como la indicación posee longitudes de 18 mm representa una irregularidad crítica. Por lo tanto, la discontinuidad presente a lo largo del cordón de soldadura es inaceptable.

Debido a ello, se recomienda eliminar la zona defectuosa por ejemplo esmerilarla y volverla a soldar siguiendo los parámetros normativos. Ya que presenta una irregularidad la cual no se encuentra dentro del rango permitido, se debe tomar en cuenta que es una falla grave la cual puede comprometer a la integridad estructural del vehículo.

#### **4.4.2.3 Nissan Frontier**

En la inspección realizadas a los diferentes cordones de soldadura del vehículo se logró apreciar la aparición de diferentes indicaciones en las distintas partes del chasis.

### **Soporte del motor**



En el cordón de soldadura del soporte del motor se puede verificar la presencia de una irregularidad como se muestra en la Figura 44. Según la normativa AWS D1.3 la irregularidad se la clasifica como falta de penetración debido a que se logra ver claramente la soldadura no unió la raíz dejando así un agujero profundo. Se ubica en la parte inferior del cordón de soldadura y posee una longitud de 3,2 mm.

**Figura 44.** Falla presente en el soporte del motor Nissan Frontier.



Las posibles causas la cuales podrían ocasionar la irregularidad son:

- Corriente insuficiente.
- Mala preparación de la junta.
- Avance muy rápido.
- Raíz mal alineada o muy cerrada.

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud 5/32 pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como la indicación posee una longitud de 3.2 mm lo cual se encuentra dentro del rango aceptado. Por lo tanto, la discontinuidad presente a lo largo del cordón de soldadura es aceptable.

Debido a ello se recomienda la reparación de la irregularidad mediante la aplicación del material de relleno, además se debe tomar en cuenta tener una buena limpieza. Así evitando que la indicación se expanda y cree una falla grave para la integridad estructural del vehículo.

### **Soporte de la suspensión delantera**



En las pruebas realizadas en la unión se evidencio una discontinuidad en el cordón de soldadura como se aprecia en la Figura 45. Según la normativa AWS D1.3 la irregularidad se la clasifica como falta de penetración debido a que se logra ver claramente la soldadura no unió la raíz dejando así un agujero profundo. Se ubica en la parte inferior del cordón de soldadura y posee una longitud de 2.7 mm.

**Figura 45.** *Discontinuidad en el soporte de la suspensión delantera Nissan Frontier.*



Las posibles causas la cuales podrían ocasionar la irregularidad son:

- Corriente insuficiente.
- Mala preparación de la junta.
- Avance muy rápido.
- Raíz mal alineada.

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud  $5/32$  pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como la indicación posee una longitud de 2.7 mm lo cual se encuentra dentro del rango aceptado. Por lo tanto, la discontinuidad presente a lo largo del cordón de soldadura es aceptable.

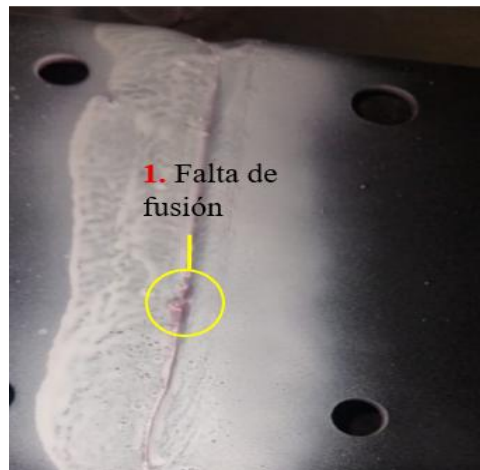
Debido a ello se recomienda la reparación de la irregularidad mediante la aplicación del material de relleno, además se debe tomar en cuenta tener una buena limpieza. Así evitando que la indicación se expanda y cree una falla grave para la integridad estructural del vehículo.

## Larguero



En el ensayo realizado con tintas penetrantes en el larguero se pueden ver la presencia de una discontinuidad superficial en la unión del larguero como se muestra en la Figura 46. Irregularidad clasificada según la normativa AWS D1.3 como falta de fusión, su ubica en el centro del cordón de soldadura. Posee una longitud aproximada de 12 mm.

*Figura 46. Resultados del ensayo en el larguero Nissan Frontier.*



Las posibles causas de esta irregularidad pueden ser:

- Un arco de soldadura inestable.
- Falta de limpieza de las bases a unir.
- Ángulo del electrodo y la antorcha incorrectos.
- Variaciones en el voltaje al momento de juntar el material base, entre otras causas.

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud 5/32 pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como la indicación posee una longitud de 12 mm representa una irregularidad crítica. Por lo tanto, la discontinuidad presente a lo largo del cordón de soldadura es inaceptable.

Debido a ello, se recomienda eliminar todo el condón de soldadura y volverla a soldar siguiendo los parámetros normativos. Ya que no se encuentra dentro del rango permitido, se debe tomar en cuenta que es una falla grave que pueden comprometer a la integridad estructural del vehículo.

## Suspensión trasera



En la suspensión trasera se mostraron fallas superficiales a lo largo del cordón de soldadura como se muestra en la Figura 47. Debido a ello se enumeraron para tener un mejor análisis de cada una.

1. Irregularidad clasificada según la normativa AWS D1.3 como falta de penetración, ubicada al inicio del condón de soldadura. Posee una longitud de 5.3 mm.
2. Otra de las discontinuidades presentes según la normativa AWS D1.3 como falta de fusión. Se ubica en los bordes de la separación del condón de soldadura. Poseen longitudes de 2.1 mm y 3.5 mm aproximadamente.

