



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**PROPUESTA DE UN PROCESO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO
DESTRUCTIVA PARA LA COMPARACIÓN DE CHASIS TUBULARES DE KARTING,
BASADO EN LINEAMIENTOS DE NORMAS ISO**

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

**AUTORES: ERICK FERNANDO SACTA CARDENAS
ERICK ALEXANDER NARANJO MORA
TUTOR: ING. JUAN PABLO SINCHI RIVAS, MSc.**

Cuenca - Ecuador
2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Erick Fernando Sacta Cardenas con documento de identificación N° 0107314106 y Erick Alexander Naranjo Mora con documento de identificación N° 0105265961; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 04 de julio del 2025

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink that reads "ERICK SACTA". The signature is enclosed within a blue oval scribble.

Erick Fernando Sacta Cardenas

0107314106

A handwritten signature in blue ink that reads "ERICK ALEXANDER NARANJO MORA". The signature is enclosed within a blue scribble.

Erick Alexander Naranjo Mora

0105265961

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Erick Fernando Sacta Cardenas con documento de identificación N° 0107314106 y Erick Alexander Naranjo Mora con documento de identificación N° 0105265961, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Propuesta de un proceso de evaluación estructural no destructiva para la comparación de chasis tubulares de karting, basado en lineamientos de normas ISO”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 04 de julio del 2025

Atentamente,

Handwritten signature in blue ink, featuring the name "ERICK SACTA" in capital letters within a stylized, circular scribble.

Erick Fernando Sacta Cardenas

0107314106

Handwritten signature in blue ink, featuring the name "ERICK ALEXANDER NARANJO MORA" in capital letters within a stylized, circular scribble.

Erick Alexander Naranjo Mora

0105265961

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Pablo Sinchi Rivas con documento de identificación N° 0104168794, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PROPUESTA DE UN PROCESO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA PARA LA COMPARACIÓN DE CHASIS TUBULARES DE KARTING, BASADO EN LINEAMIENTOS DE NORMAS ISO, realizado por Erick Fernando Sacta Cardenas con documento de identificación N° 0107314106 y por Erick Alexander Naranjo Mora con documento de identificación N° 0105265961, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 04 de julio del 2025

Atentamente,



Ing. Juan Pablo Sinchi Rivas, Msc.

0104168794

DEDICATORIA

El presente proyecto le dedico a mis padres, Milton Fernando Sacta Brito y Mayure Ximena Cárdenas Vasquez, por su amor incondicional y por estar siempre presentes en cada paso de mi vida. Gracias por su apoyo firme, su paciencia infinita y, sobre todo, por los sacrificios que han hecho por mí. Todo lo que he logrado es reflejo de su esfuerzo, de su ejemplo y de la confianza que han depositado en mí desde siempre.

También va dedicada con mucho cariño a mi hermana, Yajhaira Anahy Sacta Cárdenas, quien ha sido un pilar fundamental en este camino. Su apoyo constante, su fe en mí y su compañía han sido claves para no rendirme. Su presencia ha sido guía, fuerza y consuelo.

Finalmente, a toda mi familia, por brindarme siempre su respaldo, sus palabras de aliento y por creer en mí. Gracias por ser parte esencial de este logro, que también les pertenece.

Erick Fernando Sacta Cardenas

DEDICATORIA

El presente proyecto le dedico a mis padres, Miguel y Verónica, por su amor, esfuerzo y sabiduría, por ser mi guía y sostén en cada etapa. Gracias por enseñarme a no rendirme y por estar siempre, incluso en los momentos más difíciles.

A mis hermanos, Micaela y Francis, y a toda mi familia, por su apoyo constante y por acompañarme en cada paso del camino.

Con especial cariño, a mi amigo y pariente Reineiro Montero, quien desde su lecho de muerte preguntó por si ya culminé mis estudios. Ese gesto sincero me marcó para siempre. Este logro también es suyo.

Y a mi mejor amiga Jacqueline, quien en mis momentos de mayor desánimo fue un pilar que me impulsó a seguir adelante.

Gracias por creer en mí. Este logro es tan mío como de ustedes.

Con gratitud,

Erick Alexander Naranjo Mora

AGRADECIMIENTO

Con profunda gratitud me dirijo a ustedes al culminar esta etapa, para expresar mi sincero agradecimiento a esta distinguida institución académica. Ha sido un honor formarme en la Universidad Politécnica Salesiana, donde adquirí conocimientos, valores y un entorno que enriqueció mi desarrollo profesional y personal.

Agradezco a todos los docentes que, con vocación y dedicación, fueron clave en este proceso. Gracias por compartir su conocimiento, por su constante disposición y por guiarme con paciencia en cada momento de duda.

De manera especial, quiero agradecer al Ing. Juan Sinchi, por su valiosa asesoría, su entrega y por estar presente en cada etapa de este proyecto. Su apoyo, conocimientos y acompañamiento fueron clave para alcanzar esta meta.

También expreso mi reconocimiento a mi compañero de tesis, Erick Alexander Naranjo Mora, por su entrega, responsabilidad y confianza. Este logro es compartido, y su contribución fue esencial para hacerlo posible.

Erick Fernando Sacta Cardenas

AGRADECIMIENTO

Con el corazón agradecido, doy gracias a Dios, guía y fortaleza en cada paso. Sin Su presencia, este logro no habría sido posible.

A mis padres, gracias por su amor incondicional, sus sacrificios y por creer en mí siempre. Todo lo que he alcanzado es reflejo de su entrega.

A mis hermanos y familia, por su compañía, palabras de aliento y apoyo constante que me impulsaron a seguir adelante.

A mis amigos, por su apoyo en los momentos difíciles y por hacer este camino más ligero.

A mis docentes, por compartir su conocimiento y guiarme con dedicación. En especial, al Ing. Juan Pablo Sinchi Rivas, por su orientación oportuna, y al Ing. Jimmy Ricardo Brito Morocho, por su acompañamiento humano y profesional.

A mi compañero de tesis, Erick Fernando Sacta Cárdenas, por su compromiso y confianza en este proyecto. Este logro también es tuyo.

Gracias a todos quienes formaron parte de este camino. Este trabajo es fruto del esfuerzo compartido, la fe y la esperanza.

Erick Alexander Naranjo Mora

RESUMEN

El presente proyecto técnico propone un proceso de evaluación estructural no destructiva para la comparación de chasis tubulares de karting, con el objetivo de determinar si el modelo N.º 252, perteneciente al vehículo de competencia de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, cumple con los requisitos de resistencia y seguridad exigidos para su participación en competencias, basándose en los lineamientos establecidos por normas ISO.

En el primer objetivo se realiza una revisión bibliográfica donde se identifican las técnicas y normas aplicables a los ensayos no destructivos. Entre ellas se incluyen: inspección visual (ISO 17637), partículas magnéticas (ISO 9934-1), líquidos penetrantes (ISO 3452-1), radiografía industrial (ISO 5579) y ultrasonido (ISO 17640). Esta revisión permite establecer una base normativa confiable para el análisis estructural del chasis.

En el segundo objetivo se lleva a cabo la aplicación práctica de los ensayos no destructivos seleccionados, evaluando las condiciones del vehículo de estudio. A partir de los resultados obtenidos se detectan puntos críticos, lo que permite desarrollar una propuesta de mejora estructural mediante la incorporación de refuerzos en las uniones más comprometidas.

El tercer objetivo presenta el análisis de los resultados junto con una simulación estructural por elementos finitos (FEA), con el propósito de validar la resistencia del chasis y verificar su comportamiento estructural tras la mejora realizada.

Finalmente, se elabora un manual técnico que recopila el proceso de evaluación aplicado al chasis del Karting N.º 252, estructurado bajo directrices ISO. Este manual se plantea como una herramienta práctica para futuras evaluaciones en vehículos similares.

Palabras clave: Evaluación estructural, Ensayos no destructivos, Chasis tubular, Karting, Normas ISO.

ABSTRACT

This technical project proposes a non-destructive structural evaluation process for comparing tubular karting chassis. The objective is to determine whether model No. 252, which belongs to the competition vehicle of the Salesian Polytechnic University, Cuenca campus, meets the strength and safety requirements for competition use, based on the guidelines established by ISO standards.

The first objective is to conduct a literature review that identifies the techniques and standards applicable to non-destructive testing. These include: visual inspection (ISO 17637), magnetic particle (ISO 9934-1), penetrant (ISO 3452-1), industrial radiography (ISO 5579), and ultrasound (ISO 17640). This review establishes a reliable regulatory basis for structural analysis of the chassis.

The second objective is to carry out the practical application of the selected non-destructive tests, evaluating the conditions of the vehicle under study. Based on the results obtained, critical points are identified, allowing for the development of a proposal for structural improvement by incorporating reinforcements in the most compromised joints.

The third objective presents the analysis of the results along with a structural finite element simulation (FEA) to validate the chassis' strength and verify its structural behavior after the improvement.

Finally, a technical manual is developed that compiles the evaluation process applied to the chassis of Karting No. 252, structured according to ISO guidelines. This manual is intended as a practical tool for future evaluations of similar vehicles.

Keywords: *Structural evaluation, Non-destructive testing, Tubular chassis, Karting, ISO standards.*

ÍNDICE

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	2
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	3
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	4
DEDICATORIA.....	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO	7
AGRADECIMIENTO	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
GENERALIDADES.....	24
Introducción	24
Problema de estudio.....	25
Antecedentes.....	25
Importancia y Alcances	26
Delimitación	26
OBJETIVOS.....	27
Objetivo General.....	27
Objetivos Específicos	27
1. OBJETIVO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DEL ARTE..	28
1.1 Evolución de los ensayos no destructivos (END)	28
1.2 Ensayos No Destructivos (END).....	28
1.3 Aplicación de los Ensayos No Destructivos (END).....	29

1.4	Ventajas y desventajas de los ensayos no destructivos (END)	30
1.5	Aplicación de los ensayos no destructivos (END) en el ciclo de vida de un componente	31
1.6	Normativas que regulan los ensayos no destructivos (END)	32
1.7	Ensayos no destructivos en el análisis del chasis tubular de karting.....	33
1.8	Pruebas de ensayos no destructivos (END).....	34
1.8.1	Inspección Visual (VT)	34
1.8.2	Ensayos con Líquidos Penetrantes (PT)	35
1.8.3	Ensayos con Partículas Magnéticas (MT)	36
1.8.4	Ensayos por Ultrasonido (UT).....	37
1.8.5	Ensayos Radiográficos (RT).....	38
1.9	Inspección de soldaduras en chasis de kart KF4 (Ecuador)	39
1.10	Controles no destructivos en deportes de motor.....	40
1.11	Importancia de los Ensayos No Destructivos en el karting.....	40
1.12	Seguridad del piloto.....	41
1.13	Confianza y rendimiento del vehículo.....	42
1.14	Normativas aplicadas al chasis del karting.....	43
1.14.1	ISO 17637: Inspección Visual de Soldaduras Fusionadas	43
1.14.2	ISO 9934-1: Detención de Defectos con Partículas Magnéticas	43
1.14.3	ISO 3452-1: Inspección de Discontinuidades con Líquidos Penetrantes	44
1.1.1	ISO 5579: Radiografía Industrial con Radiación Penetrante.....	44
1.14.5	ISO 17640: Evaluación de Soldaduras mediante Inspección Ultrasónica.....	45
1.15	Equipos Utilizados en Pruebas de Ensayos No Destructivos (END)	45
1.15.1	Boroscopio de alta definición Extech HDV600.	45
1.15.2	Sistema de inspección por líquido penetrante ZA-1633 A.....	46
1.15.3	Yugo electromagnético CA/CC Magnaflux Y-7	47
1.15.4	Detector de defectos ultrasónicos SIUI - SYNCSCAN.....	47

1.15.5	Sistema de inspección radiográfica con fuente de rayos X	48
2.	OBJETIVO II: APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y PROPUESTA DE MEJORA ESTRUCTURAL EN EL CHASIS DEL KARTING N.º 252 SEGÚN NORMAS ISO	49
2.1	Características estructurales del chasis del Karting N.º 252	49
2.2	Dimensionamiento del chasis del Karting N.º 252	50
2.3	Selección de técnicas END aplicables según normas ISO.....	53
2.4	Control de calidad mediante END.....	54
2.1.1	Diagnóstico visual preliminar y zonas de interés	54
2.4.2	Aplicación de líquidos penetrantes (PT) en cordones de soldadura.....	56
2.4.3	Inspección por partículas magnéticas (MT) en zonas ferromagnéticas.....	58
2.4.4	Evaluación por ultrasonido (UT) de los tubos principales	60
2.4.5	Evaluación complementaria con radiografía industrial (RT)	61
2.5	Resultados de los ensayos END aplicados.....	63
2.6	Identificación de zonas críticas para refuerzo estructural.....	64
2.7	Propuesta de rediseño o refuerzo estructural del chasis.....	65
3.	OBJETIVO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE APTITUD ESTRUCTURAL DEL CHASIS DEL KARTING N.º 252 PARA USO EN COMPETENCIA	67
3.1	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	69
3.1.1	Inspección Visual (VT) de Juntas Soldadas del Chasis.....	69
3.1.2	Inspección por Líquidos Penetrantes (PT) en Juntas Soldadas del Chasis.....	72
3.1.3	Inspección por Partículas Magnéticas (MT) de Juntas Soldadas del Chasis.....	76
3.1.4	Inspección por Ultrasonido (UT) de Juntas Soldadas del Chasis	80
3.1.5	Inspección por Radiografía (RT) de Juntas Soldadas del Chasis	86
3.2	Análisis estructural del chasis mediante FEA	93
3.3	Resultados del análisis estructural por simulación FEA	94

3.4	Simulación con Ensayos No Destructivos.....	99
3.5	Resultados del Análisis Estructural a base de la Propuesta.....	105
4.	OBJETIVO IV: DISEÑO DE MANUAL TÉCNICO PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA DE CHASIS DE KARTING SEGÚN NORMAS ISO	111
4.1	Manejo y reconocimiento de los equipos del laboratorio.....	111
4.1	Manual técnico de inspección visual aplicada al chasis de karting.....	112
4.2	Manual técnico de inspección por líquidos penetrantes aplicada al chasis de karting	122
4.3	Manual técnico de inspección por partículas magnéticas aplicada al chasis de karting	135
4.4	Manual técnico de inspección por ultrasonido aplicada al chasis de karting	146
4.5	Manual técnico de inspección por radiografía aplicada al chasis de karting.....	155
	CONCLUSIONES.....	163
	RECOMENDACIONES	164
	BIBLIOGRAFÍA.....	165
	ANEXOS	169

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Área designada para la implementación del proyecto	27
Figura 2.- Ensayos No Destructivos para la detección de discontinuidades en soldaduras....	29
Figura 3.- Aplicación de los ensayos no destructivos (END) en la industria automotriz.....	30
Figura 4.- Ventajas y desventajas de los ensayos no destructivos (END)	31
Figura 5.- Aplicación de los END en el ciclo de vida de un componente	32
Figura 6.- Ensayos No Destructivos (END) en chasis tubular	33
Figura 7.- Inspección Visual (VT).....	34
Figura 8.- Líquidos Penetrantes (PT).....	35
Figura 9.- Partículas Magnéticas (MT).....	36
Figura 10.- Ultrasonido (UT).....	37
Figura 11.- Interpretación Radiográfica (RT).....	38
Figura 12.- Inspección de soldaduras en chasis de karting.....	39
Figura 13.- Seguridad del piloto	42
Figura 14.- Equipo para inspección visual.....	46
Figura 15.- Equipo para líquidos penetrantes	46
Figura 16.- Equipo para partículas magnéticas.....	47
Figura 17.- Equipo para ultrasonido	48
Figura 18.- Equipo para radiografía.....	48
Figura 19.- Características estructurales del chasis del Karting	50
Figura 20.- Vista superior del chasis homologado sin accesorios	51
Figura 21.- Vista superior del chasis – Vista desde arriba.....	51
Figura 22.- Vista lateral del chasis.....	51
Figura 23.- Vista frontal del chasis	52
Figura 24.- Dimensiones del chasis	53

Figura 25.- Selección de técnicas END aplicables según normas ISO.....	54
Figura 26.- Diagnóstico visual preliminar y zonas de interés.....	55
Figura 27.- Etapas para la inspección VT.....	56
Figura 28.- Aplicación de líquidos penetrantes en cordones de soldadura.....	57
Figura 29.- Etapas para la inspección PT	58
Figura 30.- Inspección por partículas magnéticas (MT) en zonas ferromagnéticas	59
Figura 31.- Etapas para la inspección MT	59
Figura 32.- Evaluación por ultrasonido (UT) de los tubos del chasis.....	60
Figura 33.- Etapas para la inspección UT.....	61
Figura 34.- Evaluación con radiografía industrial	62
Figura 35.- Etapas para la inspección RT	63
Figura 36.- Refuerzos triangulados en zonas críticas del chasis del Karting N.º 252	65
Figura 37.- Detalle del rediseño estructural en la zona central con cartelas.....	66
Figura 38.- Modelo CAD del chasis del Karting N.º 252 en ANSYS	67
Figura 39.- Etapas de validación estructural del chasis en competencia. Fuente: (Autores)..	68
Figura 40.- Clasificación de juntas soldadas del chasis según inspección VT-OK y VT-R...	69
Figura 41.- Junta A-3 (inferior) con porosidad agrupada detectada (VT-R).....	70
Figura 42.- Junta A-8 (inferior) con porosidad y falta de fusión evidenciada (VT-R).....	70
Figura 43.- Junta B-8 (superior) con indicios de porosidad y falla de fusión (VT-R).....	71
Figura 44.- Clasificación de juntas soldadas del chasis según inspección PT-OK y PT-R....	72
Figura 45.- Junta A-3 (inferior) con porosidad detectada por líquidos penetrantes (PT).....	73
Figura 46.- Junta A-6 (inferior) con mordedura detectada por líquidos penetrantes (PT)	74
Figura 47.- Junta A-7 (inferior) con poros detectados mediante líquidos penetrantes (PT)...	74
Figura 48.- Junta A-8 (inferior) con indicios de porosidad y falta de fusión detectados.....	74
Figura 49.- Junta B-5 (superior) con mordedura detectada mediante PT.....	75

Figura 50.- Junta B-8 (superior) con indicios de porosidad y falta de fusión (PT)	75
Figura 51.- Clasificación de juntas soldadas del chasis según inspección MT-OK y MT-R .	77
Figura 52.- Inspección con yugo magnético en la junta A-7 (inferior)	78
Figura 53.- Aplicación de partículas sobre junta B-8 (superior) con yugo magnético	78
Figura 54.- Clasificación de juntas soldadas del chasis según inspección UT-OK y UT-R...	80
Figura 55.- Señal ultrasónica en A-1 y B-1 con indicio de unión incompleta.....	82
Figura 56.- Registro en A-2 y B-2 con eco indicativo de falta de penetración	82
Figura 57.- Registro en A-3 y B-3 con indicios de fusión incompleta	82
Figura 58.- Señales en A-4 y B-4 de baja intensidad en la junta evaluada (UT).....	83
Figura 59.- Señal en A-5 y B-5 con eco intermedio en posible zona de fusión incompleta...	83
Figura 60.- Registro en A-6 y B-6 con doble eco en zona de inspección estructural.....	83
Figura 61.- Señal en A-7 y B-7 con posible eco secundario en punto inspeccionado.....	84
Figura 62.- Registro en A-8 y B-8 con eco principal centrado y mínima interferencia lateral	84
Figura 63.- Señal bien centrada en A-9 y B-9 con eco definido y baja interferencia de fondo	84
Figura 64.- Clasificación de juntas soldadas del chasis según inspección RT-OK y RT-R ...	87
Figura 65.- Evaluación radiográfica de la unión mostrando porosidad	88
Figura 66.- Evaluación radiográfica de la unión soldada sin anomalías visibles	89
Figura 67.- Evaluación radiográfica de la unión con presencia de poros y fisura.....	89
Figura 68.- Vista posterior del chasis con presencia de falta de fusión en uniones múltiples	90
Figura 69.- Evaluación radiográfica de la unión soldada sin indicios de defectos visibles....	90
Figura 70.- Evaluación radiográfica con presencia de porosidad, fisura y falta de fusión.....	91
Figura 71.- Calidad de malla.....	93
Figura 72.- Ubicación de los puntos de aplicación de las fuerzas que generan el par torsor .	94