**Figura 47.** *Discontinuidad en el soporte de la suspensión trasera Nissan Frontier.*



Las posibles causas la cuales podrían ocasionar las irregularidades son:

Falta de penetración.

- Corriente insuficiente.
- Mala preparación de la junta.
- Avance muy rápido.
- Raíz mal alineada entre otras causas.

Falta de fusión.

- Un arco de soldadura inestable.
- Falta de limpieza de las bases a unir.
- Ángulo del electrodo y la antorcha incorrectos.
- Variaciones en el voltaje al momento de juntar el material base, entre otras causas.



De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud  $5/32$  pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como la indicación 1 posee una longitud de 5.3 mm representa una irregularidad crítica, es una indicación inaceptable, en cuanto a las indicaciones 2 que poseen longitudes de 2.1 mm y 3.6 mm se encuentran dentro del límite. Por lo tanto, la discontinuidad presente a en los bordes de la separación son aceptables.

Debido a ello, se recomienda eliminar todo el condón de soldadura y volverla a soldar siguiendo los parámetros normativos. Ya que no se encuentra dentro del rango permitido, se debe tomar en cuenta que es una falla grave que pueden comprometer a la integridad estructural del vehículo.

#### **4.4.2.4 Chevrolet Grand Vitara**

En las pruebas realizadas en los cordones de soldadura en los puntos críticos en el chasis del vehículo, se pudieron observar la presencia de distintos tipos de irregularidades superficiales.

#### **Soporte del motor**

En la unión de soldadura se muestra diferentes tipos de discontinuidades presentes a lo largo del cordón como se observa en la Figura 48. Debido a ello se enumeraron cada una de las discontinuidades para tener un análisis más detallado de cada una de ellas.

Las irregularidades 1 y 2, presentes se las clasifica según la normativa AWS D1.3 como socavados. La discontinuidad 1 se ubica en la parte superior del cordón de soldadura y la irregularidad 2 se ubica en la parte inferior de la unión. La imperfección 1 posee una longitud de 31 mm y la discontinuidad 2 una longitud de 29 mm.

3. La anomalía estructural que se muestra se clasifica según la normativa AWS D1.3 como falta de penetración. Se ubica en el borde inicial del cordón de soldadura. Posee una longitud aproximada de 5.2 mm.

4. Irregularidad clasifica según la normativa AWS D1.3 como mordedura. Posee una longitud de 4.8 mm. Se ubica a la izquierda de la unión al inicio del cordón de soldadura.



**Figura 48.** Fallas presentes en el soporte del motor Chevrolet Grand Vitara.



Las posibles causas de las irregularidades presentes en la unión pueden ser:

Socavado o mordedura

- Corriente demasiado alta
- Velocidad de avance rápida
- Ángulo incorrecto del electrodo o antorcha
- Exceso de calor en la zona
- Aporte insuficiente de material entre otras causas.

Falta de penetración

- Corriente insuficiente.
- Mala preparación de la junta.
- Avance muy rápido.
- Raíz mal alineada entre otras causas.

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud 5/32 pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como las indicaciones 1, 2, 3 y 4 poseen longitudes correspondientes de 31 mm, 29 mm, 5.2 y 4.8 mm representan irregularidades críticas. Por lo tanto, las discontinuidades presentes son inaceptables, debido a que sobrepasan por mucho la longitud moderada que aplica la normativa.

Debido a ello, es recomendable eliminar todo el condón de soldadura y volverla a soldar siguiendo los parámetros normativos. Ya que no se encuentra dentro del rango permitido, y se



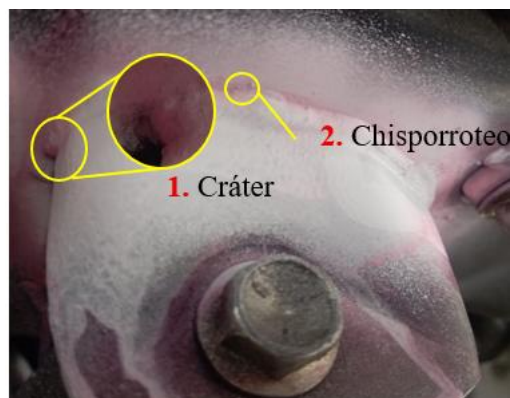
deben tomar en cuenta que son fallas graves que pueden comprometer a la integridad estructural del vehículo.

### SopORTE de la suspensión delantera

En la unión del soporte de la suspensión delantera se evidencio la presencia de dos irregularidades que se encontraron a lo largo del cordón de soldadura como se aprecia en la Figura 49.

1. Discontinuidad clasificada según la normativa AWS D1.3 como cráter. Se ubica al final del cordón de soldadura. Posee una longitud aproximada de 4.5 mm.
2. Otra de la irregularidad que se muestran se la clasifica según la normativa AWS D1.3 como chisporroteo. Se ubica a lo largo del cordón de soldadura. Tiene un diámetro de 1.2 mm aproximadamente.

**Figura 49.** Discontinuidades en el soporte de la suspensión delantera Chevrolet Grand Vitara.



Las posibles causas de las irregularidades presentes en la unión pueden ser:

#### Cráter.

- Finalización brusca del arco.
- Poco material en el cierre del cordón.
- Caída repentina del voltaje.
- Superficie contaminada, entre otras posibles causas.