Figura 73.- Carga del piloto aplicada en el eje Y	95
Figura 74.- Carga lateral aplicada por maniobra extrema	95
Figura 75.- Restricciones de apoyo en el chasis	96
Figura 76.- Configuración de restricciones de apoyo del chasis	96
Figura 77.- Condiciones de Contorno en el Análisis Torsional del Chasis	97
Figura 78.- Distribución de la Deformación Total en el Chasis sin Modificaciones.....	97
Figura 79.- Esfuerzo Equivalente en el Chasis sin Modificaciones	98
Figura 80.- Esfuerzo máximo en torsión	98
Figura 81.- Distribución del Factor de Seguridad en el Chasis sin Modificaciones.....	99
Figura 82.- Calidad de malla mejorada con END.....	100
Figura 83.- Puntos de aplicación del par torsor según análisis con END.....	100
Figura 84.- Condiciones de carga y fijación para el análisis estructural	101
Figura 85.- Deformación total del chasis ante carga simulada	102
Figura 86.- Esfuerzo equivalente (von Mises) en el chasis	102
Figura 87.- Localización del esfuerzo máximo de torsión en el chasis	103
Figura 88.- Distribución del factor de seguridad en el chasis.....	103
Figura 89.- Calidad de malla en vista de la propuesta	105
Figura 90.- Puntos de aplicación del par torsor según simulación de la propuesta	106
Figura 91.- Condiciones de carga y apoyo en el chasis propuesto	107
Figura 92.- Deformación total del chasis modificado bajo torsión.....	107
Figura 93.- Deformación elástica equivalente en el chasis propuesto	108
Figura 94.- Localización de la máxima deformación elástica en el chasis.....	108
Figura 95.- Distribución del factor de seguridad en el chasis propuesto	109
Figura 96.- Boroscopio industrial Extech HDV600 con cámara de 5,5 mm	112
Figura 97.- Etapas para la inspección VT.....	114

Figura 98.- Calibración del equipo VT	114
Figura 99.- Selección de zonas a inspeccionar	115
Figura 100.- Registro visual de área sospechosa con boroscopio.....	115
Figura 101.- Transferencia de capturas del ensayo mediante conexión USB	116
Figura 102.- Identificación de defectos internos mediante análisis visual	116
Figura 103.- Chasis del Karting N.º 252.....	117
Figura 104.- Resultados Inspección Visual – Zona de Dirección.....	117
Figura 105.- Resultados Inspección Visual – Zona Posterior Inferior del Chasis	117
Figura 106.- Sistema de inspección por líquido penetrante fluorescente ZA-1633 A.....	122
Figura 107.- Equipo para tintas coloreadas	122
Figura 108.- Etapas para la inspección PT	124
Figura 109.- Superficie de aplicación para ensayo	125
Figura 110.- Solvente para limpieza	125
Figura 111.- Aplicación de solvente	126
Figura 112.- Tintas penetrantes	126
Figura 113.- Aplicación de penetrante.....	126
Figura 114.- Atomizador de agua	127
Figura 115.- Disolvente Universal.....	127
Figura 116.- Solvente para revelado	128
Figura 117.- Revelado de tinta coloreada	128
Figura 118.- Revelado de tinta fluorescente	128
Figura 119.- Inspección de tinta coloreada	129
Figura 120.- Inspección de tinta fluorescente	129
Figura 121.- Limpieza de puesto de trabajo	129
Figura 122.- Detección de defectos superficiales en soldadura.....	130

Figura 123.- Visualización de discontinuidades con revelador en unión soldada del chasis	130
Figura 124.- Etapas para la inspección MT	137
Figura 125.- Kit de yugo magnético	137
Figura 126.- Comprobación de la sensibilidad del yugo para fallas subsuperficiales en CC	138
Figura 127.- Verificación del yugo para detectar fallas superficiales en AC	138
Figura 128.- Superficies a inspeccionar.....	138
Figura 129.- Limpieza de la superficie	139
Figura 130.- Solvente para limpieza	139
Figura 131.- Componente magnetizado.....	139
Figura 132.- Determinación de discontinuidades a base de cruz de Berthold.....	140
Figura 133.- Aplicación del yugo sobre el cordón.....	140
Figura 134.- Limpieza de zona de soldadura	141
Figura 135.- Proceso de desmagnetización del chasis con yugo magnético	141
Figura 136.- Resultado tras inspección con yugo magnético	142
Figura 137.- Etapas para la inspección UT.....	148
Figura 138.- Menú del Equipo: SIUI SyncScan	148
Figura 139.- Acoplamiento ultrasónico en la zapata	149
Figura 140.- Calibración y verificación del ángulo	149
Figura 141.- Aplicación de acoplante sobre el chasis.....	150
Figura 142.- Visualización A-scan en ensayo ultrasónico.....	150
Figura 143.- Chasis del Karting N.º 252 tras limpieza superficial	150
Figura 144.- Resultado tras inspección ultrasónica	151
Figura 145.- Etapas para la inspección RT	157
Figura 146.- Configuración de la unidad de control.....	157

Figura 147.- Generador de rayos X sobre el chasis	157
Figura 148.- Disparo de rayos X sobre chasis desde consola de control.....	158
Figura 149.- Resultado radiográfico digital de soldadura en chasis	158
Figura 150.- Discontinuidad de soldadura vs defecto de soldadura	159
Figura 151.- Junta inferior A-3 con detección de porosidad concentrada mediante VT-R..	171
Figura 152.- Detección superficial de microporos en la soldadura	172

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Dimensiones y Especificaciones del Chasis del Karting.....	52
Tabla 2.- Ventajas y limitaciones del método de inspección visual (VT)	55
Tabla 3.- Clasificación del método de inspección por PT	57
Tabla 4.- Ventajas y limitaciones del método de inspección por PT	57
Tabla 5.- Ventajas y limitaciones del método de inspección por MT.....	59
Tabla 6.- Ventajas y limitaciones del método de inspección por UT	61
Tabla 7.- Ventajas y limitaciones del método de inspección por RT	63
Tabla 8.- Características propuestas del refuerzo estructural del chasis.....	66
Tabla 9.- Resultados de inspección visual por vista del chasis (VT).....	70
Tabla 10.- Juntas con defectos detectados en inspección visual (VT).....	70
Tabla 11.- Resultados de inspección por líquidos penetrantes (PT).....	73
Tabla 12.- Juntas con defectos detectados por líquidos penetrantes (PT)	73
Tabla 13.- Resultados de inspección por partículas magnéticas (MT)	77
Tabla 14.- Juntas con defectos detectados por partículas magnéticas (MT).....	78
Tabla 15.- Inspección ultrasónica – Vista inferior del chasis	81
Tabla 16.- Inspección ultrasónica – Vista superior del chasis	81
Tabla 17.- Evaluación radiográfica en juntas de la vista inferior del chasis.....	87
Tabla 18.- Evaluación radiográfica en juntas de la vista superior del chasis.....	88
Tabla 19.- Propiedades Mecánicas del Acero AISI 1018	93
Tabla 20.- Listado de Equipos del Laboratorio de END.....	111
Tabla 21. Equipos, instrumentos y software utilizados.	113
Tabla 22.- Matriz para el reporte de resultados del método VT.	119
Tabla 23.- Equipos e instrumentos para tintas penetrantes.....	124
Tabla 24.- Equipos e instrumentos para tintas fluorescentes	124

Tabla 25.- Norma API 1104.....	131
Tabla 26.- Matriz para el reporte de resultados del método PT.....	132
Tabla 27.- Elementos necesarios para el procedimiento de detección magnética	136
Tabla 28.- Matriz para el reporte de resultados del método MT.....	143
Tabla 29.- Herramientas y elementos empleados en el ensayo ultrasónico del chasis	147
Tabla 30.- Matriz para el reporte de resultados del método UT.	152
Tabla 31.- Instrumentos y recursos técnicos empleados en el ensayo radiográfico del chasis	156
Tabla 32.- Matriz para el reporte de resultados del método RT.	160

GENERALIDADES

Introducción

El chasis tubular constituye una estructura esencial en el diseño de vehículos de karting, ya que actúa como soporte principal de los componentes mecánicos y, al mismo tiempo, garantiza la seguridad del piloto en condiciones exigentes de competencia. Por esta razón, su diseño debe asegurar rigidez, resistencia y ligereza, características que permiten soportar cargas dinámicas y estáticas sin comprometer su integridad. El estado del chasis, por lo tanto, influye directamente en la estabilidad, durabilidad y respuesta del vehículo, lo que hace indispensable su evaluación periódica para mantener un rendimiento seguro.

Para analizar su condición estructural, se emplean métodos técnicos que no interfieren con su funcionamiento. En este caso, el estudio se enfoca en ensayos no destructivos (END), técnicas que permiten detectar fallas internas o superficiales sin dañar la estructura. Dichos ensayos, según normativas internacionales, incluyen la inspección visual (ISO 17637), partículas magnéticas (ISO 9934-1), líquidos penetrantes (ISO 3452-1), radiografía industrial (ISO 5579) y ultrasonido (ISO 17640). La aplicación de estas normas, por consiguiente, permite un diagnóstico preciso sin alterar las condiciones de uso del kart.

Después de identificar las normas aplicables y seleccionar las técnicas adecuadas, se realizará la inspección física del chasis del Karting N.º 252. Tras los ensayos, se analizarán los resultados para detectar zonas críticas afectadas por esfuerzos o deterioro. Finalmente, se documentará el procedimiento en un manual técnico basado en normas ISO, con el fin de establecer una metodología que mejore la seguridad y confiabilidad del vehículo.

Problema de estudio

El problema principal radica en la falta de una evaluación estructural del chasis del Karting N° 252 de la Universidad Politécnica Salesiana que se utiliza en la carrera de Ingeniería Automotriz de la sede de Cuenca. El chasis enfrenta condiciones extremas en competencias indicando que entre el 80% y el 90% de las fallas se deben a la fatiga del material, poniendo en riesgo la seguridad del piloto y el rendimiento del vehículo en entrenamientos y competencias locales e interprovinciales.

Durante competencias y entrenamientos, el chasis del Karting N.º 252 está sometido a esfuerzos, vibraciones y cargas dinámicas que provocan fatiga en el material. Con el tiempo, esta fatiga puede generar microfisuras y deformaciones que comprometen su integridad estructural, aumentando el riesgo de fallas que afectan la seguridad y el rendimiento.

A pesar de su diseño bajo normativas de calidad, no se han realizado pruebas específicas para evaluar su resistencia ante condiciones extremas. Estos procedimientos están respaldados por normas internacionales, como: ISO 17637 para inspección visual, ISO 9934-1 para detección de grietas con partículas magnéticas, ISO 3452-1 para fisuras superficiales con líquidos penetrantes, ISO 5579 para análisis interno mediante radiografía y ISO 17640 para inspección por ultrasonido.

La falta de un análisis riguroso genera incertidumbre sobre la resistencia a las cargas dinámicas, poniendo en riesgo la seguridad del piloto y del público.

Antecedentes

La carrera de Ingeniería Automotriz ha desarrollado proyectos vinculados al análisis estructural de vehículos, incluyendo chasis tubulares utilizados en karting, lo que ha permitido aplicar herramientas como software CAD-CAE y simulación por elementos finitos para estudiar la distribución de esfuerzos y optimizar el diseño.

A su vez, se ha fortalecido el conocimiento en normas técnicas y criterios de seguridad, lo cual ha sido clave para el desarrollo académico y práctico de los estudiantes.

Además, existen antecedentes en el uso de técnicas de evaluación no destructiva en estructuras metálicas, principalmente en sectores como el ferroviario y automotriz, donde, bajo normas ISO, es posible detectar fallas sin desmontar o dañar los componentes.

En el caso del karting, su aplicación aún es limitada; sin embargo, estudios recientes han demostrado su efectividad para identificar zonas críticas en chasis tubulares. Esto, por consiguiente, evidencia la necesidad de establecer un proceso técnico basado en normas ISO que permita evaluar la integridad estructural del chasis de forma segura y confiable.

Importancia y Alcances

Este proyecto de evaluación estructural no destructiva de un chasis tubular de karting es relevante para Ingeniería Automotriz, ya que aplica normas técnicas internacionales al análisis de estructuras reales, lo que fortalece el conocimiento en seguridad y diagnóstico.

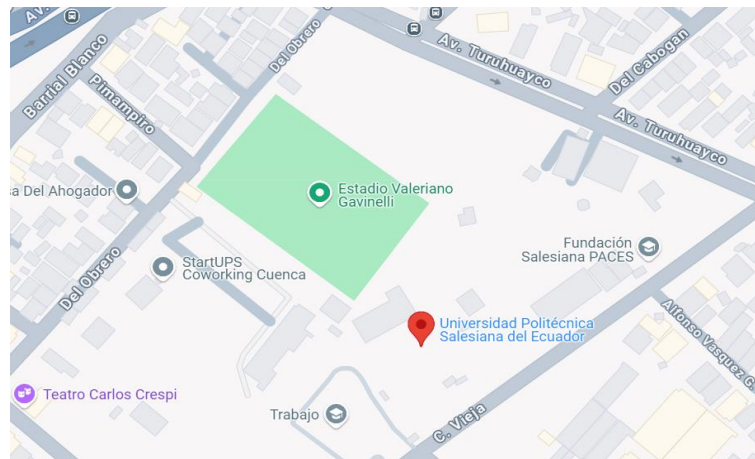
Además, establece una metodología técnica que podrá emplearse en futuros proyectos de inspección de componentes mecánicos.

También beneficiará al Grupo de Investigación de Ingeniería de Transporte (GIIT) en la línea de Diseño Mecánico Automotriz y, por consiguiente, servirá como guía para estudiantes en evaluaciones prácticas de estructuras metálicas.

Delimitación

El proyecto se desarrollará en Cuenca, capital de la provincia del Azuay, ubicada en el sur del Ecuador, específicamente en la región austral (figura 1). Esta ciudad, situada a 2.560 m s. n. m., tiene una superficie de 70,59 km² y, según datos del GAD Cuenca (s. f.), una población de 417.632 habitantes.

Figura 1.- Área designada para la implementación del proyecto



Nota. Esta imagen muestra las restricciones del área donde se lleva a cabo el proyecto.

Fuente: (Google Maps, 2024)

OBJETIVOS

Objetivo General

- Proponer un proceso de evaluación estructural no destructiva para la comparación de chasis tubulares de karting, basado en lineamientos de normas ISO.

Objetivos Específicos

- Identificar las técnicas y normativas ISO aplicables a los ensayos no destructivos en chasis de Karting N° 252, mediante revisión bibliográfica y análisis de estándares internacionales de seguridad y la dinámica del vehículo.
- Aplicar ensayos no destructivos bajo las normas ISO en el chasis del Karting N° 252, para la evaluación del estado de la estructura del chasis y una propuesta de mejora en su diseño.
- Determinar a partir del análisis de resultados si el chasis del karting N° 252 es apto para su uso en competencia.
- Diseñar un manual técnico con el proceso de evaluación estructural no destructiva según normas ISO, aplicado a chasis de karting.

1. OBJETIVO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DEL ARTE

1.1 Evolución de los ensayos no destructivos (END)

El avance en métodos para examinar materiales y estructuras sin alterar su funcionamiento es clave en industrias donde la seguridad es prioritaria, pues detectan defectos sin comprometer la integridad de los componentes (Smith, 2025).

En el karting de competición, los chasis tubulares de acero enfrentan vibraciones, impactos y cargas dinámicas que pueden afectar su resistencia si no se detectan fallas a tiempo.

A diferencia de un automóvil convencional, un kart no tiene suspensión, por lo que todo el esfuerzo es absorbido por el chasis. Como señala Quezada Poma (2018), una falla estructural en competencia puede comprometer la seguridad del piloto y el rendimiento del vehículo.

Ante este escenario, los END son indispensables en fabricación, homologación y mantenimiento, ya que permiten verificar soldaduras y, a su vez, detectar daños antes de fallas críticas. Además su aplicación bajo normas ISO garantiza resultados confiables y comparables.

Entre los métodos más usados en chasis de karting están la inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonido y radiografía. Cada técnica, por tanto, permite detectar diferentes discontinuidades y aporta a una evaluación integral y segura del vehículo.

1.2 Ensayos No Destructivos (END)

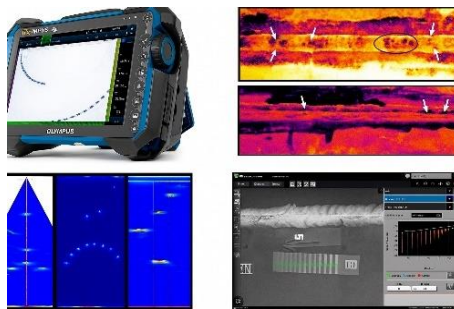
Son técnicas para evaluar materiales, componentes o estructuras sin alterar sus propiedades ni funcionamiento. Permiten detectar defectos, medir características internas y analizar la calidad de forma segura y económica, sin destruir las piezas.

El origen de los END responde a la necesidad de garantizar la integridad de materiales en sectores críticos. Los primeros métodos se basaban en principios físicos como la propagación de ondas y campos magnéticos para detectar defectos ocultos (Hellier, 2020).

Con el tiempo, los END se han perfeccionado y diversificado, adaptándose a las exigencias de la industria. Actualmente, técnicas como ultrasonido, radiografía y líquidos penetrantes permiten evaluar tanto la superficie como el interior de los materiales (Fig. 2).

Gracias a su capacidad para asegurar la calidad sin comprometer la utilidad de los componentes, los END se han convertido en una herramienta clave en procesos de fabricación, mantenimiento e inspección estructural en diversas ramas de la ingeniería.

Figura 2.- *Ensayos No Destructivos para la detección de discontinuidades en soldaduras*



Fuente: (LinkedIn, 2023)

1.3 Aplicación de los Ensayos No Destructivos (END)

La aplicación de los ensayos no destructivos (END) depende de factores como el tipo de material, las características de la pieza y el tipo de defecto a identificar (Fig. 3).

Es uno de los métodos más directos, ya que permite examinar superficies y soldaduras para detectar defectos visibles, como grietas, poros o deformaciones (ISO, 2016).

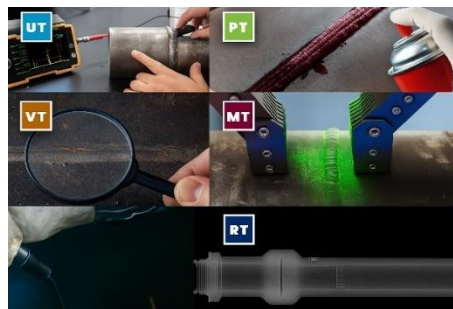
Cuando se trata de materiales ferromagnéticos, la detección superficial se realiza mediante partículas magnéticas. Como indica la norma ISO 9934-1:2016, se utiliza un campo magnético y partículas finas que revelan fallas normalmente imperceptibles.

Para materiales no porosos, la técnica de líquidos penetrantes es muy efectiva. De acuerdo con la norma ISO 3452-1:2021, se aplica un líquido de alta capilaridad que penetra en fisuras, las cuales, con un revelador, se hacen visibles (ISO, 2021).

Cuando los defectos están en el interior del componente, se requieren métodos más avanzados como la radiografía. Según la norma ISO 5579:2013, esta utiliza radiación X o gamma para obtener imágenes internas del material y poder detectar fallas ocultas (ISO, 2013).