#### Chisporroteo.



- Corriente demasiado alta
- Voltaje muy bajo
- Gas de protección mal regulado
- Contaminación en la superficie
- Velocidad de alambre muy alta
- Electrodo húmedos
- Mezcla de gas inadecuada

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, para indicaciones en forma de estrella o cráter que supere los 4 mm será rechazo inmediatamente, por lo tanto, la falla 1 es inaceptable ya que presenta una longitud de 4.5 mm de diámetro, y supera la longitud establecida. Y para la indicación 2 la cual es aceptable ya que no representa un obstáculo al momento de realizar el ensayo.

Por lo tanto, es recomendable pulir la zona afectada y volverla a soldar siguiendo los parámetros establecidos. Debido a que es una falla crítica y puede generar microfisuras a lo largo del cordón de soldadura lo cual puede comprometer a la integridad estructural del vehículo.

### **Larguero**

En el larguero del vehículo se pudo evidenciar la presencia de una discontinuidad como se observa en la Figura 50. Esta irregularidad se clasifica según la normativa AWS D1.3 como mordedura. Posee una longitud aproximada de 3.7 mm. Se ubica en la parte inicial del cordón de soldadura.



*Figura 50. Discontinuidad presente en el larguero Chevrolet Grand Vitara.*



Las posibles causas para la formación de la irregularidad pueden ser:

- Corriente demasiado alta
- Velocidad de avance rápida
- Ángulo incorrecto del electrodo o antorcha
- Exceso de calor en la zona
- Aporte insuficiente de material entre otras causas.

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud  $5/32$  pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como la indicación 1 posee una longitud correspondiente de 3.7 mm, lo cual no representa irregularidades críticas. Por lo tanto, la discontinuidad presente es aceptable debido a que se encuentra en el límite que aplica la normativa.

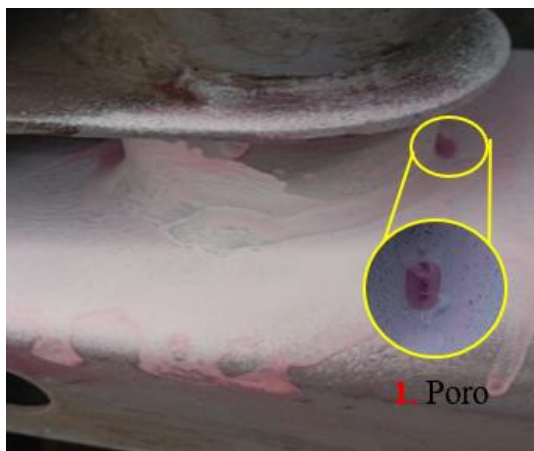
Por lo tanto, es recomendable limpiar la zona y soldar solo el área dañada. Aunque su longitud se encuentre dentro del límite, es una discontinuidad que puede generar una fisura lo cual puede comprometer a la integridad estructural del vehículo.

### **Soporte de suspensión trasera**

Durante la inspección mediante los ensayos no destructivos, se pudieron evidenciar, un solo tipo de discontinuidad que se encontró a lo largo del cordón de soldadura como se muestra en la Figura 51. La irregularidad presente se clasifica según la normativa AWS D1.3 como poro. Su diámetro es de 6.2 mm. Se ubica en la parte trasera del cordón de soldadura.



*Figura 51. Falla en el soporte de la suspensión trasera Chevrolet Grant Vitara.*



Las posibles causas que pudieron causar la irregularidad son:

- Material base húmedo.
- Materiales consumibles húmedos.
- Exposición a corrientes de aire.
- Contaminación en el material base.
- Amperaje insuficiente entre otras posibles causas.

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones redondeadas que posean un diámetro mayor a 1/8 de pulgada 3 mm se considerara una indicación relevante. La indicación posee un diámetro aproximado de 6.2 mm. Por lo tanto, la indicación es inaceptables según lo establecido en la normativa.

Por lo tanto, es recomendable reparar la pieza, mediante la eliminación del área afectada, hasta que este expuesto el material libre de contaminantes, para luego rellenarlo con soldadura siguiendo lo establecido por la normativa. La irregularidad debe repararse debido a que con el tiempo esta pueda dar indicios de fisuras por fatiga, lo que puede afectar a la integridad estructural del vehículo.

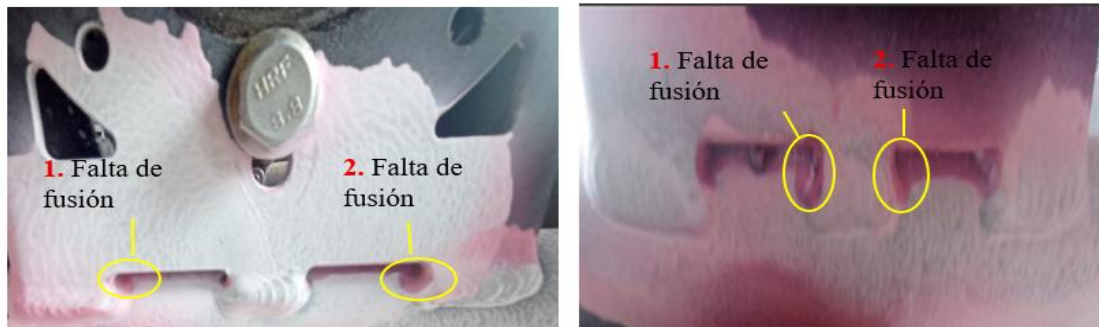
#### **4.4.3 Análisis de resultados de ensayos mediante líquidos penetrantes en cordones de soldadura en Go-kart**

En los ensayos realizados mediante líquidos penetrantes en los cordones de soldadura del chasis del vehículo Go kart, en la mayoría de ellos no se evidenciaron indicios de imperfecciones



presentes durante el proceso. Pero existió la presencia de discontinuidades en los dos soportes del eje trasero del vehículo como se muestra en la Figura 52.