Finalmente, el ensayo por ultrasonido, según la norma ISO 17640:2018, se basa en la propagación de ondas que se reflejan ante cambios de densidad. Esta técnica, por consiguiente, permite detectar discontinuidades internas (ISO, 2018)

Figura 3.- Aplicación de los ensayos no destructivos (END) en la industria automotriz



Fuente: (Grupo Testek, 2022)

1.4 Ventajas y desventajas de los ensayos no destructivos (END)

La aplicación de END ofrece varios beneficios en la evaluación de materiales y estructuras (Fig. 4). Según ISO (2021), su principal ventaja es permitir inspecciones sin comprometer la integridad del componente, manteniéndolo operativo tras la evaluación.

Otra ventaja es la detección temprana de defectos, lo que permite intervenir antes de que los daños comprometan la seguridad. Además, estas técnicas mejoran la eficiencia económica, ya que reducen costos por reparaciones o reemplazos (ISO, 2021).

No obstante, también presentan limitaciones. ISO (2021) indica que la interpretación de resultados depende de la capacitación del personal, por lo tanto, se requieren inspectores certificados. Asimismo, no todos los materiales o geometrías son compatibles con cada técnica.

Finalmente, el costo inicial puede ser alto por los equipos especializados y su calibración constante. En conjunto, los END son herramientas valiosas, aunque su uso exige equilibrar beneficios técnicos con aspectos prácticos.

Figura 4.- *Ventajas y desventajas de los ensayos no destructivos (END)*



Fuente: (SlidePlayer, 2015)

1.5 Aplicación de los ensayos no destructivos (END) en el ciclo de vida de un componente

Los ensayos no destructivos (END) se aplican en varias etapas del ciclo de vida de un componente para garantizar integridad y funcionamiento. Durante la fabricación, permiten detectar defectos en soldaduras, fundiciones o ensamblajes antes de su uso.

Durante la fase de servicio, se emplean como parte del mantenimiento preventivo. Estas inspecciones, por lo tanto, permiten identificar deterioros a tiempo y evitar que los daños progresen, afectando la seguridad o funcionalidad del sistema (ASNT, 2024).

Después de eventos críticos, como impactos o sobrecargas, los END son esenciales para detectar daños ocultos. En estos casos, permiten determinar si el componente puede seguir en uso de forma segura o si requiere intervención inmediata.

En chasis de karting (Fig. 5) su aplicación es especialmente relevante tanto antes de las competencias, para garantizar la seguridad, como después de incidentes que puedan comprometer la estructura.

Figura 5.- *Aplicación de los END en el ciclo de vida de un componente*



Fuente: (Autores)

1.6 Normativas que regulan los ensayos no destructivos (END)

Los ensayos no destructivos (END) se aplican bajo normativas internacionales que establecen procedimientos estandarizados con el fin de garantizar la calidad y confiabilidad de los resultados. Cada método, por lo tanto, se regula por una norma específica.

La norma ISO 17637:2016 detalla los requisitos para la inspección visual de uniones soldadas por fusión en materiales metálicos, incluyendo condiciones de iluminación, distancia de observación y criterios de aceptación (ISO, 2016).

Por otro lado, la norma ISO 9934-1:2016 establece los principios generales del ensayo por partículas magnéticas, aplicado a materiales ferromagnéticos para detectar discontinuidades superficiales o cercanas a la superficie (ISO, 2016).

En cuanto al ensayo por líquidos penetrantes, la norma ISO 3452-1:2021 permite detectar discontinuidades abiertas en materiales no porosos, mediante líquidos de alta capilaridad (ISO, 2021).

Respecto a defectos internos, la norma ISO 5579:2013 establece los lineamientos para realizar radiografías industriales en materiales metálicos, utilizando técnicas con película radiográfica (ISO, 2013).

Finalmente, la norma ISO 17640:2018 define las técnicas y niveles de inspección para el ensayo por ultrasonido manual en uniones soldadas, incluyendo criterios de aceptación y evaluación de discontinuidades (ISO, 2018).

1.7 Ensayos no destructivos en el análisis del chasis tubular de karting

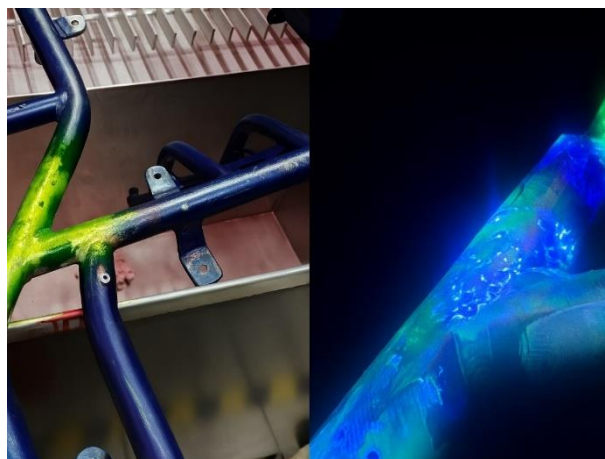
La inspección visual permite detectar identificar defectos superficiales en soldaduras, uniones y componentes que podrían comprometer la resistencia del chasis.

Cuando se requiere un análisis más detallado, se aplican partículas magnéticas y líquidos penetrantes (Fig. 6) ya que son efectivos para identificar grietas, poros y discontinuidades abiertas en zonas de alto esfuerzo (ASNT, 2024).

Para detectar defectos internos, como inclusiones o porosidad en soldaduras, se emplean técnicas avanzadas como radiografía y ultrasonido (ISO, 2018; ISO, 2021).

El uso conjunto de estos métodos de END garantiza que el chasis cumpla con los estándares de seguridad y rendimiento, por lo tanto, reduce el riesgo de fallos estructurales y protege al piloto durante la competición.

Figura 6.- *Ensayos No Destructivos (END) en chasis tubular*



Fuente: (Autores)

1.8 Pruebas de ensayos no destructivos (END)

1.8.1 Inspección Visual (VT)

La inspección visual (Fig. 7) consiste en observar directamente las superficies de soldaduras y componentes metálicos, ya sea a simple vista o con apoyo de lupas, boroscopios o linternas. Esta técnica permite identificar discontinuidades visibles como grietas, poros, falta de fusión, salpicaduras o deformaciones que afecten la integridad de las uniones.

De acuerdo con la norma ISO 17637:2016, debe aplicarse en tres etapas del proceso de soldadura para garantizar una evaluación completa. En la etapa previa, se inspeccionan los materiales base, la limpieza, la alineación y la preparación de bordes. Durante el proceso, se supervisa la continuidad de la fusión y se detectan defectos visibles en tiempo real. Finalmente, se examinan los cordones terminados para verificar forma, tamaño, perfil y presencia de grietas u otras irregularidades (ISO, 2016).

Su principal ventaja es la rapidez y bajo costo, ya que puede aplicarse de inmediato y sin equipos complejos. Sin embargo, solo permite detectar defectos superficiales; las discontinuidades internas requieren métodos más avanzados.

En el chasis tubular de karting, es esencial en el control de calidad, todas las soldaduras deben evaluarse antes de aplicar técnicas como líquidos penetrantes o ultrasonido.

Figura 7.- *Inspección Visual (VT)*



Fuente: (IPEND, 2024)

1.8.2 Ensayos con Líquidos Penetrantes (PT)

El ensayo con líquidos penetrantes (Fig. 8) es utilizado para detectar discontinuidades abiertas en la superficie de materiales sólidos no porosos, como grietas finas, poros o fisuras.

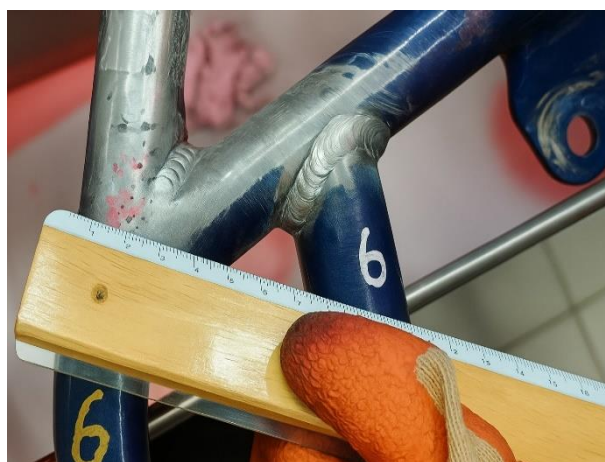
Este método se basa en el principio de capilaridad: se aplica un líquido sobre la superficie, el cual penetra en los defectos. Luego, se limpia el exceso y se aplica un revelador, que hace visible el líquido atrapado en las discontinuidades mediante manchas o líneas.

De acuerdo con la norma ISO 3452-1, esta técnica se aplica en soldaduras de aceros inoxidables y materiales no ferrosos, pero también es efectiva en aceros al carbono, como los del chasis tubular de karting, para detectar defectos superficiales con alta sensibilidad.

Además, su aplicación es simple y económica. Los kits en aerosol con limpiador, el penetrante y revelador, permiten su uso en campo sin equipos complejos, detectando microgrietas o poros en soldaduras que la inspección visual no podría evidenciar.

En estudios realizados en la Universidad Politécnica Salesiana sobre un chasis tipo KF4, se detectaron marcas rojizas indicativas de poros menores, confirmando la efectividad del método y la buena calidad de las soldaduras (Quezada Poma, 2018).

Figura 8.- *Líquidos Penetrantes (PT)*



Fuente: (Autores)

1.8.3 Ensayos con Partículas Magnéticas (MT)

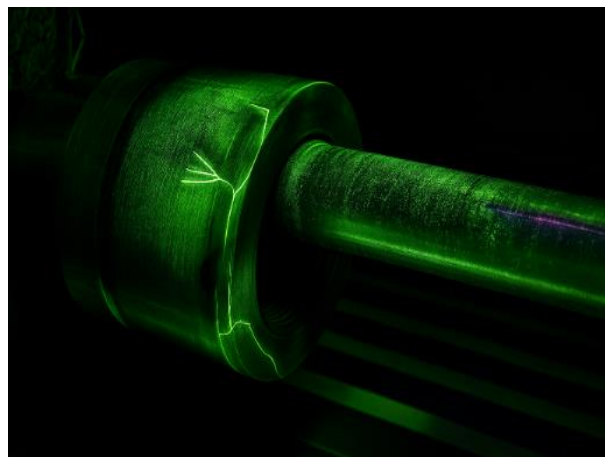
El ensayo con partículas magnéticas (Fig. 9) detecta discontinuidades superficiales y sub-superficiales poco profundas en materiales ferromagnéticos, como los aceros de chasis tubulares de karting. Según la norma ISO 9934-1:2016, consiste en magnetizar la mediante corriente directa, alterna o un yugo, generando un campo que permite identificar defectos.

Una vez magnetizada la pieza, se aplican partículas ferromagnéticas, ya sean secas o en suspensión. Si existe una discontinuidad, el flujo magnético se distorsiona y concentra las partículas en el defecto, generando indicaciones visibles de su forma y tamaño (ISO, 2016).

Este método es eficaz para detectar grietas finas, incluso cubiertas por pintura o escoria, donde los líquidos penetrantes fallan. También permite identificar defectos cercanos a la superficie en piezas sometidas a esfuerzos dinámicos (Mark Williams Enterprises, 2025).

En el chasis tubular de karting, se emplea para evaluar la calidad de las soldaduras y zonas térmicamente afectadas. El uso de partículas fluorescentes y luz ultravioleta mejora la sensibilidad, permitiendo detectar fisuras delgadas que podrían comprometer la integridad del chasis en competencia. Aunque este método solo aplica a materiales ferromagnéticos, esta condición se cumple en los chasis de acero al carbono usados en karting.

Figura 9.- *Partículas Magnéticas (MT)*



Fuente: (IPEND, 2024)

1.8.4 Ensayos por Ultrasonido (UT)

El ensayo por ultrasonido (Fig. 10) emplea ondas sonoras de alta frecuencia para detectar discontinuidades internas y medir espesores sin dañar la pieza. Un transductor emite las ondas, que al encontrar variaciones de densidad como grietas o porosidades, se reflejan al sensor, permitiendo localizar y dimensionar los defectos en tiempo real.

Según la ISO 17640:2019, este método evalúa soldaduras con palpadores angulados desde una sola cara, sin desmontes ni radiación. En chasis, con espesores de 2 a 3 mm, el UT convencional es limitado, pero el ultrasonido multielemento (phased array) o TOFD mejora la resolución para inspecciones confiables en estructuras delgadas.

Esta técnica resulta eficaz para detectar defectos internos no visibles, como inclusiones metálicas o falta de penetración en soldaduras. Además, permite identificar pérdidas de espesor por corrosión o impacto, contribuyendo a una evaluación estructural completa.

Aunque requiere personal calificado y una calibración precisa, su aplicación junto con VT, PT y MT permite un diagnóstico estructural completo del chasis. Esta combinación mejora la detección de discontinuidades superficiales e internas, reforzando la evaluación de integridad. Así, se garantiza un alto nivel de seguridad y rendimiento en condiciones exigentes.

Figura 10.- Ultrasonido (UT)



Fuente: (Autores)

1.8.5 Ensayos Radiográficos (RT)

La radiografía industrial (Fig. 11) utiliza rayos X o gamma para examinar el interior de componentes o soldaduras, detectando discontinuidades internas sin intervenir en la pieza.

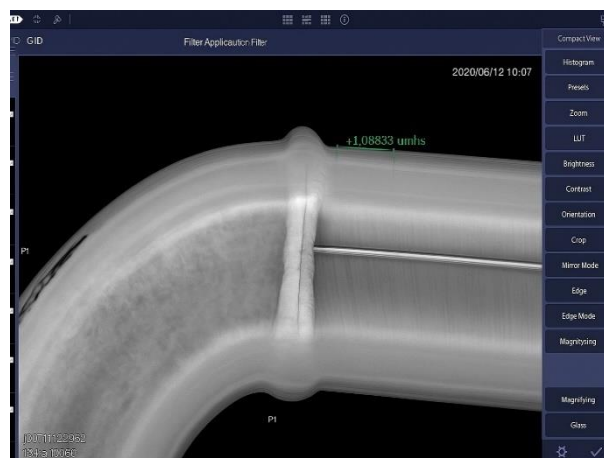
El procedimiento ubica una fuente de radiación de un lado del material y un detector al otro. La radiación atraviesa el componente y muestra variaciones de densidad. Defectos como poros o grietas dejan pasar más radiación, generando zonas oscuras en la imagen.

Según la norma ISO 5579, esta técnica detecta defectos internos no superficiales, como inclusiones, falta de penetración o porosidades profundas. En chasis de karting, se aplica en zonas reforzadas o de mayor espesor para identificar deformaciones internas no visibles.

Una ventaja del RT es que genera un registro visual permanente para análisis posteriores. No obstante, requiere de equipos especializados, ambientes controlados y medidas de seguridad por el uso de radiación, limitando su aplicación a laboratorios o investigaciones.

En automovilismo, la radiografía asegura la calidad de soldaduras y componentes críticos. En karting, su uso es limitado por los costos, pero es útil en homologación o validación bajo normas como la ISO 10675 o códigos ASME.

Figura 11.- Interpretación Radiográfica (RT)



Fuente: (estudiantesmetalografia, 2015)

1.9 Inspección de soldaduras en chasis de kart KF4 (Ecuador)

En un proyecto de la Universidad Politécnica Salesiana, Quezada Poma (2018) diseñó un chasis tubular para la categoría KF4 (Fig. 12) incorporando control de calidad con ensayos no destructivos (END). Se realizó inspección visual (VT) en todas las soldaduras y líquidos penetrantes (PT) en uniones críticas con alta concentración de esfuerzos.

Durante las inspecciones, no se detectaron defectos relevantes que comprometieran la resistencia estructural del chasis. Las únicas marcas observadas fueron indicaciones rojizas en intersecciones de cordones, atribuidas a la geometría del soldeo y sin riesgo estructural.

Estos resultados confirmaron que los métodos aplicados permitieron evaluar con eficacia la calidad de las soldaduras, asegurando que el chasis cumpliera los estándares de competición. La combinación de inspección visual y líquidos penetrantes fue suficiente para detectar discontinuidades superficiales, sin recurrir a técnicas más complejas o costosas.

La experiencia obtenida evidenció que una adecuada selección y aplicación de END, según las características del componente y sus condiciones de uso, es clave para asegurar la integridad estructural en vehículos de competencia como los karts de la categoría KF4.

Figura 12.- *Inspección de soldaduras en chasis de karting*



Fuente: (Bernardi, 2018)

1.10 Controles no destructivos en deportes de motor

En los deportes de motor, se recomienda aplicar END de forma periódica en componentes como: ejes, chasis y transmisiones, ya que estas expuestas a esfuerzos extremos.

Uno de los métodos más efectivos es el Magnaflux, basado en partículas magnéticas. Esta técnica se usa en materiales ferromagnéticos y consiste en magnetizar la pieza e introducir partículas finas (secas o en suspensión) que se acumulan donde hay grietas o defectos. De este modo, se visualiza defectos en la superficie o justo debajo de ellas sin dañar el componente.

El método es rápido, no requiere desmontar piezas y permite detectar fallas en zonas críticas, lo que lo hace ideal para el karting competitivo. Su aplicación facilita inspecciones preventivas durante el mantenimiento, sin afectar la operatividad del vehículo.

Detectar microgrietas a tiempo permite reparar antes de que el daño avance, reduciendo tiempos de parada y costos por reemplazo (Mark Williams Enterprises, 2025).

1.11 Importancia de los Ensayos No Destructivos en el karting

La aplicación de END en la fabricación, inspección y mantenimiento de chasis de karting es esencial para garantizar su seguridad, durabilidad y rendimiento, debido a los altos esfuerzos dinámicos que enfrenta en competencia (Quezada Poma, 2018).

En funcionamiento, las curvas rápidas generan torsión en el chasis, y los impactos con pianos o baches inducen cargas alternantes. Además, las vibraciones del motor se transmiten al conjunto tubular, que absorbe todas las sollicitaciones al no tener suspensión independiente.

El uso de técnicas END como la inspección visual (VT) y los líquidos penetrantes (PT) permite detectar a tiempo discontinuidades o defectos que podrían evolucionar en fallas estructurales. En el desarrollo de un chasis para la categoría KF4, según la normativa CIK/FIA, se aplican estos métodos para verificar la calidad de las soldaduras antes de su uso en pista.

Los END también permiten analizar la rigidez del chasis, donde es clave equilibrar flexibilidad para absorber irregularidades y rigidez para mantener estabilidad y precisión.

En conjunto, integrar los END en el diseño y control de calidad de chasis de karting no solo asegura su integridad estructural, sino que también optimiza el rendimiento dinámico, prolonga su vida útil y mejora la seguridad del piloto durante la competencia

1.12 Seguridad del piloto

En el karting, la seguridad del piloto (Fig. 13) depende en gran medida del chasis, ya que, al no contar con suspensión ni carrocería, las fuerzas de impacto y vibración se transmiten directamente a la estructura del vehículo y, por ende, al conductor. Como señala la FEDAK (2024), mantener su integridad es clave para evitar fallos mecánicos.

La aplicación de END como VT, PT y MT en puntos críticos del chasis representa una estrategia preventiva clave, ya que permiten detectar a tiempo discontinuidades, microfisuras o daños antes de que se conviertan en amenazas para el piloto.

Las normativas técnicas exigen no solo equipamiento personal adecuado como cascos, trajes o sistemas de retención sino también la verificación periódica del estado estructural del vehículo para asegurar condiciones de competencia seguras.

Detectar anomalías a tiempo permite realizar reparaciones oportunas y asegura que el chasis resista las cargas dinámicas del karting competitivo. Una correcta inspección protege al piloto y eleva los estándares de seguridad en el deporte motor.

En consecuencia, la implementación sistemática de ensayos no destructivos se consolida como herramienta esencial en los programas de mantenimiento y verificación técnica, garantizando que cada piloto compita bajo condiciones de máxima seguridad.

Figura 13.- Seguridad del piloto



Fuente: (ROKCUPECUADOR, 2019)

1.13 Confianza y rendimiento del vehículo

La confianza del piloto y el rendimiento de un kart dependen de la integridad del chasis. Los END ofrece una base sólida para la seguridad en pista y mejora el desempeño competitivo.

La aplicación de diversos END mejora la confianza estructural al detectar defectos tempranos. Según Smith (2015), la inspección visual (VT) es clave para identificar grietas, deformaciones o fallas visibles que comprometan la resistencia del kart.

Los líquidos penetrantes (PT) revelan microfisuras no visibles a simple vista, facilitando su corrección temprana. A su vez, las partículas magnéticas (MT) detectan discontinuidades subsuperficiales en partes ferromagnéticas como ejes o refuerzos del chasis.

En el karting recreativo o de alquiler, el uso constante exige aplicar métodos como VT o PT en zonas críticas tales como anclajes de asiento, bases de dirección y soportes del eje trasero para mantener la seguridad y prevenir el desgaste prematuro del bastidor.

En consecuencia, aplicar estos controles no solo preserva la estructura del kart, sino que mejora el desempeño del piloto. La confianza en el estado del vehículo permite una conducción más decidida y un mejor aprovechamiento del chasis, optimizando su rendimiento.

1.14 Normativas aplicadas al chasis del karting

1.14.1 ISO 17637: Inspección Visual de Soldaduras Fusionadas

La norma ISO 17637:2016 establece los requisitos para realizar inspecciones visuales en soldaduras de materiales metálicos, principalmente en aceros estructurales. Se indica que deben ejecutarse con una iluminación mínima de 500 lux y a una distancia no mayor a 600 mm, sobre superficies limpias y libres de contaminantes (ISO, 2016).

El inspector debe estar calificado, bajo la norma ISO 9712, la cual regula la certificación del personal que realiza ensayos no destructivos, garantizando su competencia técnica. La inspección visual debe efectuarse antes, durante y después de la soldadura, evaluando aspectos como el perfil del cordón, socavaciones, mordeduras y alineación.

En el chasis del karting, esta inspección es la primera etapa, permitiendo detectar visualmente grietas, cordones mal formados o uniones desalineadas, identificando defectos evidentes antes de aplicar otros ensayos más complejos.

1.14.2 ISO 9934-1: Detención de Defectos con Partículas Magnéticas

La norma ISO 9934-1:2016 establece el procedimiento para aplicar el ensayo por partículas magnéticas en materiales ferromagnéticos como el acero al carbono del chasis de karting. El método consiste en inducir un campo magnético y si hay una discontinuidad se produce una fuga de flujo que atrae las partículas aplicadas, revelando el defecto (ISO, 2016).

La norma indica el tipo de corriente (AC, DC, HWDC), métodos de magnetización (contacto directo, bobinas, yugos), tipos de partículas (secas, húmedas, fluorescentes), iluminación mínima (1000 lux o luz UV-A), y los criterios de aceptación establecidos por la norma ISO 23278, que clasifica las indicaciones como relevantes o no relevantes y establece los límites aceptables de discontinuidades visibles.

En el chasis del karting, esta técnica examina las uniones soldadas en zonas críticas sometidas a esfuerzos. Se identifica defectos no visibles a simple vista, con una inspección rápida, económica y sin desmontaje, ideal para mantenimiento preventivo.

1.14.3 ISO 3452-1: Inspección de Discontinuidades con Líquidos Penetrantes

La norma ISO 3452-1:2021 define los principios del ensayo con líquidos penetrantes, usado para detectar discontinuidades abiertas en materiales no porosos. El proceso incluye limpieza, aplicación del penetrante, remoción del exceso, revelado y evaluación (ISO, 2021).

El penetrante puede ser visible o fluorescente, y debe tener alta tensión superficial. La norma establece tiempos de penetración, temperatura adecuada (10 a 50 °C) y condiciones para la limpieza final del componente.

En el chasis del karting, se identifica zonas donde no es viable la magnetización, como curvas o interiores. Permite detectar fisuras superficiales por fatiga, especialmente cerca del soporte del motor. Su facilidad de uso y portabilidad lo hace ideal para inspecciones rápidas durante el mantenimiento sin alterar el material.

1.1.1 ISO 5579: Radiografía Industrial con Radiación Penetrante

La norma ISO 5579:2013 regula el uso de rayos X o gamma para realizar radiografías industriales, permitiendo detectar defectos internos como poros, inclusiones o falta de fusión en soldaduras (ISO, 2013).

Incluye especificaciones sobre fuentes de radiación, tipos de detectores (película, digital), geometría de exposición, indicadores de calidad de imagen según ISO 19232, y protocolos de revelado, digitalización y seguridad radiológica.

En el chasis del karting, se aplica en uniones soldadas donde se requiere análisis interno sin desmontaje, permitiendo identificar fallas internas no visibles con otros métodos, logrando así una evaluación volumétrica completa sin afectar la integridad del componente.

1.14.5 ISO 17640: Evaluación de Soldaduras mediante Inspección Ultrasónica

La norma ISO 17640:2018 establece procedimientos a inspeccionar mediante ultrasonido, definiendo parámetros como tipo de onda, frecuencias entre 2 y 10 MHz, ángulos de incidencia (45°, 60°, 70°) y métodos de escaneo (manual o automatizado) (ISO, 2018).

Requiere calibrar el equipo con bloques patrón y analizar las señales reflejadas para identificar tamaño y orientación del defecto. También regula los criterios de aceptación y la documentación del ensayo.

En el chasis del karting, se aplica en zonas de difícil acceso o geometrías complejas donde la radiografía no es viable, permitiendo verificar la continuidad interna de soldaduras y la integridad del material, reforzando la confianza en el comportamiento estructural del vehículo durante la competencia.

1.15 Equipos Utilizados en Pruebas de Ensayos No Destructivos (END)

1.15.1 Boroscopio de alta definición Extech HDV600.

Este instrumento (Fig. 14) permite inspeccionar zonas interiores sin necesidad de desmontaje, mediante una sonda equipada con luz LED que transmite imágenes en tiempo real a una pantalla y permite registrar fotografías o videos en una unidad USB.

Gracias a sus características, se usa para detectar grietas, corrosión, deformaciones o residuos en zonas de difícil acceso. Su sistema modular con sondas intercambiables se adapta a distintas geometrías estructurales (Extech Instruments, 2024; eBay, 2025).

Figura 14.- *Equipo para inspección visual*



Nota. Accesorios para monitor HDV600 USB de Extech. Fuente: (eBay, 2025)

1.15.2 Sistema de inspección por líquido penetrante ZA-1633 A.

Este sistema aplica el método de líquidos penetrantes e incluye una unidad de lavado, estación de tintas y cámara oscura para fluorescentes (Fig. 15). El proceso implica aplicar el penetrante, lavar, secar y aplicar el revelador para visualizar posibles discontinuidades.

En caso de utilizar tintas visibles, la inspección se realiza bajo luz blanca; en cambio, con tintas fluorescentes, se efectúa en cámara oscura bajo luz ultravioleta, permitiendo detectar mayor precisión fisuras finas en la superficie. Este sistema permite una aplicación controlada y repetible del ensayo, conforme a la norma ISO 3452-1 (ISO, 2021; Magnaflux, 2024).

Figura 15.- *Equipo para líquidos penetrantes*



Nota. Sistema de inspección con líquido penetrante fluorescente. Fuente: (Magnaflux, 2024)

1.15.3 Yugo electromagnético CA/CC Magnaflux Y-7

Este equipo portátil para END por partículas magnéticas en materiales ferromagnéticos (Fig. 16) actúa como un yugo electromagnético, operando con corriente AC o DC y genera un campo magnético localizado para detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales.

Gracias a su forma en “Y”, facilita la inspección de componentes metálicos en campo o en taller, aplicando partículas magnéticas para detectar grietas. Es ligero, fácil manejo y cumple con estándares, ideal para soldaduras y piezas críticas (NDT Supply, 2024).

Figura 16.- Equipo para partículas magnéticas



Nota. Kit de yugo magnético Magnaflux Y-7 CA/CC 230 V. Fuente: (NDT Supply, 2024)

1.15.4 Detector de defectos ultrasónicos SIUI - SYNCSCAN

Este equipo portátil de ultrasonido (Fig. 17) emplea tecnología phased array para generar múltiples haces desde un solo transductor, permitiendo evaluar soldaduras con mayor precisión. Ofrece imágenes en tiempo real que facilitan la detección de defectos internos.

Además, cuenta con pantalla táctil a color e interfaz intuitiva, mostrando imágenes A-scan, B-scan y C-scan para facilitar la interpretación. Es efectivo en el control de calidad por su portabilidad, resolución y precisión en sectores como metalmecánica, energía y transporte.

Figura 17.- Equipo para ultrasonido



Nota. Kit ultrasónico SIUI - SYNCSCAN. Fuente: (GSL NDT, 2024)

1.15.5 Sistema de inspección radiográfica con fuente de rayos X

Este sistema de inspección usa rayos X, mesa de exposición, panel de control y visor (Fig. 18) proyectando radiación que atraviesa el objeto y registra variaciones en una película o sistema digital, donde las zonas claras revelan poros, grietas o inclusiones internas no visibles.

Permite ajustar voltaje, tiempo de exposición y distancia para obtener imágenes nítidas y con buen contraste. Cumple normas de seguridad y es ideal para soldaduras críticas en chasis y componentes metálicos sometidos a carga (MFE Inspection Solutions, 2025).

Figura 18.- Equipo para radiografía



Nota. Kit radiográfico. Fuente: (Autores)

2. OBJETIVO II: APLICACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y PROPUESTA DE MEJORA ESTRUCTURAL EN EL CHASIS DEL KARTING N.º 252 SEGÚN NORMAS ISO

Este objetivo aborda la aplicación de ensayos no destructivos (END) en el chasis del Karting N.º 252, siguiendo normas ISO. Se describen los métodos utilizados, su procedimiento y base normativa. Además, se presenta una propuesta de mejora estructural orientada a reforzar zonas críticas y optimizar la seguridad y durabilidad del chasis.

2.1 Características estructurales del chasis del Karting N.º 252

El chasis del Karting es una estructura portante tubular, hecha con tubos de acero al carbono dispuestos estratégicamente para garantizar rigidez y seguridad estructural en condiciones dinámicas. Por esta razón, este tipo de chasis es común en vehículos de competición pequeños, ya que ofrece bajo peso, facilidad de fabricación y buena relación entre resistencia mecánica y costo.

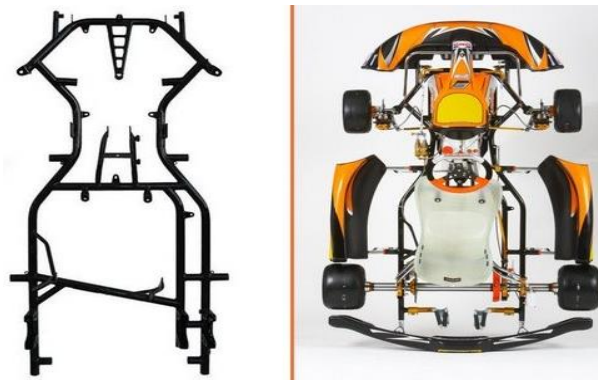
De igual manera, el chasis (Fig. 19) se estructura como una celda de tubos de sección circular, unidos mediante soldadura por arco eléctrico con electrodos revestidos. Dicho de otro modo, esta técnica proporciona uniones resistentes, favorece la continuidad estructural y facilita el mantenimiento. Además, su geometría permite distribuir las cargas durante aceleración, frenado, curvas y paso por superficies irregulares; por lo tanto, mejora la estabilidad del karting en línea recta y en maniobras exigentes.

En cuanto al material, se utiliza acero estructural de baja aleación, elegido por su alta tenacidad, buena ductilidad, excelente soldabilidad y resistencia al impacto (Callister & Rethwisch, 2020). De hecho, estas propiedades lo hacen ideal para soportar colisiones y esfuerzos repetitivos, siendo una opción confiable para este tipo de aplicaciones.

No obstante, el uso intensivo del vehículo puede causar fatiga estructural, microfisuras en las soldaduras y pérdida localizada de espesor. Por consiguiente, es necesario aplicar métodos de inspección no destructiva (END), de modo que se garantice la integridad del chasis y se eviten fallas que comprometan la seguridad del piloto.

Por otra parte, el diseño tubular facilita refuerzos en zonas críticas y adaptaciones a nuevas configuraciones. En consecuencia, mejora la funcionalidad y vida útil del chasis y al mismo tiempo, permite mantener altos estándares de seguridad y desempeño en competición.

Figura 19.- Características estructurales del chasis del Karting



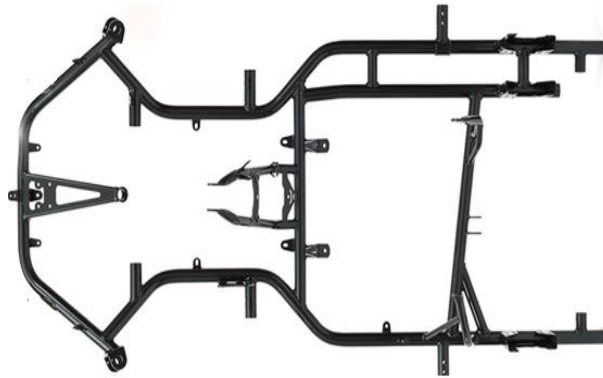
Nota. Tipologías de chasis y disposición estructural. Fuente: Nogurukart (2024)

2.2 Dimensionamiento del chasis del Karting N.º 252

Esto es importante en el análisis estructural de un karting (Fig. 20) puesto que define sus límites geométricos y, al mismo tiempo, asegura el cumplimiento de normas técnicas. En este caso, se analiza el chasis del Karting N.º 252 (Fig. 21) correspondiente a la categoría KF4, según el reglamento técnico de la CIK-FIA (Fig.22) (Fig. 23).

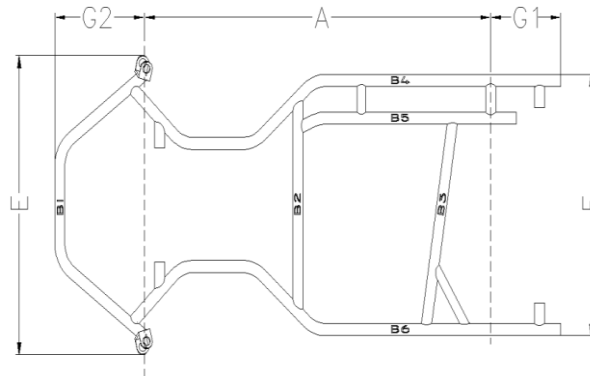
Por su parte, este chasis, homologado con el código 49/CH/14, pertenece a la marca Kosmic y es fabricado por Tony Kart srl. De igual manera, su diseño tubular combina rigidez, absorción de esfuerzos dinámicos y bajo peso, lo cual representa una ventaja clave para lograr alto rendimiento en competencia. Por tanto, estas cualidades lo hacen adecuado para escenarios de exigencia mecánica y velocidad (Fig. 24).

Figura 20.- Vista superior del chasis homologado sin accesorios



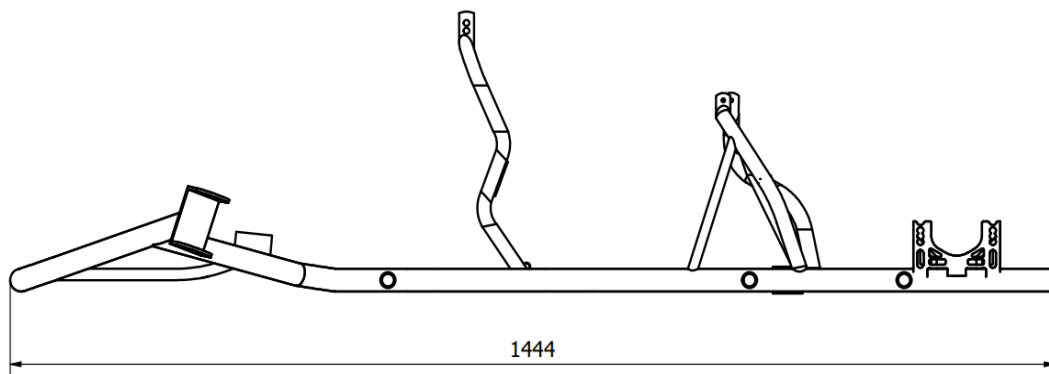
Nota. Estructura base del chasis Kosmic homologado. Fuente: Nogurukart (2024)

Figura 21.- Vista superior del chasis – Vista desde arriba

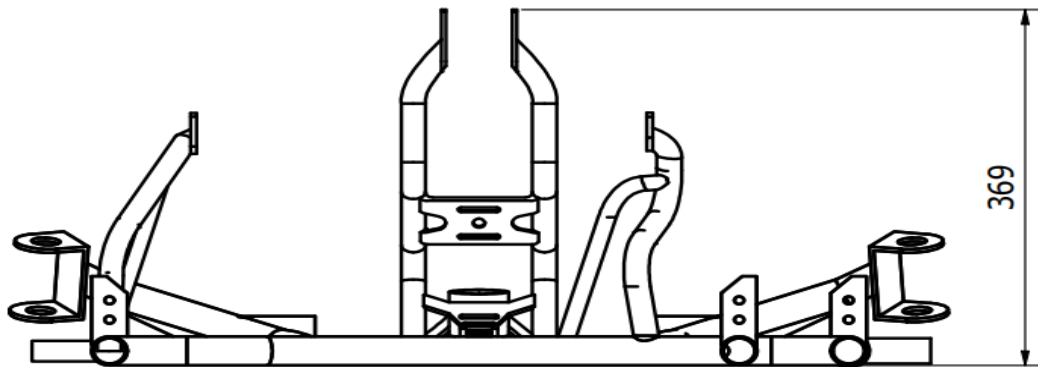


Nota. Dimensiones y geometría estructural del chasis Kosmic. Fuente: Kosmic Kart (2024)

Figura 22.- Vista lateral del chasis



Nota. Perfil estructural y longitud total del bastidor. Fuente: (Autores)

Figura 23.- Vista frontal del chasis

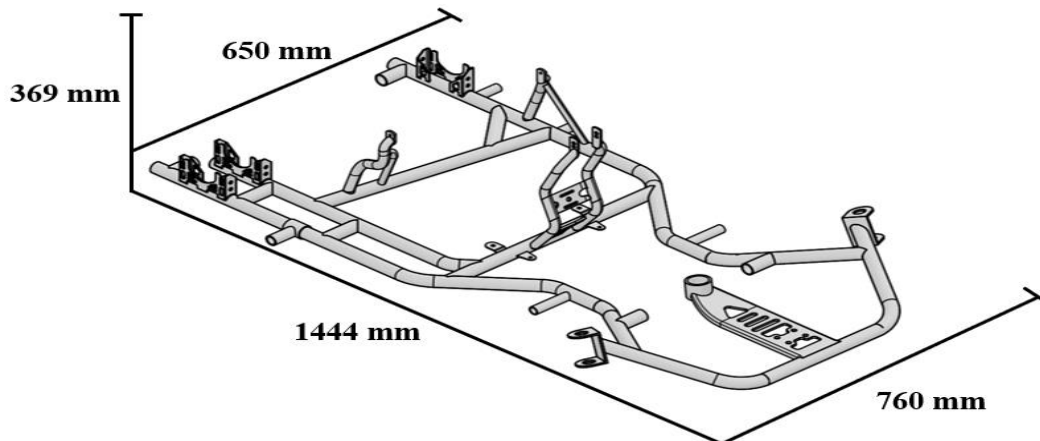
Nota. Altura y distribución estructural en el eje delantero. Fuente: (Autores)

Tabla 1.- Dimensiones y Especificaciones del Chasis del Karting

Parámetro	Datos	Tolerancias	Observaciones
Longitud total del chasis	1444 mm	—	Valor estimado
Ancho total (VS)	650 mm	—	Valor estimado
Altura máxima (VLI)	369 mm	—	Valor estimado
Distancia entre ejes (batalla)	1050 mm	+/- 10 mm	Normativa CIK-FIA
Ancho de vía delantera	725 mm	+/- 10 mm	Homologado
Ancho de vía trasera	638 mm	+/- 10 mm	Homologado
Voladizo delantero (G2)	265 mm	+/- 10 mm	Obligatorio
Voladizo trasero (G1)	210 mm	+/- 15 mm	Obligatorio
N.º de curvas en tubos $\varnothing > 21$ mm	9	—	Tubería principal
N.º de tubos con $\varnothing > 21$ mm	6	—	Longitud > 150 mm
Diámetro de tubos principales	30 mm	+/- 0.5 mm	10 tubos considerados
Tipo de estructura	Tubular en acero	—	Homologado por Tony Kart SRL

Nota. Valores del chasis homologado Kosmic Mercury R. Fuente: Kosmic Kart (2024)

Figura 24.- Dimensiones del chasis



Nota. Medidas referenciales del chasis tubular homologado. Fuente: (Autores)

2.3 Selección de técnicas END aplicables según normas ISO

Con el fin de evaluar el estado del chasis sin afectar su integridad, se seleccionaron métodos de ensayos no destructivos (END) conforme a la norma ISO 9712:2021. Esta norma establece los criterios para la cualificación y certificación del personal que realiza END, asegurando que cuenten con los conocimientos, habilidades y experiencia necesarios para detectar y evaluar defectos con fiabilidad (Fig. 25). De este modo, se garantiza la competencia técnica del inspector y la trazabilidad de los resultados obtenidos (ISO, 2021).