*Figura 52. Discontinuidades en el eje trasero del Go Kart*



#### **4.4.3.1 Soporte del eje trasero derecho.**

1. Se evidencia la presencia de dos discontinuidades del mismo tipo, se la clasifica como una falta de fusión la cual forma una indicación lineal, la discontinuidad posee una longitud de 3.3 mm de diámetro y se localiza en la parte derecha del cordón de soldadura.

2. Además de ello se pudo observar otra indicación del mismo tipo. Posee una longitud de 3.9 mm de diámetro y forma una indicación lineal. La discontinuidad se ubica en la parte izquierda del cordón de soldadura.

#### **4.4.3.2 Soporte del eje trasero izquierdo**

1. Se logra evidenciar una indicación lineal, formada por una falta de fusión. Posee una longitud de 2.8 mm . La imperfección superficial se ubica en la parte derecha del cordón de soldadura.

2. Otra imperfección presente en el mismo cordón de soldadura es una indicación lineal, formado por una falta de fusión. Posee una longitud de 3.4 mm. Se ubica en la parte izquierda del cordón de soldadura.

Posibles causas de las discontinuidades:

Falta de fusión.

- Un arco de soldadura inestable.
- Falta de limpieza de las bases a unir.



- Ángulo del electrodo y la antorcha incorrectos.
- Variaciones en el voltaje al momento de juntar el material base, entre otras causas.

De acuerdo con los criterios de aceptación de la normativa ASME sección VIII párrafo 1, indicaciones lineales que posean una longitud 5/32 pulgadas equivalente a 4 mm se considerara una indicación relevante. Como las indicaciones poseen longitudes que no representan irregularidades críticas. Por lo tanto, las discontinuidades presentes a lo largo de los cordones de soldadura son aceptables.

Se recomienda rellenar las imperfecciones que se presentan, así evitando que estas al estar sometidas a tensiones generen una fisura a lo largo del cordón de soldadura.

#### **4.4.4 Comparaciones de chasis de un vehículo sin accidentes y uno con accidentes.**

Otro de los análisis realizados en el estudio es la comparación de dos vehículos de la misma marca y modelo, teniendo como objetivo determinar el origen de las fallas encontradas durante el proceso de inspección con líquidos penetrantes en las uniones críticas del chasis. La comparación permite analizar si las discontinuidades observadas surgieron por imprevistos en los que estuvieron implicados los vehículos durante la operación o por el contrario las fallas corresponden a los defectos que se originaron en el proceso de fabricación presentaron al momento de unir los componentes.

Por ello, para garantizar un análisis técnico se planteó la comparación de los mismos puntos de soldadura de ambos vehículos escogidos, asegurándonos que las partes analizadas sean iguales. Para el estudio se realizó con la camioneta Toyota Hilux Doble cabina, analizando si los casos encontrados son aislados o repetitivos en los ambos vehículos.

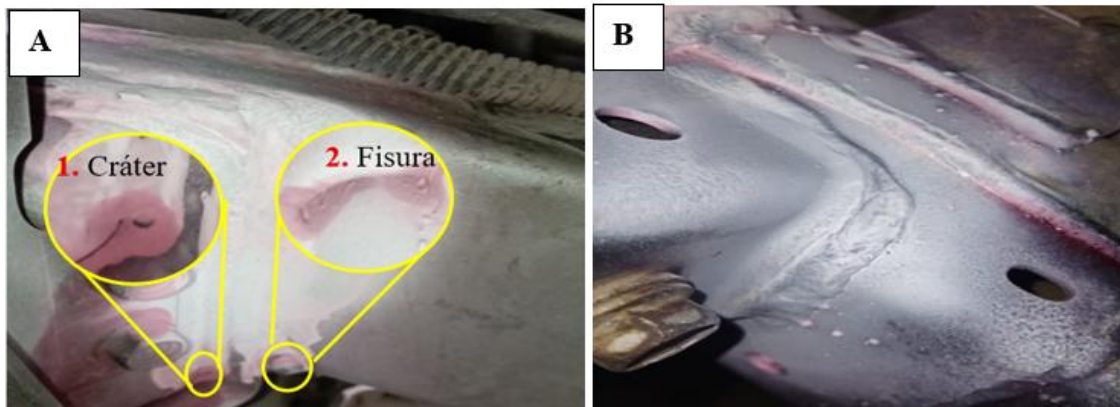
El análisis permite diferenciar de manera más precisa entre las fallas de fabricación y fallas generadas durante el servicio, debido a que existe una gran diferencia entre una discontinuidad de soldadura como falta de fusión, porosidad entre otras, que una falla ocasionada por el exceso de esfuerzo en la operación como lo es una fisura, grieta etc.