Por otra parte, la selección de las técnicas se basó en factores como la composición del material base (acero estructural de baja aleación), el tipo de uniones soldadas, la geometría tubular del chasis y la accesibilidad a las zonas a inspeccionar. De esta forma, se eligió métodos eficaces y, al mismo tiempo, adecuados a las condiciones reales del componente evaluado.

Entre las técnicas seleccionadas se incluyeron: líquidos penetrantes (PT), para defectos superficiales en materiales no porosos; partículas magnéticas (MT), para grietas en materiales ferromagnéticos; ultrasonido (UT), para fallas internas con ondas acústicas; y radiografía industrial (RT), para zonas críticas sin acceso directo.

Cada técnica aporta un enfoque distinto: los líquidos penetrantes actúan en superficies accesibles, el ultrasonido detecta fallas internas, las partículas magnéticas son eficaces en soldaduras y la radiografía se emplea cuando la forma o ubicación impiden otros métodos.

En consecuencia, la integración de estos métodos proporciona una cobertura completa de posibles fallas estructurales, tanto en la superficie como en el interior del material, lo cual permite tomar decisiones informadas respecto a la integridad y seguridad del chasis.

Figura 25.- Selección de técnicas END aplicables según normas ISO



Nota. Ensayo con equipo portátil conforme a ISO 9712. Fuente: Astar Legal (2021)

2.4 Control de calidad mediante END

2.1.1 Diagnóstico visual preliminar y zonas de interés

Antes de aplicar los END al chasis del Karting N.º 252, se realizó una inspección visual detallada para identificar zonas propensas a fallas estructurales. Esta evaluación se basó en la norma ISO 17637:2016, la cual establece criterios para inspeccionar soldaduras en estructuras metálicas, por lo tanto, garantiza un diagnóstico preciso (ISO, 2016).

Durante la inspección, se detectaron anomalías como residuos, óxidos y microfisuras, especialmente en las uniones del soporte del eje trasero y el alojamiento del asiento. Estas zonas, por su ubicación, están sometidas a tensiones repetidas; por lo tanto, son más propensas a la fatiga estructural (Callister & Rethwisch, 2020).

Se emplearon herramientas como galgas, luz artificial, flexómetro, lentes de aumento y boroscopios, que facilitaron la inspección incluso en zonas de difícil acceso (Fig. 26).

Si bien el diagnóstico visual tiene un alcance limitado, permitió identificar zonas críticas y, a su vez, planificar ensayos no destructivos más precisos, como ultrasonido, partículas magnéticas o radiografía, según la accesibilidad y naturaleza del defecto.

Además, se documentaron con fotografías para asegurar la trazabilidad del proceso. Este registro permitirá comparar el estado inicial del chasis con los resultados posteriores a los END, facilitando la evaluación de defectos y la toma de decisiones correctivas.

Figura 26.- Diagnóstico visual preliminar y zonas de interés



Nota. Inspección visual con galga para evaluación dimensional. Fuente: (Autores)

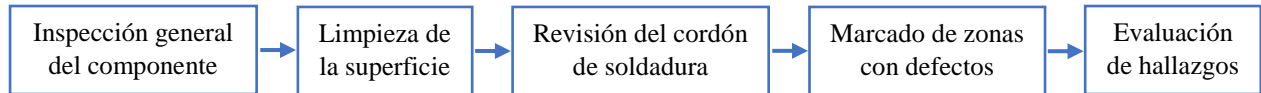
Tabla 2.- Ventajas y limitaciones del método de inspección visual (VT)

Ventajas	Limitaciones
- Bajo costo de implementación	- Solo detecta defectos superficiales
- Ejecución rápida y directa	- Limitado por la capacidad visual del inspector
- Compatible con diversas etapas del proceso	- Requiere iluminación adecuada
- Insensible a la geometría de la pieza	- Necesita acceso visual directo
- No depende de equipos sofisticados	- Exige personal calificado y con criterio técnico

Nota. Evaluación general del método visual aplicado a control de calidad. Fuente: Autores

El método de inspección visual (VT) se desarrolla en una serie de pasos secuenciales (Fig. 27) que aseguran una evaluación estructurada y confiable. Las etapas son:

Figura 27.- Etapas para la inspección VT



2.4.2 Aplicación de líquidos penetrantes (PT) en cordones de soldadura

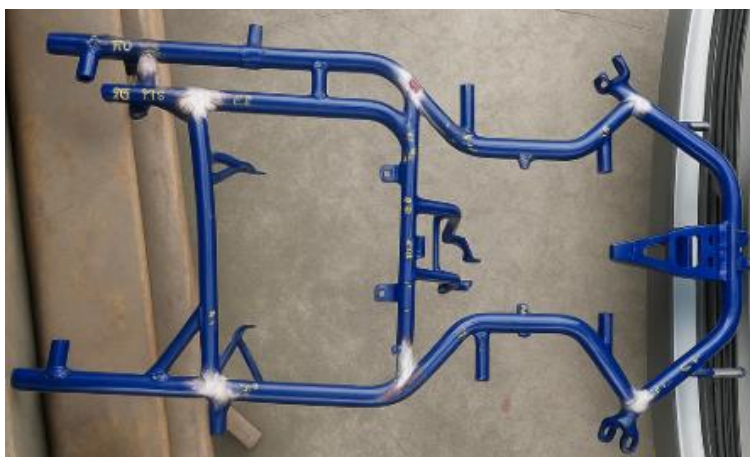
Para detectar discontinuidades abiertas en las uniones soldadas del chasis del Karting N.º 252, se utilizó el método de líquidos penetrantes (PT), de acuerdo con la norma ISO 3452-1:2021. Esta técnica, común en materiales no porosos, permite identificar fisuras, poros abiertos y faltas de fusión en la superficie del componente (ISO, 2021).

El procedimiento, por lo tanto, se enfocó en cordones de soldadura sometidos a mayores cargas, en particular en las uniones entre tubos longitudinales y refuerzos diagonales. Para ello, se limpió la superficie con solventes, se aplicó un penetrante rojo visible y se dejó actuar por 20 minutos, según la norma.

Después de ese tiempo, se retiró el exceso con paños y solvente, cuidando de que no se eliminara el penetrante en defectos. A continuación, se aplicó el revelador, el cual ayudó a que el penetrante emergiera a la superficie, generando indicaciones visibles (Fig. 28).

Durante la inspección, se observaron indicios rojizos en zonas críticas, como las soldaduras cercanas al soporte del eje trasero y en uniones diagonales. Estas señales, por indicaron microgrietas causadas por fatiga, debido a cargas cíclicas y vibraciones constantes.

Además, todo hallazgo fue documentado mediante fotografías, de modo que se integrara al análisis conjunto con los demás ensayos no destructivos aplicados al chasis.

Figura 28.- Aplicación de líquidos penetrantes en cordones de soldadura

Nota. Evaluación de discontinuidades superficiales en soldaduras. Fuente: (Autores)

Tabla 3.- Clasificación del método de inspección por PT

Tipo	Técnica	Pigmento	Método de Remoción
A	1		- Lavado con agua
	2	Fluorescente	- Post-emulsificable
	3		- Removible con solvente
B	1		- Lavado con agua
	2	Coloreado	- Post-emulsificable
	3		- Removible con solvente

Nota. Tipología del ensayo por PT según norma y aplicación. Fuente: (Autores)

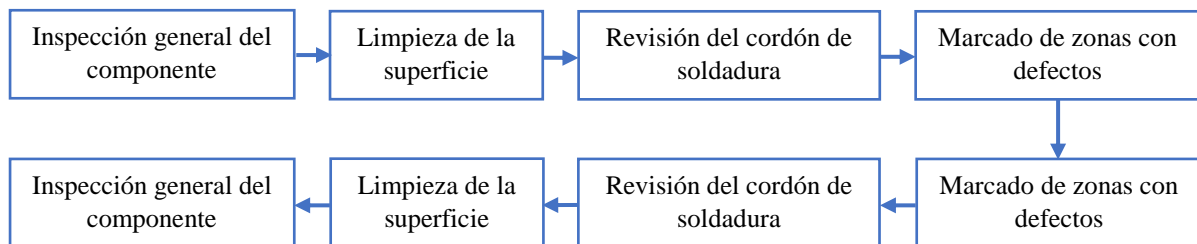
Tabla 4.- Ventajas y limitaciones del método de inspección por PT

Ventajas	Desventajas
- Detecta con precisión fallas abiertas en superficies de distintos materiales.	- Solo sirve para fallas superficiales y en materiales no porosos.
- Funciona en piezas con cualquier forma o geometría.	- No es efectivo en roscas, ranuras o zonas poco visibles.
- Es un método fácil de usar.	- Requiere personal capacitado con experiencia.
- No necesita equipos sofisticados.	- Es clave combinar bien revelador y penetrante para lograr resultados precisos.

Nota. Evaluación general del ensayo por líquidos penetrantes. Fuente: (Autores)

El método de inspección por líquidos penetrantes (PT) sigue una secuencia definida (Fig. 29), conforme a la norma ASTM E-165, la cual establece los pasos del proceso, los tipos de penetrantes y los criterios de aceptación para detectar defectos superficiales con fiabilidad.

Figura 29.- Etapas para la inspección PT



2.4.3 Inspección por partículas magnéticas (MT) en zonas ferromagnéticas

Para detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales en acero al carbono, se utilizó el método de partículas magnéticas (MT), de acuerdo con la norma ISO 9934-1:2016. Este método, eficaz en materiales ferromagnéticos, revela alteraciones en el flujo magnético provocadas por grietas, inclusiones u otras discontinuidades (ISO, 2016).

La técnica, por lo tanto, se aplicó en uniones soldadas y zonas con cargas repetitivas. Para ello, se usó un yugo electromagnético portátil con partículas fluorescentes en líquido portador, realizando la inspección bajo luz UV-A. Esta configuración, por consiguiente, permite detectar grietas perpendiculares al campo magnético, incluso en superficies irregulares.

Durante el ensayo, se detectaron indicios en zonas clave, como el soporte del motor y la caja de dirección. Ambas, por su función estructural, son críticas. La acumulación de partículas, por lo tanto, indica posible pérdida de continuidad y riesgo de falla (Fig. 30).

Además, el uso de partículas magnéticas complementó al de líquidos penetrantes, ya que permitió detectar defectos no visibles. De esta manera, ambos métodos ofrecieron una evaluación más precisa y, en consecuencia, respaldaron decisiones de reparación.

Figura 30.- Inspección por partículas magnéticas (MT) en zonas ferromagnéticas



Nota. Aplicación de yugo magnético para detección de grietas. Fuente: (Autores)

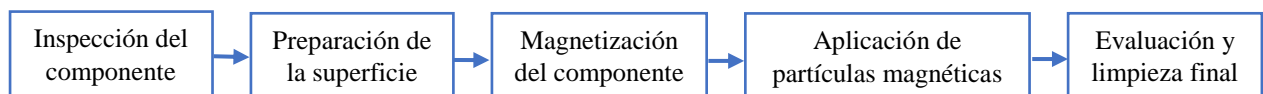
Tabla 5.- Ventajas y limitaciones del método de inspección por MT

Ventajas	Limitaciones
- Alta sensibilidad para detectar grietas superficiales y subsuperficiales	- Solo en materiales ferromagnéticos
- Rápida y eficaz en geometrías complejas	- Requiere desmagnetización posterior
- Indicaciones claras y visibles	- No funciona en superficies recubiertas o sucias
- Útil en producción y mantenimiento	- Necesita acceso directo al área
- Económica y de fácil aplicación	- Requiere energía y partículas específicas

Nota. Evaluación general del ensayo por partículas magnéticas. Fuente: (Autores)

El método de partículas magnéticas (MT) detecta grietas superficiales en materiales ferromagnéticos. Consiste en magnetizar la pieza y aplicar partículas que se acumulan en zonas con fallas, como se muestra en la (Fig. 31).

Figura 31.- Etapas para la inspección MT



2.4.4 Evaluación por ultrasonido (UT) de los tubos principales

La técnica de ultrasonido industrial (UT) se aplicó en los tubos principales del chasis del Karting N.º 252, con el fin de detectar defectos internos y evaluar el espesor frente a corrosión o desgaste. El procedimiento se realizó según la norma ISO 17640:2018, la cual establece los principios del ensayo ultrasónico en materiales metálicos (ISO, 2018).

Para ello, se empleó un equipo portátil con un transductor de contacto de 5 MHz, acoplado mediante gel ultrasónico para mejorar la transmisión de ondas longitudinales. Esta frecuencia, por lo tanto, fue seleccionada por su buena relación entre resolución de la señal y capacidad de penetración, adecuada para los espesores medios del chasis tubular (Fig. 32).

El análisis, de este modo, permitió medir el espesor residual en tubos longitudinales y transversales, verificando la uniformidad del material. También se aplicó la técnica de pulso-eco, la cual permitió detectar defectos internos como porosidades, inclusiones o laminaciones.

La mayoría de los espesores se mantuvieron dentro del rango nominal. Sin embargo, en el lateral inferior izquierdo se detectó una reducción que podría deberse a impacto o esfuerzos acumulados, generando riesgo de fatiga y debilitamiento estructural.

Figura 32.- Evaluación por ultrasonido (UT) de los tubos del chasis.



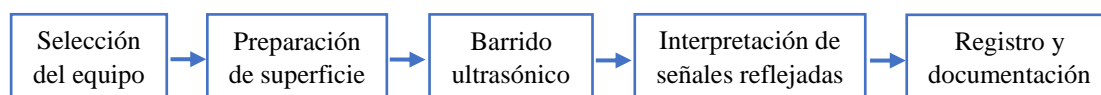
Nota. Medición de discontinuidades internas mediante UT portátil. Fuente: (Autores)

Tabla 6.- Ventajas y limitaciones del método de inspección por UT

Ventajas	Limitaciones
- Permite detectar discontinuidades internas	- Requiere superficie limpia y buen acoplamiento
- Alta precisión en la medición de espesores	- Técnica sensible a la orientación del defecto
- No genera daños en la pieza evaluada	- No apto para materiales rugosos o de geometría compleja
- Aplicable en materiales metálicos y no metálicos	- Requiere operador capacitado y equipo calibrado
- Resultados inmediatos y registrables	- Interpretación compleja en zonas con múltiples ecos

Nota. Evaluación general del ensayo por ultrasonido. Fuente: (Autores)

El método de ultrasonido (UT) se ejecuta mediante pasos secuenciales (Fig. 33) que aseguran una evaluación interna precisa y estructurada. Las etapas son:

Figura 33.- Etapas para la inspección UT

2.4.5 Evaluación complementaria con radiografía industrial (RT)

La radiografía industrial (RT) fue considerada como método complementario en la evaluación estructural del chasis del Karting N.º 252, especialmente en zonas de difícil acceso o con geometría compleja, donde otros ensayos no destructivos presentan limitaciones técnicas.

Aunque no se aplicó de forma extensiva debido a restricciones logísticas, operativas y de costos, se valoró su utilidad en futuras etapas del proceso de inspección. Este método, de acuerdo con la norma ISO 5579:2013, está diseñado para el control de calidad de soldaduras en materiales metálicos (ISO, 2013).

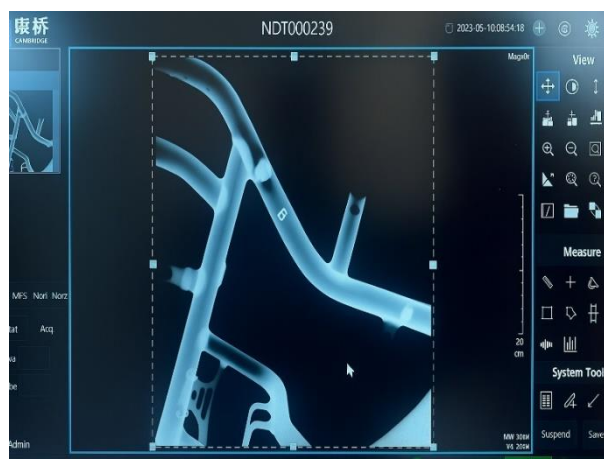
Esta técnica, por lo tanto, permite visualizar el interior de uniones soldadas y materiales sólidos, detectando poros, grietas internas, inclusiones y falta de fusión. A diferencia de otros métodos, no requiere contacto directo, lo que la hace ideal para estructuras ensambladas, como el anclaje de la columna de dirección o el interior del bastidor tubular.

Para su ejecución, se requiere equipo especializado, incluyendo fuentes de radiación ionizante, detectores digitales o placas radiográficas, así como ambientes controlados para garantizar la seguridad y la calidad de la imagen (Fig. 34).

La aplicación de normas de protección radiológica, junto con los requerimientos de transporte del equipo, por consiguiente, limitó su uso inmediato en campo. Sin embargo, se concluyó que la radiografía representa una opción válida para verificar componentes críticos, sobre todo en etapas de rediseño o producción en serie que exigen alta integridad estructural.

Además, se propuso su futura integración para inspeccionar soldaduras internas que no pueden ser evaluadas con líquidos penetrantes o partículas magnéticas, de modo que se obtenga una visión más completa del estado del material bajo condiciones reales de operación.

Figura 34.- Evaluación con radiografía industrial



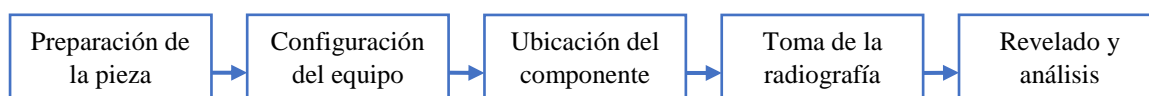
Nota. Control interno de soldaduras mediante radiografía digital. Fuente: (Autores)

Tabla 7.- Ventajas y limitaciones del método de inspección por RT

Ventajas	Limitaciones
- Permite detectar discontinuidades internas y superficiales	- Alto costo operativo y de equipos
- No requiere acceso a ambas caras del componente	- Requiere estrictas medidas de protección radiológica
- Registro permanente de los resultados (película o digital)	- No apto para piezas con geometrías muy complejas o paredes muy gruesas
- Alta precisión en la detección de poros, grietas e inclusiones	- Lento en comparación con otros métodos y requiere preparación previa
- Evaluación posible sin desmontar componentes ensamblados	- Necesita personal certificado y condiciones controladas

Nota. Evaluación general del ensayo por radiografía industrial. Fuente: (Autores)

El método radiográfico (RT) sigue etapas ordenadas (Fig. 35) que permiten detectar defectos internos con precisión.