**A.** Vehículo con intervenciones por imprevistos.

**B.** Vehículo sin intervenciones por imprevistos.

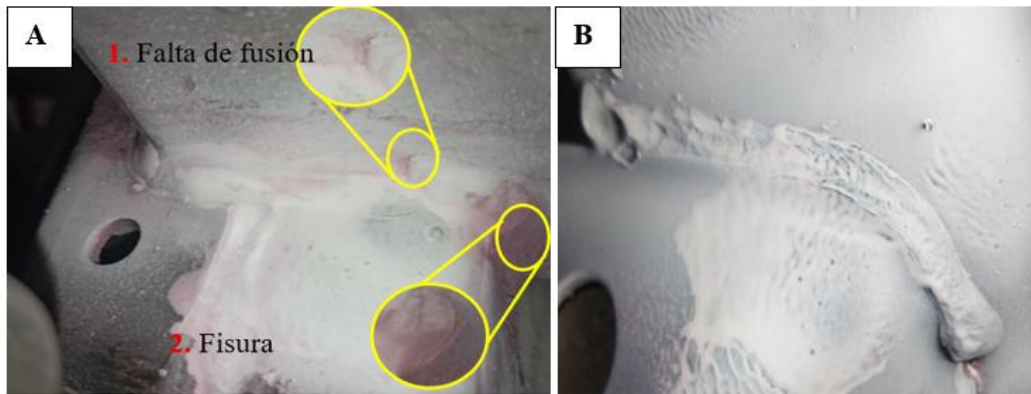


*Figura 53. Comparación del soporte del motor entre los dos vehículos.*



En la Figura 53 se puede apreciar parte A, se evidencia la presencia de dos irregularidades (cráter y fisura) en el cordón de soldadura a comparación de la parte B, la cual muestra solo discontinuidades no tan graves como lo son los chisporroteos.

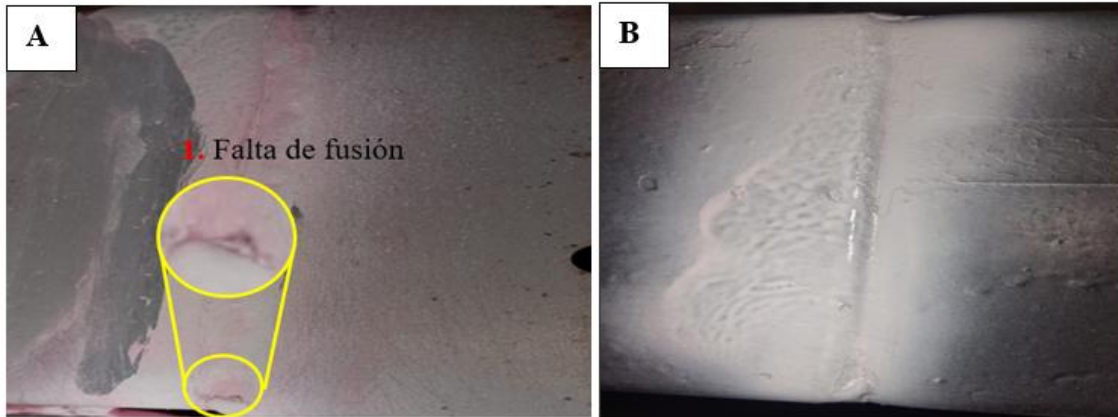
*Figura 54. Comparación del soporte de la suspensión delantera entre los dos vehículos.*



En la Figura 54 se muestra en la sección A la aparición de dos discontinuidades que son críticas las cuales son falta de fusión y fisura, a diferencia de la sección B en la cual se muestra solo discontinuidades que son leves como el chisporroteo.

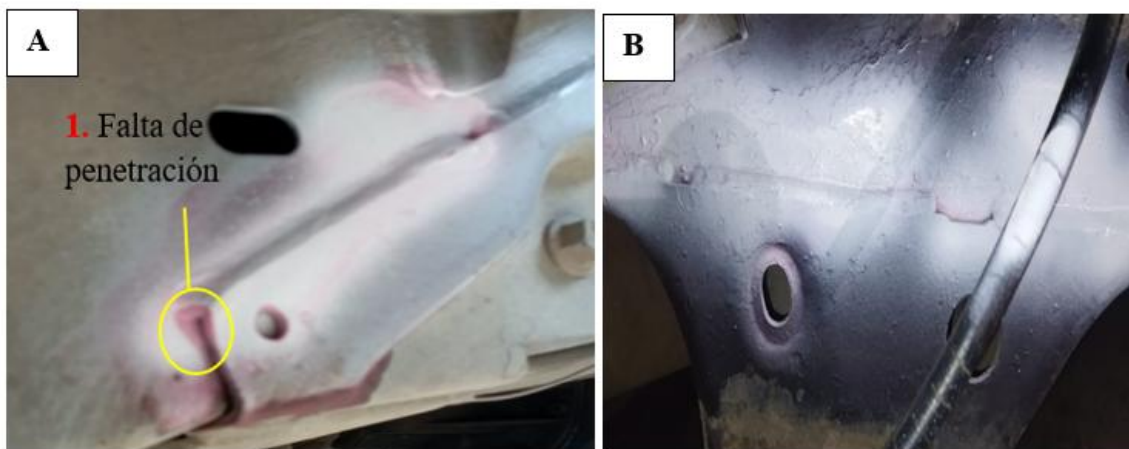


*Figura 55. Comparación del larguero entre los dos vehículos.*



En la Figura 55, se evidencia en la parte A la aparición de una discontinuidad a final del cordón de soldadura el cual es una falta de fusión, a diferencia de la sección B que no se aprecia ninguna irregularidad.

*Figura 56. Comparación del soporte de la suspensión trasera entre los dos vehículos.*



En la Figura 56 sección A se logra observar la presencia de un solo tipo de irregularidad clasificada como falta de penetración, a comparación de la sección B la cual no muestra irregularidades en el cordón de soldadura.

Como se pudieron evidenciar, el vehículo sin intervenciones por imprevistos no presenta fallas que son críticas en ninguna de las soldaduras a comparación del otro vehículo según la normativa. Por ello se descarta la posibilidad de que las discontinuidades que se mostraron en durante las pruebas con los líquidos hayan provenido con fallas de fábrica.



## 5. Conclusiones

- Se comprobó que el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes tipo II, es efectivo para la detección de fisuras y discontinuidades superficiales en cordones de soldadura del chasis. El método permitió identificar indicaciones lineales y redondeadas que no eran perceptibles a simple vista durante la inspección visual inicial. La aplicación del procedimiento conforme a la norma ASTM E1417 garantizó repetibilidad y confiabilidad en los resultados, confirmando el ensayo no destructivo es adecuado para inspecciones preventivas en estructuras.
- El análisis estructural evidenció que los puntos de unión críticos corresponden principalmente a zonas de concentración de esfuerzos, tales como uniones de largueros con travesaños, soportes de suspensión y refuerzos estructurales. En estas áreas poseen una mayor frecuencia de indicaciones relevantes, asociadas a vibraciones, fatiga mecánica y esfuerzos cíclicos. Confirmando así que la ubicación geométrica y la función estructural del punto de soldadura influyen directamente en la aparición de discontinuidades superficiales.
- En las probetas realizadas siguiendo la normativa, se puede que verificar que las discontinuidades presentes no son graves, debido a que poseen diámetros de 1 mm a 2 mm en su mayoría eran poros aislados es decir que el 100 % de las irregularidades se encuentran dentro del límite establecido.
- Las probetas unidas mediante variaciones de amperaje, se evidencia la aparición de las discontinuidades son graves debido a que se detectaron indicaciones lineales y redondeadas relevantes. Se observaron porosidades con diámetros entre 1,0 y 2,5 mm, así como indicaciones lineales asociadas a falta de fusión con longitudes de 6 a 14 mm, por lo tanto, el 90 % de las irregularidades registradas no se encuentran dentro del límite establecido. Estos resultados



indican que el exceso de calor y la contaminación superficial favorecen la aparición de defectos críticos.

- En el chasis del vehículo Great Wall se pudo identificar la aparición de discontinuidades que son relevantes por la clasificación y por sus dimensiones, sobresaliendo fisuras de 12 mm y 15 mm de longitud, así como una falta de fusión en el larguero de 38 mm. Además de ello un cráter de 4,7 mm. Los cuales pueden actuar como concentradores de esfuerzos y pueden generar discontinuidades graves como lo son las grietas.

- Se concluye en el ensayo realizado al chasis de la camioneta Toyota Hilux, se pudo evidenciar que el 67% de las indicaciones superficiales presentan longitudes que superan el límite establecido por la normativa ASME, además de ello las discontinuidades que mayormente se repiten se las clasifican como falta de penetración y fisuras.

- En las uniones del vehículo Nissan Frontier, poseen la menor cantidad de discontinuidades encontradas durante el ensayo, en total se encontraron 5 de las cuales el 40% supera el límite establecido y el 60 % están dentro del rango que establece la normativa.

- En el cordón de soldadura del soporte del motor del vehículo Chevrolet Grand Vitara se encuentra la mayor cantidad de discontinuidades presentes a lo largo del cordón de soldadura las cuales se clasifican como graves como lo son la mordedura, socavados, además de ello se evidencio que el 87 % de las discontinuidades se encuentran fuera del límite establecido.

- Se concluye que en el chasis del Go - kart se evidencio la presencia de discontinuidades graves de 2.8 a 3.9 mm que se encuentran cerca del límite establecido por la normativa, por lo que necesaria una reparación preventiva para garantizar la integridad estructural del vehículo.



## 6. Recomendaciones

- Se recomienda seguir rigurosamente los pasos dictados por la normativa ASME E1417 durante la inspección con líquidos, controlando los tiempos y temperaturas. Logrando obtener resultados que se puedan repetir y que sean confiables.
- Se recomienda realizar inspecciones periódicas a los puntos críticos de los chasis, para así realizar su respectivo mantenimiento preventivo debido a su alta concentración de esfuerzos a los que están sometidos, evitando que estas fallas conlleven a la fatiga mecánica de esa parte del vehículo.
- En el caso de las probetas, se recomienda que la fabricación se la realice siguiendo rigurosamente los parámetros establecidos por la normativa, además de ello es indispensable realizarlas en un entorno controlado, con el fin de garantizar la repetibilidad del procedimiento y obtener resultados confiables.
- Se recomienda realizar reparación inmediata mediante eliminación de material defectuoso y resoldado controlado en las zonas donde se detectaron fisuras y falta de fusión en el vehículo Great Wall, una vez realizado esto proceder con la inspección posterior para verificar la integridad estructural.
- Se recomienda intervenir las uniones soldadas que superan los límites establecidos por la normativa ASME Section V en la Toyota Hilux, corrigiendo principalmente las zonas con falta de penetración y fisuras, y realizar una inspección obligatoria posterior a la reparación.
- Se recomienda corregir únicamente las discontinuidades que superan el límite normativo en la Nissan Frontier y mantener monitoreo periódico en las demás uniones, considerando que el porcentaje fuera de norma es moderado.
- Se recomienda la reparación inmediata del cordón de soldadura del soporte de motor en la Chevrolet Grand Vitara, eliminando mordeduras y socavados mediante esmerilado controlado y resoldado, seguido de inspección para validar la conformidad.
- Se recomienda una reparación preventiva inmediata en el chasis del Go-Kart, eliminando las discontinuidades cercanas al límite normativo y aplicando un control dimensional posterior, con el fin de evitar propagación de grietas por fatiga y garantizar la seguridad estructural.