Figura 35.- Etapas para la inspección RT

2.5 Resultados de los ensayos END aplicados

Los resultados de los distintos ensayos no destructivos (END) aplicados al chasis se consolidaron en un mapeo estructural, el cual permitió identificar zonas con discontinuidades, clasificadas en tres niveles de severidad: críticas, moderadas y leves, según su ubicación, tipo y posible impacto en el comportamiento estructural durante la operación.

Del total de indicaciones, el 65 % correspondió a discontinuidades superficiales detectadas mediante líquidos penetrantes (PT) y partículas magnéticas (MT). Estas técnicas, por lo tanto, fueron efectivas para hallar fisuras abiertas y grietas poco profundas en acero al carbono, ubicadas principalmente en soldaduras, refuerzos y uniones del chasis.

El 25 % de los defectos se localizó en la raíz de las soldaduras, lo que indica posibles fallas por falta de fusión o poros internos. Por su ubicación oculta, estos defectos son críticos y pueden derivar en grietas por fatiga.

Por otro lado, el 10 % restante se asoció con pérdidas de espesor detectadas por ultrasonido (UT). Las mediciones, en consecuencia, mostraron reducciones notables, especialmente en la parte inferior izquierda del chasis, posiblemente por impactos, corrosión localizada o tensiones residuales acumuladas.

2.6 Identificación de zonas críticas para refuerzo estructural

A partir del análisis realizado, se identificaron zonas del chasis del Karting N.º 252 con deterioro estructural crítico, afectando el desempeño y la seguridad del piloto. Estas presentaron fisuras, pérdida de espesor y concentraciones de esfuerzo.

Las zonas más comprometidas fueron las uniones en T entre tubos, donde la geometría concentra esfuerzos y favorece microgrietas. También se hallaron daños por impacto y fatiga en el soporte del eje trasero y la base del asiento.

El patrón de daño sugiere que las fallas se deben a sollicitaciones cíclicas en curvas y vibraciones propias de la competencia, generando tensiones alternantes que debilitan las soldaduras, especialmente donde convergen varios cordones.

Estudios indican que las estructuras tubulares soldadas son propensas a grietas en zonas con geometría compleja o cargas concentradas (Kassapoglou, 2010). En el chasis evaluado se confirmó esta tendencia, por lo que se recomienda reforzar o rediseñar las uniones.

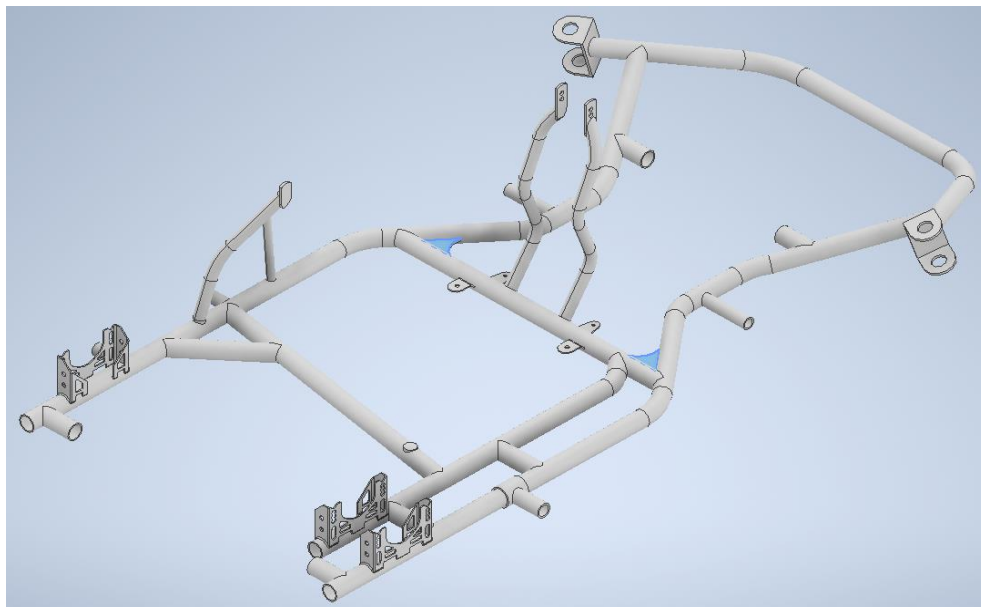
Los resultados obtenidos, por consiguiente, ofrecen una visión clara del estado estructural actual y, a la vez, aportan criterios técnicos para definir mejoras que aumenten la resistencia a la fatiga y extiendan la vida útil del chasis.

2.7 Propuesta de rediseño o refuerzo estructural del chasis

Con el fin de mejorar la resistencia estructural del chasis del Karting N.º 252 frente a cargas dinámicas, impactos laterales y colisiones frontales, se plantea un rediseño que incorpora cartelas trianguladas en puntos críticos previamente identificados mediante ensayos no destructivos como zonas de alta concentración de tensiones y fatiga.

Las cartelas se ubican en las uniones donde convergen tubos longitudinales, transversales y diagonales (Fig. 36), ya que son zonas sometidas a altos esfuerzos por torsión durante curvas cerradas y maniobras bruscas. El refuerzo triangular permite distribuir mejor las cargas, evitar deformaciones y aumentar la rigidez sin añadir peso excesivo.

Figura 36.- Refuerzos triangulados en zonas críticas del chasis del Karting N.º 252



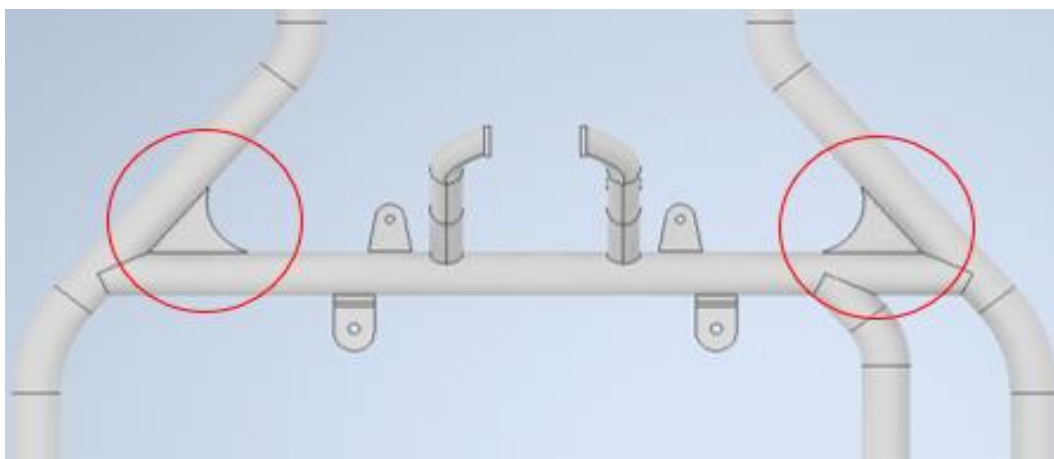
Nota. Cartelas trianguladas añadidas en puntos estructurales críticos, con el fin de mejorar la rigidez y distribuir mejor las cargas. Fuente: (Autores)

El rediseño incorpora cartelas de 5 mm de espesor, elaboradas en acero AISI 1018, el mismo material utilizado en la estructura principal del chasis, lo que garantiza compatibilidad en cuanto a propiedades mecánicas y soldabilidad.

Estas cartelas se colocan en la parte central del bastidor, en los nodos donde se concentran mayores esfuerzos de tracción y torsión durante la operación del karting (Fig. 37).

La intervención se ha diseñado de forma que no modifica las dimensiones externas del vehículo ni interfiere con su ensamblaje o funcionalidad, manteniendo la geometría original y asegurando su desempeño dinámico.

Figura 37.- Detalle del rediseño estructural en la zona central con cartelas



Nota. Se incorporan cartelas en la parte central del chasis para reforzar los puntos de mayor concentración de carga. Fuente: (Autores)

Tabla 8.- Características propuestas del refuerzo estructural del chasis

Tipo de refuerzo	Cartelas trianguladas
Ubicación	Nodos estructurales en la zona central del chasis
Espesor de cartelas	5 mm
Material utilizado	Acero al carbono AISI 1018
Tipo de tubo del chasis	Acero estructurado, sección circular
Método de unión	Soldadura por arco (GMAW o SMAW)
Compatibilidad geométrica	Sí, no modifica las dimensiones originales
Compatibilidad funcional	Sí, no interfiere con dirección, transmisión ni frenos
Aumento previsto	Mayor rigidez y resistencia en zonas críticas

Nota. Refuerzos incorporados sin afectar la estructura ni función. Fuente: (Autores)

3. OBJETIVO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE APTITUD ESTRUCTURAL DEL CHASIS DEL KARTING N.º 252 PARA USO EN COMPETENCIA

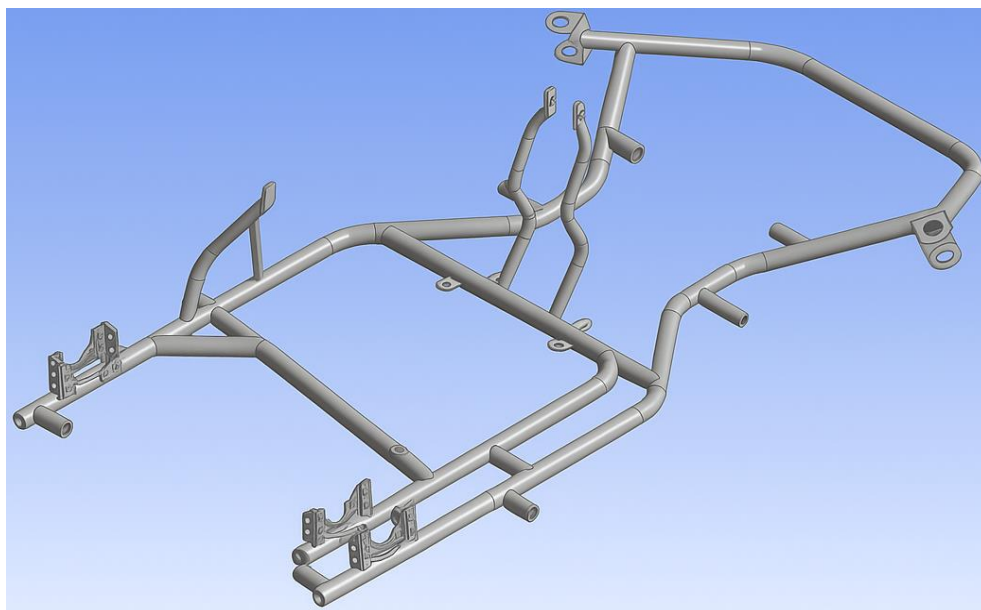
En este capítulo se presentan los resultados del análisis estructural del chasis del Karting N.º 252. El objetivo es determinar si la estructura es adecuada para competencias, considerando las altas exigencias mecánicas a las que se somete durante una carrera.

Para ello, se analizan los resultados de simulaciones por el método de elementos finitos (Fig. 38) y de ensayos no destructivos, como inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonido y radiografía, que permiten detectar defectos sin dañar el material.

También se evalúa el comportamiento del chasis frente a cargas de flexión y torsión, simulando condiciones reales de competencia, para verificar su resistencia y rigidez estructural. Este análisis permitirá concluir si el chasis cumple con los requisitos técnicos y de seguridad para ser usado en pista. En caso contrario, se identificarán las mejoras necesarias.

El flujograma a seguir para realizar un análisis FEA se muestra en la Figura 39.

Figura 38.- Modelo CAD del chasis del Karting N.º 252 en ANSYS



Nota. Modelo a escala usado para simular cargas y ubicar zonas críticas. Fuente: (Autores)

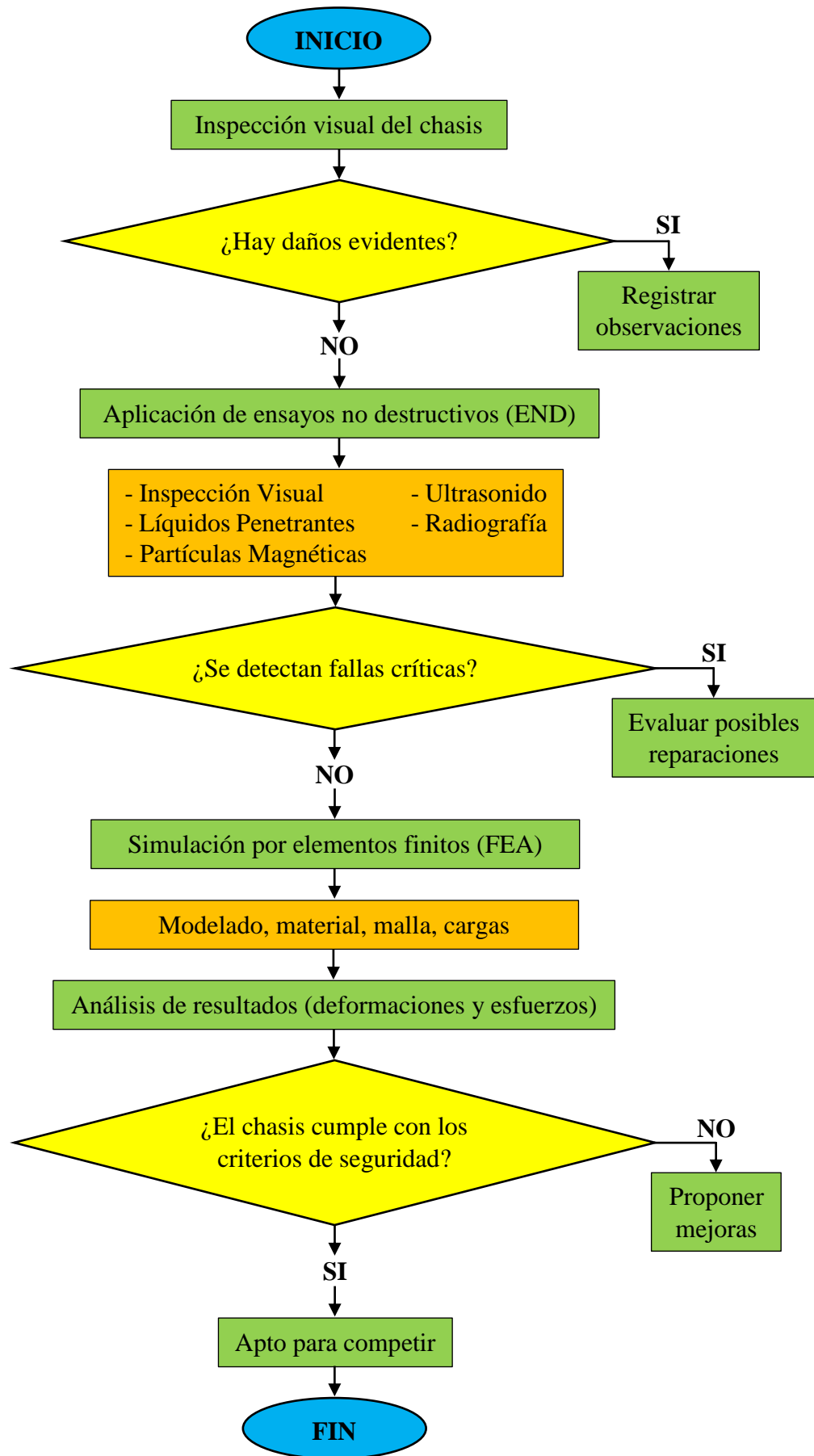


Figura 39.- Etapas de validación estructural del chasis en competencia. Fuente: (Autores)

3.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

3.1.1 Inspección Visual (VT) de Juntas Soldadas del Chasis

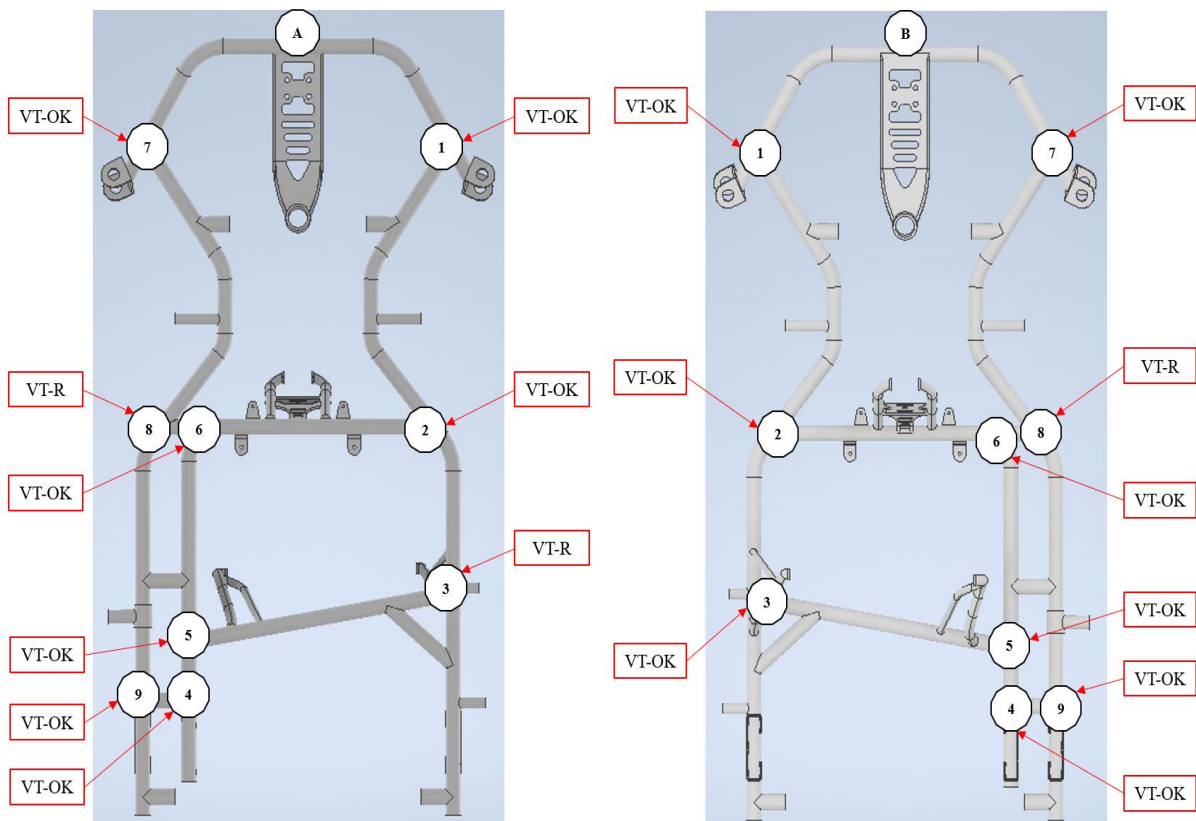
La evaluación fue realizada siguiendo los lineamientos de ISO 17637. Esta norma establece los criterios aceptables para estructuras soldadas en términos de apariencia visual, continuidad del cordón, uniformidad del perfil y ausencia de defectos abiertos como:

- Fisuras superficiales.
- Exceso de refuerzo o convexidad extrema.
- Porosidad agrupada o extendida.
- Mordeduras o socavados profundos.
- Falta de fusión aparente.

Cada junta fue clasificada en dos categorías (Fig. 40).

- **VT-OK:** No se evidencian defectos visuales relevantes, el cordón es continuo y uniforme.
- **VT-R:** Se detectan defectos visibles que requieren evaluación adicional o intervención.

Figura 40.- Clasificación de juntas soldadas del chasis según inspección VT-OK y VT-R



Nota. VT-R con defectos visibles; VT-OK sin irregularidades. Fuente: (Autores)

Tabla 9.- Resultados de inspección visual por vista del chasis (VT)

Vista del Chasis	Total Juntas	VT-OK	VT-R
Inferior (A)	9	7	2
Superior (B)	9	8	1
Total	18	15	3

Nota. Juntas aceptadas y rechazadas tras ensayo. Fuente: (Autores)

Tabla 10.- Juntas con defectos detectados en inspección visual (VT)

N.º Junta	Vista	Código	Tipo de Defecto	Descripción
3	Inferior	A-3	P (Porosidad)	Presencia de cavidades abiertas en el cordón.
8	Inferior	A-8	P - IF (Porosidad – Falla fusión)	Discontinuidad lineal en la unión crítica.
8	Superior	B-8	P - IF (Porosidad – Falla fusión)	Grieta activa en la zona de conexión trasera.

Nota. Registro de porosidades y fisuras visibles en el chasis. Fuente: (Autores)

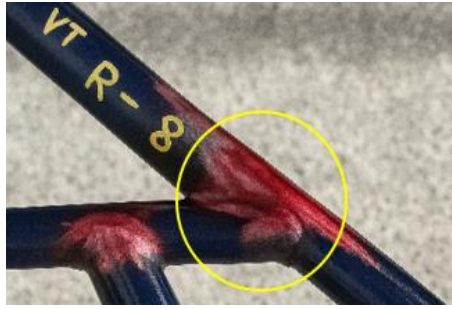
Figura 41.- Junta A-3 (inferior) con porosidad agrupada detectada (VT-R)

Nota. Presencia de microporos visibles sobre la superficie de la soldadura. Fuente: (Autores)

Figura 42.- Junta A-8 (inferior) con porosidad y falta de fusión evidenciada (VT-R)

Nota. Porosidad visible en zona de carga, asociada a falta de fusión. Fuente: (Autores)

Figura 43.- Junta B-8 (superior) con indicios de porosidad y falla de fusión (VT-R)



Nota. Defecto combinado evidenciado visualmente en la zona de asiento. Fuente: (Autores)

Análisis e Interpretación

La norma ISO 17637 señala que fisuras, poros agrupados, mordeduras o falta de fusión visibles son defectos críticos, ya que comprometen la estructura ante esfuerzos cíclicos.

- Resultados:

- La porosidad en la junta A-3, aunque leve, se ubica en un cordón sometido a carga, pudiendo iniciar grietas por fatiga (Fig. 41).
- Las fisuras y porosidad en las juntas A-8 y B-8 se encuentran en zonas clave del chasis, lo que representa un riesgo ante torsión y flexión durante la conducción (Fig. 42) (Fig. 43).
- Estas discontinuidades en puntos estructurales serán analizadas en ANSYS para verificar si el chasis cumple con los requisitos mínimos de seguridad en competencia.

Apreciación final de la inspección visual

La inspección visual del chasis del Karting N.º 252 permitió identificar discontinuidades críticas en zonas estructurales clave, como fisuras y porosidad en las juntas A-8, B-8 y A-3. Estos defectos comprometen la integridad del chasis ante cargas dinámicas y pueden generar fallas por fatiga. Por lo tanto, hasta que no se apliquen correcciones o se verifique su resistencia mediante ensayos complementarios y simulaciones, el chasis no puede considerarse seguro ni apto para competencia.

3.1.2 Inspección por Líquidos Penetrantes (PT) en Juntas Soldadas del Chasis

La inspección se realizó según la norma ISO 3452-1, que establece el método para detectar discontinuidades abiertas en superficies metálicas. Se aplicó como complemento a la inspección visual, especialmente en áreas con posible presencia de defectos no visibles.

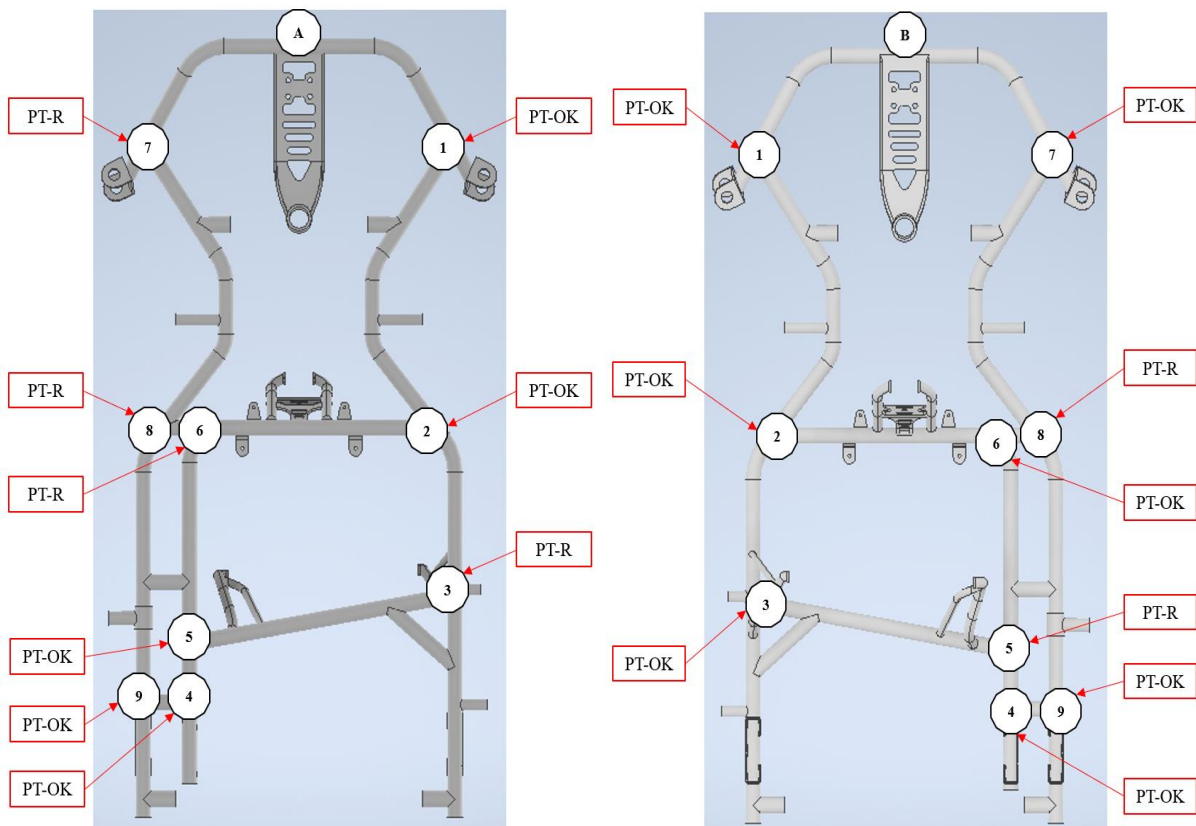
Los defectos detectables mediante esta técnica incluyen:

- Fisuras superficiales abiertas.
- Mordeduras, microgrietas o socavados.
- Porosidad abierta o agrupada.
- Falta de fusión superficial aparente.

Cada junta inspeccionada fue clasificada en dos categorías (Fig. 44).

- **PT-OK:** No se detectan defectos abiertos; la superficie está libre de discontinuidades.
- **PT-R:** Se identifican indicios que requieren evaluación complementaria o reparación.

Figura 44.- Clasificación de juntas soldadas del chasis según inspección PT-OK y PT-R



Nota. PT-R con indicios de discontinuidad; PT-OK sin defectos abiertos. Fuente: (Autores)

Tabla 11.- Resultados de inspección por líquidos penetrantes (PT)

Vista del Chasis	Total Juntas	PT-OK	PT-R
Inferior (A)	9	5	4
Superior (B)	9	7	2
Total	18	12	6

Nota. Clasificación de juntas aprobadas y rechazadas tras ensayo. Fuente: (Autores)

Tabla 12.- Juntas con defectos detectados por líquidos penetrantes (PT)

N.º Junta	Vista	Código	Tipo de Defecto	Descripción
3	Inferior	A-3	P (Porosidad)	Microporos agrupados abiertos al exterior.
6	Inferior	A-6	M (Mordedura)	Depresión en el cordón por falta de material.
7	Inferior	A-7	P (Porosidad)	Poros superficiales aislados detectados por penetración.
8	Inferior	A-8	P - IF (Porosidad – Falla Fusión)	Indicación mixta por porosidad y unión incompleta.
5	Superior	B-5	M (Mordedura)	Hundido localizado junto al refuerzo.
8	Superior	B-8	P - IF (Porosidad – Falla Fusión)	Fisura con porosidad y falta de fusión confirmada.

Nota. Registro de defectos detectados visibles en el chasis. Fuente: (Autores)

Figura 45.- Junta A-3 (inferior) con porosidad detectada por líquidos penetrantes (PT)

Nota. Indicios de microporosidad identificados durante la inspección. Fuente: (Autores)

Figura 46.- Junta A-6 (inferior) con mordedura detectada por líquidos penetrantes (PT)



Nota. Hundimiento en el cordón de soldadura por falta de material. Fuente: (Autores)

Figura 47.- Junta A-7 (inferior) con poros detectados mediante líquidos penetrantes (PT)



Nota. Detección de poros superficiales aislados durante la inspección. Fuente: (Autores)

Figura 48.- Junta A-8 (inferior) con indicios de porosidad y falta de fusión detectados



Nota. Revelado de fisura con poros y unión incompleta. Fuente: (Autores)

Figura 49.- Junta B-5 (superior) con mordedura detectada mediante PT



Nota. Hundimiento localizado evidenciado con revelador. Fuente: (Autores)

Figura 50.- Junta B-8 (superior) con indicios de porosidad y falta de fusión (PT)



Nota. Fisura expuesta por penetrante en zona con defectos mixtos. Fuente: (Autores)

Análisis e Interpretación

Según la norma ISO 3452-1, toda indicación visible con revelador debe considerarse una discontinuidad crítica. En esta inspección se detectaron defectos en seis juntas del chasis (A-3, A-6, A-7, A-8, B-5 y B-8), principalmente por porosidad, mordeduras y falta de fusión.

- Resultados:

- La junta A-7 presentó poros aislados de baja severidad, por lo que no representa un riesgo estructural. En cambio, las juntas A-6 y B-5 mostraron mordeduras por falta de material en el cordón, lo que puede concentrar tensiones y generar fallas (Fig. 46) (Fig. 47) (Fig. 49).

- Las juntas A-3, A-8 y B-8 mostraron porosidad severa; en A-3 fue agrupada y en A-8 y B-8 se combinó con falta de fusión. Las indicaciones mixtas (P-IF) en A-8 y B-8 son críticas por comprometer uniones cargadas (Fig. 45) (Fig. 48) (Fig. 50).
- Por ubicarse en zonas críticas, las discontinuidades se incluyen en el análisis FEA con ANSYS para evaluar su efecto en la resistencia del chasis.

Apreciación final de la inspección por partículas magnéticas

La inspección confirmó defectos críticos en las juntas A-3, A-6, A-7, A-8, B-5 y B-8, como fisuras, porosidad agrupada y falta de fusión en zonas estructurales del chasis. La junta A-7, aunque con poros menos severos, también compromete la integridad por su ubicación.

Estos resultados refuerzan lo observado en la inspección visual y señalan áreas que requieren intervención. Por lo tanto, el chasis del Karting N.º 252 no es apto para competencia hasta corregir los defectos y validar su integridad con nuevos ensayos no destructivos.

3.1.3 Inspección por Partículas Magnéticas (MT) de Juntas Soldadas del Chasis

La evaluación se realizó según la norma ISO 9934-1, que establece los procedimientos para detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos mediante partículas magnéticas.

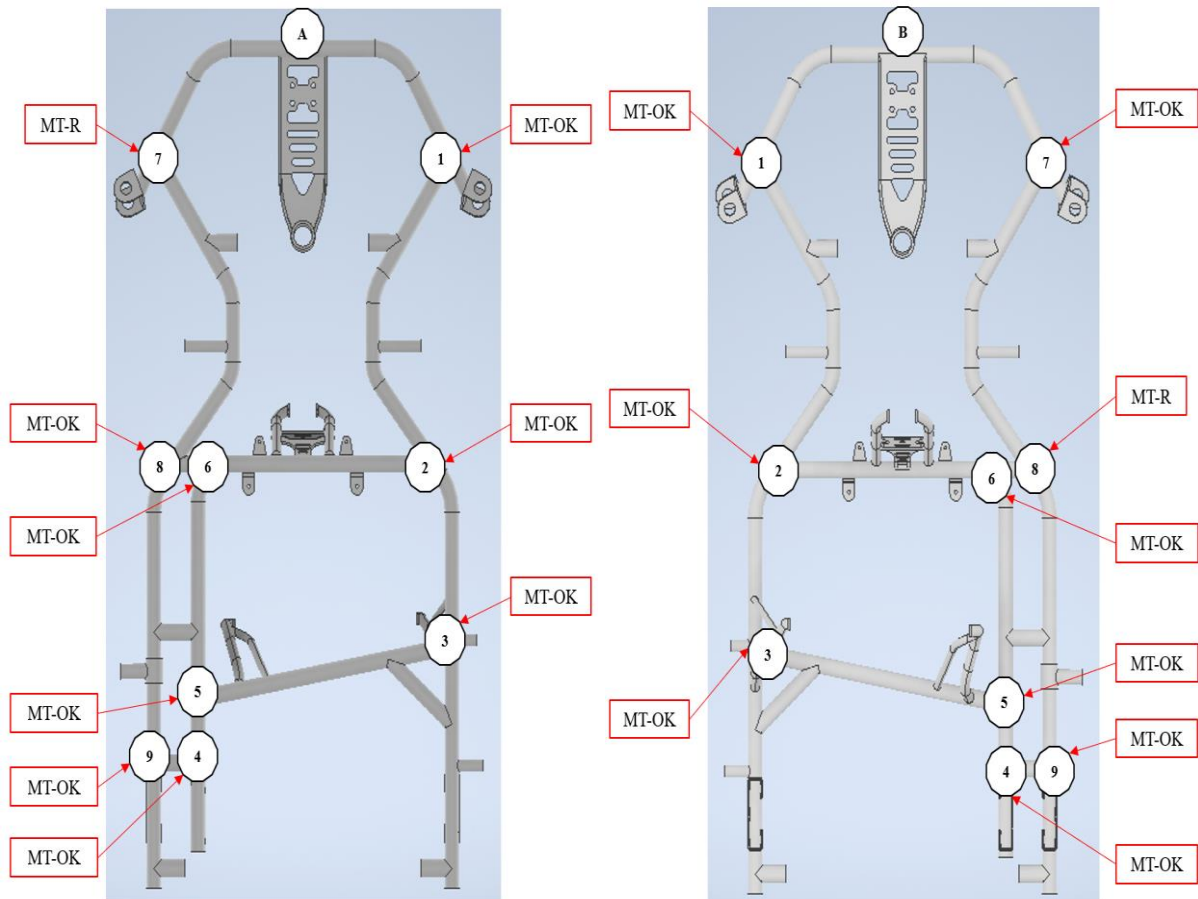
Esta técnica permite evidenciar defectos no visibles en la inspección visual o por líquidos penetrantes, donde se aplicó sobre las juntas identificadas con posibles anomalías estructurales en ensayos anteriores, enfocándose en detectar:

- Fisuras longitudinales o transversales.
- Porosidad subsuperficial agrupada.
- Zonas de falta de fusión entre material base y metal de aporte.

Cada junta fue clasificada en dos categorías (Fig. 51).

- **MT-OK:** No se evidencian indicaciones relevantes tras la aplicación del método.
- **MT-R:** Se detectan indicaciones magnéticas compatibles con discontinuidades críticas.

Figura 51.- Clasificación de juntas soldadas del chasis según inspección MT-OK y MT-R



MT-R con indicios de defecto; MT-OK sin anomalías. Fuente: (Autores)

Tabla 13.- Resultados de inspección por partículas magnéticas (MT)

Vista del Chasis	Total Juntas	VT-OK	VT-R
Inferior (A)	9	8	1
Superior (B)	9	8	1
Total	18	16	2

Nota. Registro de juntas aprobadas y no conformes tras el ensayo. Fuente: (Autores)

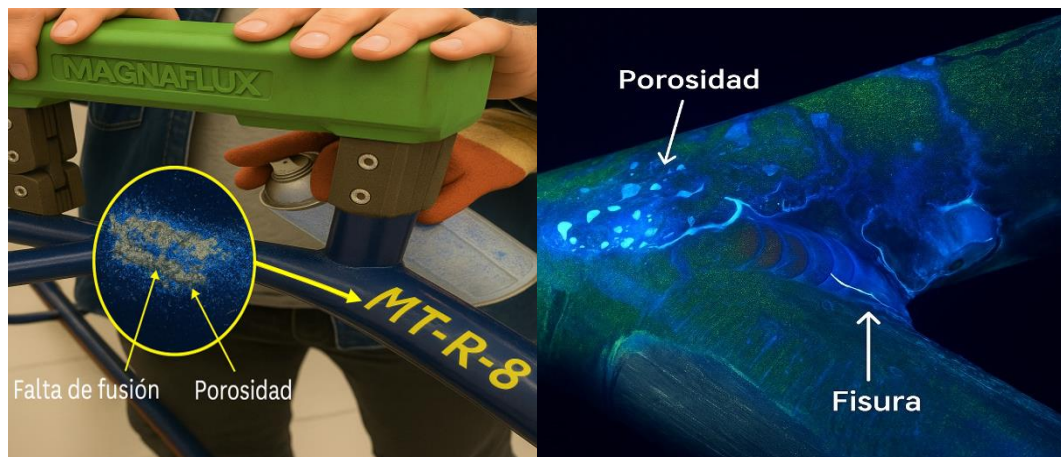
Tabla 14.- Juntas con defectos detectados por partículas magnéticas (MT)

N.º Junta	Vista	Código	Tipo de Defecto	Descripción
7	Inferior	A-7	P (Porosidad)	Acumulación puntual de poros abiertos en zona crítica.
8	Superior	B-8	P - IF (Porosidad – Falta fusión)	Grieta alineada con el eje del tubo, asociada a falta de unión metálica.

Nota. Fisuras identificadas en juntas críticas tras ensayo magnético. Fuente: (Autores)

Figura 52.- Inspección con yugo magnético en la junta A-7 (inferior)

Nota. Presencia de poros y fisura superficial por indicación lineal. Fuente: (Autores)

Figura 53.- Aplicación de partículas sobre junta B-8 (superior) con yugo magnético

Nota. Falta de fusión y porosidad por fuerte indicación magnética. Fuente: (Autores)

Análisis e Interpretación

Según la norma ISO 9934-1, toda indicación lineal detectada por partículas magnéticas debe considerarse como una posible discontinuidad relevante.

- Resultados:

En la junta A-7, se detectó porosidad localizada en una zona crítica, lo que puede generar fallas por fatiga ante cargas repetitivas (Fig. 52). En la junta B-8 (vista superior), se identificó una grieta longitudinal junto con poros y falta de fusión, lo que representa un alto riesgo estructural al encontrarse en una unión trasera sometida a grandes esfuerzos (Fig. 53).

La detección de estos defectos mediante MT confirma su gravedad y la necesidad de intervenir antes de que el chasis entre en operación. Estas zonas deben incluirse en el análisis estructural en ANSYS para evaluar su impacto en la seguridad del bastidor.