## 7. Bibliografía

- [1] Arcos. G, “ENSAYO DE TINTAS PENETRANTES FLUORESCENTES Y SU INCIDENCIA EN EL CONTROL DE CALIDAD DE LAS JUNTAS SOLDADAS EN ACEROS AL CARBONO,” 2011.
- [2] H. K. D. H. Bhadeshia, “Problems in the welding of automotive alloys,” Jul. 23, 2015, *Maney Publishing*. doi: 10.1179/15Z.000000000379.
- [3] P. Almaguer and R. Estrada, “Experimental and numerical evaluation of the fatigue behaviour in a welded joint,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, 2014. doi: 10.1088/1757-899X/65/1/012013.
- [4] C. Almaguer-Zaldivar and P. Michel, “Ciencias Holguín”, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181538815005>
- [5] Sabeenabevy Pariyasany, “Liquid penetrant Testing,” linkedin.
- [6] W. Cunalata, J. Terán, E. Santillán, and W. Bonilla, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR Y CARROCERÍA, DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO BIPLAZA PLEGABLE, USANDO SOFTWARE CAD-CAE Y MANUFACTURA ECUATORIANA.”
- [7] Orellana Pablo, “tintas\_penetrantes,” no. Trabajo de investigación, Nov. 2009.
- [8] I. W. Contreras, “DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL CHASIS PARA UN KART KF4 SEGÚN LA NORMATIVA CIK/FIA.”
- [9] S. Cuenca, M. Automotriz, and A. María Campoverde Maldonado Santiago Paúl Galarza Serrano, “Propuesta del proceso de soldadura para el chasis del Vehículo Monoplaza tipo Fórmula SAE.”
- [10] Espín Percybal, “ESTUDIO COMPARATIVO DE PROCESOS DE SOLDADURA APLICADO AL CAMPO AUTOMOTRIZ,” 2023.
- [11] Montesdeoca Roni and Zeas Pedro, “UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ Análisis de las prestaciones estructurales de un chasis vehicular tubular de un vehículo eléctrico bi-plaza,” Azuay, 2022.
- [12] Arhumah Zeli, “Microstructure and Thermal Mechanical Behavior of Arc-Welded Aluminum Alloy 6061-T6,” *Manufacturing and Materials Processing*, vol. 8, no. 2024, pp. 1–5, May 2024.
- [13] Olmos José, “CARACTERIZACIÓN DE UNIONES SOLDADAS DE METALES DISÍMILES DE USO EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ ,” MAESTRO EN



CIENCIAS DE LA INGENIERIA CON ORIENTACIÓN EN MATERIALES ,  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN , Monterrey, 2021.

- [14] Intriago Zambrano Marvin Raúl and Real Pérez Grether Lucía, “Confiabilidad operacional en el proceso de soldadura de mantenimiento ,” *Dominio de las ciencias*, vol. 7, no. 2024, pp. 1396–1492, Aug. 2021.
- [15] Domínguez Molina Luis Alonso, Rivas Araiza Edgar Alejandro, Jáuregui Correa Juan Carlos, González Córdoba José Luis, Pedraza Ortega Jesús Carlos, and Takacs Andras, “Instrumentación de Equipo de Soldadura por Resistencia,” *Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C*, vol. 12, no. 2023, pp. 41–55, Sep. 2023.
- [16] Gaspar Álvarez Pedro Menor, “COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNIONES ATORNILLADAS DE ACERO EN FUNCIÓN DEL MÉTODO DE MECANIZADO DE LOS AGUJEROS,” MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERIA INDUSTRIAL, UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, Santander, 2020.
- [17] Fontecha Figueroa Andrés Felipe and Sánchez Moreno Ángel, “Diseño y simulación CFD de un reactor de capacidad de 50L con agitación intercambiable para la empresa Inmecolsa S.A.,” TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, Bogotá, 2023.
- [18] Leng Riquelme Joaquín Ignacio, “Simulación mediante FEA de daños y soluciones en el transporte de concentrado de hierro en cañerías de acero como pipelines,” A OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO, UNIVERSIDAD DE CHILE FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA, Santiago de Chile , 2021.
- [19] D. A. Armas Real, “Análisis de los procesos de soldadura SMAW, GMAW Y FCAW en varillas de acero estructural corrugado ASTM A706, mediante juntas a tope con bisel en V simple y doble, y su incidencia en las propiedades mecánicas de la junta soldada,” MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato, 2022.
- [20] J. C. Canaza Aranibar, “Efectos del uso de electrodos perforados, sobre la deposición electroforética de nanotubos de carbono sobre fibras,” Canaza Aranibar, Juan Carlos, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 2019.
- [21] B. F. Cabrera Sarmiento and M. J. Martinez Avilés, “Diseño de una herramienta de acople para el proceso de soldadura MIG aplicada al robot KUKA KR5,” Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico , Universidad Politécnica Salesiana , Cuenca , 2022.
- [22] J. M. Solís Santamaria, Y. M. Semblantes Claudio, J. A. Villascís López, and D. P. Herrera Santamaria, “Factibilidad de la soldadura TIG en ensamblado de aluminio 6063



- extruido para fabricación de automóviles,” *Conciencia Digital*, vol. 6, no. 13, pp. 6–19, Feb. 2023.
- [23] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, “NORMA DE NORMAS. PRINCIPIOS DE NORMALIZACIÓN,” normalización.
- [24] Gservi, “¿Qué son los ensayos destructivos?,” Hergoconsultores.
- [25] R. López, C. Trujillo, and H. Parra, “APLICACIÓN Y SELECCIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA LA EVALUACION DE UNIONES SOLDADAS,” *SCIENTIA ET TECHNICA* , vol. 2, no. 48, pp. 196–202, 2011.
- [26] J. Pérez and J. Quishpe, “DEONTOLOGÍA APLICADA AL CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURA MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS,” *ECO sistema*, vol. 3, no. 3, pp. 3–13, Jun. 22AD.
- [27] F. Barrios, A. Cárdenas, J. Navarro, K. Velázquez, J. Gutiérrez, and R. Díaz, “Análisis comparativo de juntas soldadas mediante el proceso GMAW con técnicas de inspección visual e inspección visual mediante visión artificial,” *Sextante*, pp. 19–28, Sep. 2021.
- [28] G. Cueva, “ANALISIS DE TIPOS DE SOLDADURA MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS ANALYSIS OF WELDING TYPES THROUGH NON-DESTRUCTIVE,” *Aula virtual* , vol. 5, no. 12, pp. 446–465, Jun. 2024.
- [29] M. Acuña, “EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA AL CORTE EN JUNTAS TIPO T EN ACERO ASTM A36, CON SOLDADURA DE FILETE BAJO PROCESO SMAW,” Proyecto Técnico, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba, 2022.
- [30] D. Borja, “Determinación del Factor de Corrección por el Criterio de Penumbra Geométrica para el Cálculo de Tiempos de Exposición en Soldaduras,” Plan de Trabajo de Integración Curricular, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, Quito, 2023.
- [31] F. J. Yunga Guamán and A. L. Zumba Cabrera, “Análisis de propiedades del hormigón a través del ensayo no destructivo de ultrasonido,” Trabajo de titulación, UCUENCA, Cuenca , 2022.
- [32] C. Morales, “PROPUESTA PARA LA INSPECCIÓN Y DETECCIÓN DE DEFECTOS DEL PROCESO DE SOLDADURA DE ARCO ELÉCTRICO PARA LA FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS,” TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, 2021.
- [33] L. A. MADARIAGA GUERRERO, “REVISIÓN, ACTUALIZACIÓN Y ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LA EMPRESA C.I METAL MARINE INSPECCIÓN C.I.M.I PARA ESTAR ACORDE CON LOS AVANCES TECNOLÓGICOS Y CAMBIOS A LAS NORMAS



INTERNACIONALES,” Trabajo de grado , UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA, Monteiro, 2020.

- [34] P. A. Carlos Cajia, “DETERMINACION DE LOS PARÁMETROS DE SOLDADURA Y SU EFECTO EN LA MICROESTRUCTURA Y LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN ACEROS ANTIDEGASTE T-500 SOLDADOS MEDIANTE PROCESO SMAW,” Ingeniero Metalurgista, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, 2024.
- [35] N. Quispe and M. Sullca, “EVALUACION DE DISCONTINUIDADES EN UNIONES SOLDADAS DE TANQUES CISTERNAS MEDIANTE LA APLICACION DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LA EMPRESA INDUSTRIA METAL PEÑA E.I.R.L.-CUSCO,” Tesis, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO, Cusco, 2024.
- [36] J. A. Arriola Pineda, “Propuesta de ensayo de partículas magnéticas en inducción continua con yugo magnético en laboratorio de metalografía,” TRABAJO DE GRADUACIÓN, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2023.
- [37] O. U. Contreras Hernández, “Evaluación De Soldaduras De Filete Con Penetración Completa Por Proceso FCAW Autoprotegido Mediante Líquidos Penetrantes,” TESIS PARA OBTENCION DE GRADO , Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, 2022.
- [38] E. Castillo, “Propagación de fisuras asistidas por fatiga en acero estructural ASTM A36,” *CIENCIA Y TECNOLOGIA* , vol. 4, no. 19, pp. 12–24, Dec. 2023.
- [39] L. Basset, “Patología de las estructuras metálicas: lesiones,” Valencia, Jun. 2021.
- [40] J. Sanz Moro, “Control de calidad de soldaduras en Estructuras Metálicas,” Grado en Ingeniería Mecánica, UNIVERSIDAD DE VALLADOLID, Valiadolid, 2021.
- [41] VOLKSWAGEN, “¿Qué es el chasis de un auto?,” Experiencia Volkswagen.
- [42] P. Garcia, “Guía básica para conocer los principales tipos de chasis de vehículos,” SOYMOTOR.
- [43] C. Mariscal, “Construcción de una estructura tipo chasis que sirva de soporte para los sistemas de dirección, suspensión y frenos para la estructura didáctica de entrenamiento de mecánica de patio en la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L,” Monografía, previa a la obtención del título de Tecnólogo Superior en Mecánica Automotriz, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, Latacunga, 2022.
- [44] G. Guevara, “DISEÑO DE CHASIS PARA VEHÍCULO SUPERMILEAGE PARA LA COMPETENCIA SHELL ECO-MARATHON AMÉRICAS,” Trabajo de investigación., UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, Pereira , 2020.



- [45] MISUTBISHI MOTORS, “Conoce los materiales más usados en el chasis y cuerpo de una camioneta,” mitsubishi-motors.
- [46] R. Estrada, “Pruebas de tracción a la soldadura de probetas de aluminio 6063 bajo la norma ASME para la construcción de un chasis monoplaza de la Institución Universitaria Pascual Bravo,.” Trabajo de grado , INSTITUCIÓN UNIVERSIARIA PASCUAL BRAVO, Medellín , 2023.
- [47] The American Society of Mechanical Engineers, “REGLAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN,.” ASME.



8. Anexos