Apreciación final de la inspección por partículas magnéticas

La inspección MT confirmó fisuras activas en las juntas A-7 y B-8, ubicadas en zonas estructurales clave del chasis. Estas discontinuidades, si no se corrigen, pueden crecer bajo cargas dinámicas y comprometer la integridad del bastidor.

El método permitió validar defectos detectados en inspecciones previas y descartar indicios no relevantes, mostrando alta efectividad en la evaluación estructural.

Dado que las fisuras se encuentran en puntos críticos, el chasis no es apto para competencia hasta que se repare con procesos certificados, se validen los resultados con nuevos ensayos y se analice su comportamiento estructural mediante simulación.

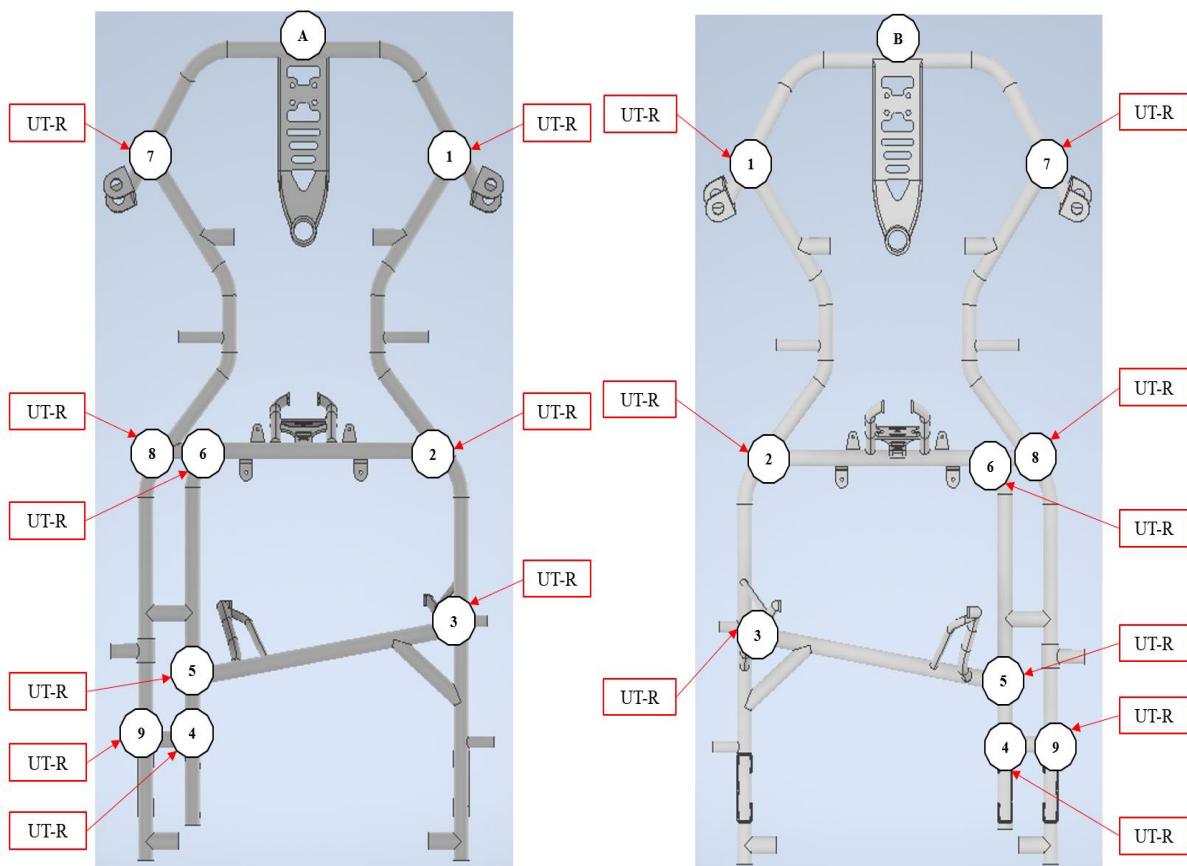
3.1.4 Inspección por Ultrasonido (UT) de Juntas Soldadas del Chasis

La evaluación se realizó según la norma ISO 17640, que define los procedimientos para detectar discontinuidades internas en soldaduras mediante ultrasonido.

Esta técnica permite detectar defectos no visibles, aplicándose en juntas con anomalías detectadas en inspecciones previas (VT, PT y MT), para identificar:

- Falla de fusión entre el material base y el metal de aporte.
 - Inclusiones internas o grietas subsuperficiales.
- Cada junta fue clasificada en dos categorías (Fig. 54)
- **UT-OK:** No se identifican indicios relevantes tras la inspección.
 - **UT-R:** Se detectan ecos que indican posibles discontinuidades internas y requieren análisis.

Figura 54.- Clasificación de juntas soldadas del chasis según inspección UT-OK y UT-R



Nota. UT-R con señales internas sospechosas. Fuente: (Autores)

Tabla 15.- Inspección ultrasónica – Vista inferior del chasis

N.º Junta	Vista	Código	Tipo de Defecto	Descripción
1	Inferior	A-1	FF (Falla de Fusión)	Discontinuidad interna detectada, sin unión completa entre materiales.
2	Inferior	A-2	FF (Falla de Fusión)	Zona con señal de eco, evidencia de falta de penetración.
3	Inferior	A-3	FF (Falla de Fusión)	Fusión incompleta detectada por eco repetido en la interfaz.
4	Inferior	A-4	FF (Falla de Fusión)	Interrupción acústica interna en el cordón.
5	Inferior	A-5	FF (Falla de Fusión)	Atención alta del haz ultrasónico, fusión deficiente.
6	Inferior	A-6	FF (Falla de Fusión)	Unión incompleta evidenciada por pérdida de señal.
7	Inferior	A-7	FF (Falla de Fusión)	Reflexión parcial, sin acoplamiento efectivo del cordón.
8	Inferior	A-8	FF (Falla de Fusión)	Indicación persistente en zona crítica de soldadura.
9	Inferior	A-9	FF (Falla de Fusión)	Señal discontinua, sin continuidad estructural.

Nota. Fallas internas de fusión detectadas en uniones críticas mediante UT. Fuente: (Autores)

Tabla 16.- Inspección ultrasónica – Vista superior del chasis

N.º Junta	Vista	Código	Tipo de Defecto	Descripción
1	Superior	B-1	FF (Falla de Fusión)	Fusión incompleta en junta frontal del chasis.
2	Superior	B-2	FF (Falla de Fusión)	Reflejo irregular en zona de empalme lateral.
3	Superior	B-3	FF (Falla de Fusión)	Discontinuidad localizada por rebote acústico anómalo.
4	Superior	B-4	FF (Falla de Fusión)	Falta de continuidad interna entre materiales unidos.
5	Superior	B-5	FF (Falla de Fusión)	Defecto detectado en línea de soldadura del refuerzo.
6	Superior	B-6	FF (Falla de Fusión)	Eco débil en sección media, indicio de fusión parcial.
7	Superior	B-7	FF (Falla de Fusión)	Acoplamiento deficiente en intersección superior.
8	Superior	B-8	FF (Falla de Fusión)	Defecto estructural en soldadura lateral superior.
9	Superior	B-9	FF (Falla de Fusión)	Discontinuidad prolongada confirmada por señal directa.

Nota. Defectos internos de fusión detectados por UT del chasis. Fuente: (Autores)

Figura 55.- Señal ultrasónica en A-1 y B-1 con indicio de unión incompleta



Nota. Eco intenso indica unión incompleta. Fuente: (Autores)

Figura 56.- Registro en A-2 y B-2 con eco indicativo de falta de penetración



Nota. Señal refleja falta de penetración. Fuente: (Autores)

Figura 57.- Registro en A-3 y B-3 con indicios de fusión incompleta



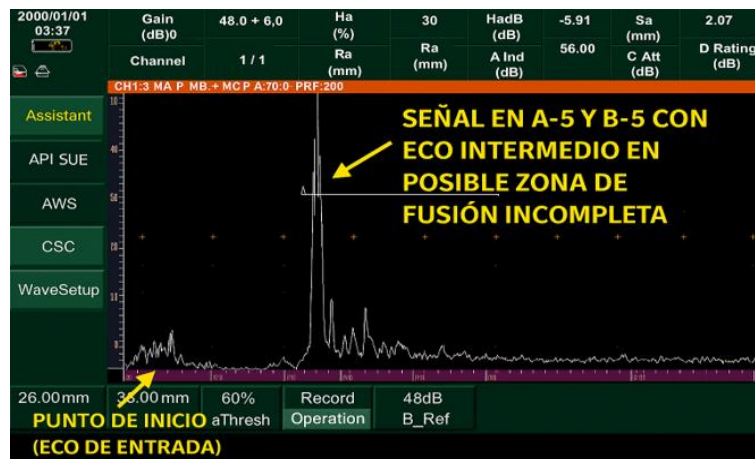
Nota. Señal reflejada que indica posible falta de unión interna. Fuente: (Autores)

Figura 58.- Señales en A-4 y B-4 de baja intensidad en la junta evaluada (UT)



Nota. Ecos débiles, con posible fusión parcial o material poco homogéneo. Fuente: (Autores)

Figura 59.- Señal en A-5 y B-5 con eco intermedio en posible zona de fusión incompleta



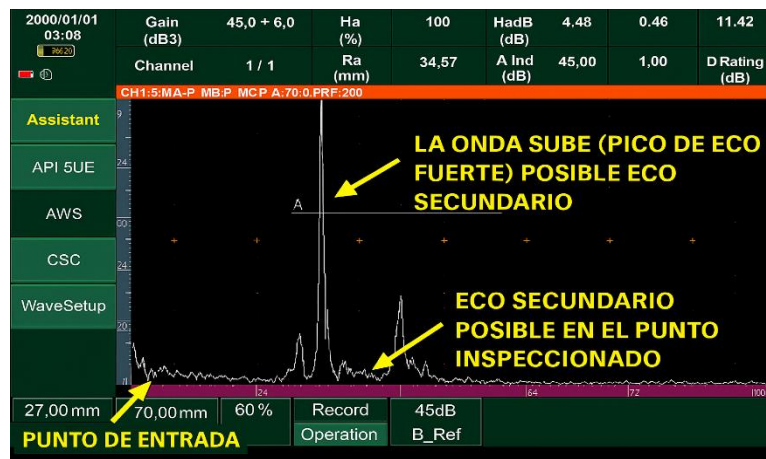
Nota. Respuesta acústica irregular indicando defecto en la unión. Fuente: (Autores)

Figura 60.- Registro en A-6 y B-6 con doble eco en zona de inspección estructural



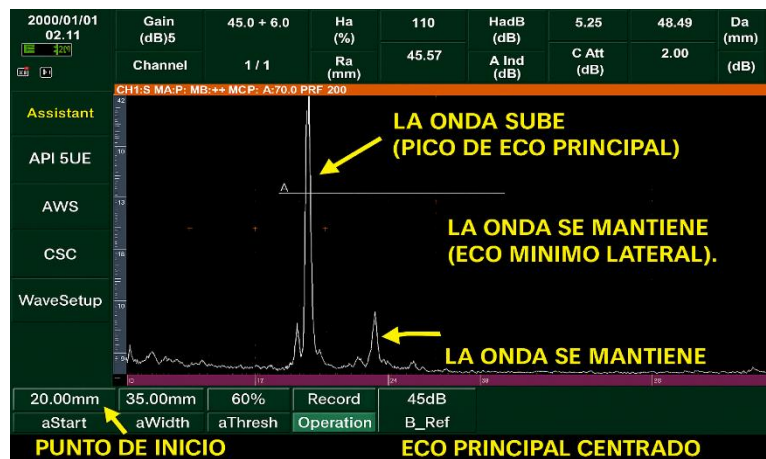
Nota. Señales consecutivas asociadas a discontinuidades internas. Fuente: (Autores)

Figura 61.- Señal en A-7 y B-7 con posible eco secundario en punto inspeccionado



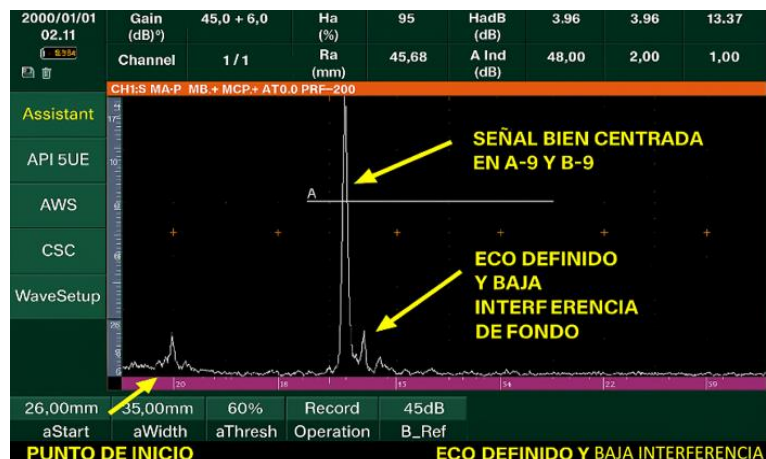
Nota. Detección de pulso con leve repetición en área sensible. Fuente: (Autores)

Figura 62.- Registro en A-8 y B-8 con eco principal centrado y mínima interferencia lateral



Nota. Señal de buena definición sin indicios de discontinuidad. Fuente: (Autores)

Figura 63.- Señal bien centrada en A-9 y B-9 con eco definido y baja interferencia de fondo



Nota. Lectura estable sin indicios de defectos en la zona evaluada. Fuente: (Autores)

Análisis e Interpretación

Según la norma ISO 17640, el ensayo por ultrasonido es eficaz para detectar defectos internos como fisuras, porosidad o falta de fusión, siempre que el diseño y el material permitan una adecuada propagación de las ondas.

- Resultados:

En este estudio se aplicó UT en las 18 juntas del chasis del Karting N.º 252, tanto en vista inferior (A-1 a A-9) como superior (B-1 a B-9), detectándose indicios de falta de fusión en todas ellas (Fig. 55 – Fig. 63). Ninguna junta fue aceptada, pero las limitaciones del método en superficies curvas exigen cautela en la interpretación.

El pequeño diámetro y espesor de los tubos genera distorsión en las ondas ultrasónicas, dificultando una lectura clara. Además, el transductor no se adapta bien a la curvatura, reduciendo el acoplamiento y la precisión del ensayo.

La forma circunferencial de las soldaduras y el difícil acceso limitan la cobertura del escaneo, lo que genera señales débiles o confusas, provocando interpretaciones erróneas. Por ello, aunque se reportan fallas, es necesario confirmar estos resultados con métodos complementarios antes de tomar decisiones correctivas.

Apreciación final de la inspección por ultrasonido

La inspección ultrasónica aplicada al chasis del Karting N.º 252 arrojó indicios de posibles fallas de fusión en las nueve juntas evaluadas, tanto en la vista inferior (A-1 a A-9) como superior (B-1 a B-9). Sin embargo, debido a la geometría curva y al reducido diámetro de los tubos, estos resultados no pueden considerarse definitivos.

Si bien el ultrasonido es eficaz en superficies planas o piezas grandes, su precisión disminuye en estructuras tubulares pequeñas con soldaduras circunferenciales.

Por lo tanto, los resultados obtenidos deben ser tomados con reserva y complementados con técnicas adicionales como radiografía, ensayos destructivos o simulaciones FEA, para garantizar una evaluación estructural más confiable y precisa.

3.1.5 Inspección por Radiografía (RT) de Juntas Soldadas del Chasis

La evaluación se realizó según la norma ISO 5579, que establece para la inspección radiográfica de soldaduras en materiales metálicos. Esta norma permite detectar defectos internos como porosidad, fisuras o falta de fusión, no visibles con métodos superficiales.

La técnica radiográfica utiliza rayos X que atraviesan el material, siendo absorbidos según su densidad interna. Las discontinuidades alteran el paso de radiación, generando contrastes en la película radiográfica. Este método es especialmente útil para analizar:

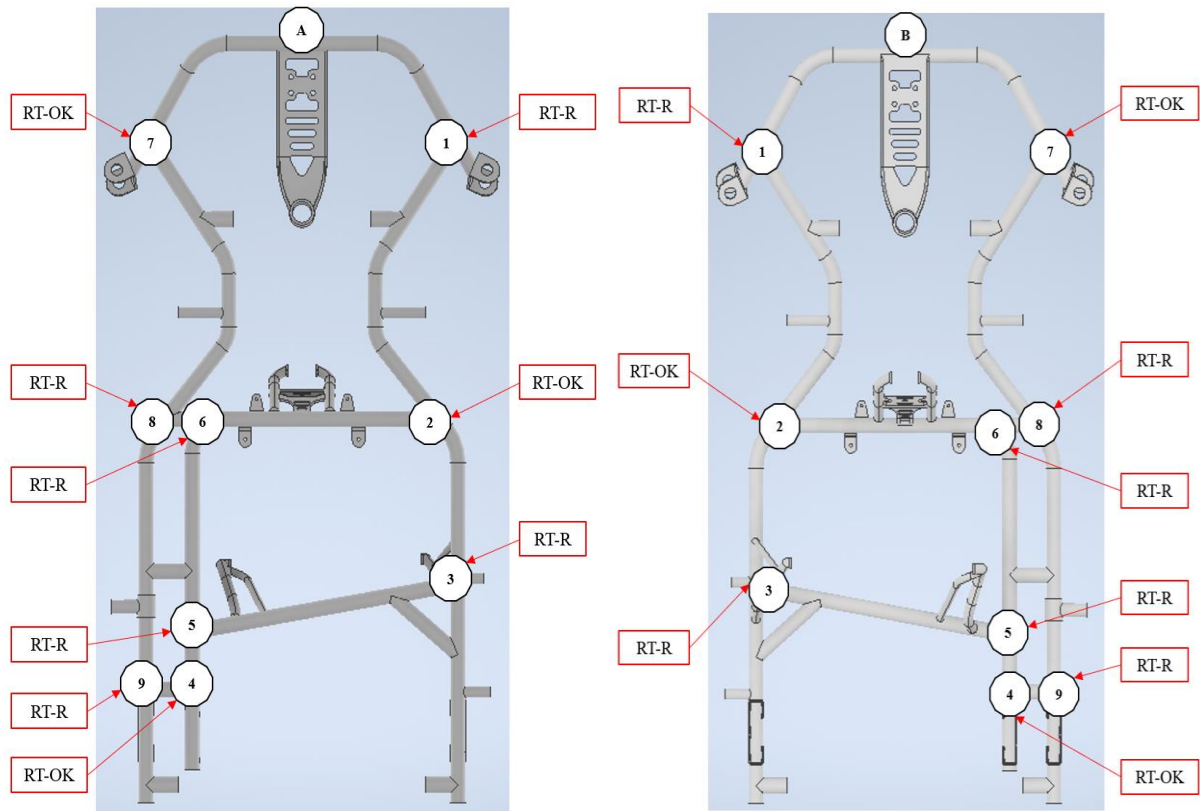
- Inclusiones internas y porosidad agrupada o distribuida.
- Grietas internas o fisuras no visibles exteriormente.
- Zonas de falta de fusión entre cordón de soldadura y metal base.

El ensayo se aplicó a las juntas soldadas del chasis del Karting N.º 252 previamente seleccionadas por su relevancia estructural, con el fin de verificar si existían discontinuidades internas que pudieran comprometer su resistencia mecánica en condiciones reales de uso.

- Cada junta fue clasificada de acuerdo a su interpretación en dos categorías (Fig. 64).

- **RT-OK:** No se observan indicios de discontinuidad interna significativa.
- **RT-R:** Se detectan indicaciones compatibles con defectos volumétricos relevantes.

Figura 64.- Clasificación de juntas soldadas del chasis según inspección RT-OK y RT-R



Nota. RT-R con indicios internos; RT-OK sin discontinuidades visibles. Fuente: (Autores)

Tabla 17.- Evaluación radiográfica en juntas de la vista inferior del chasis

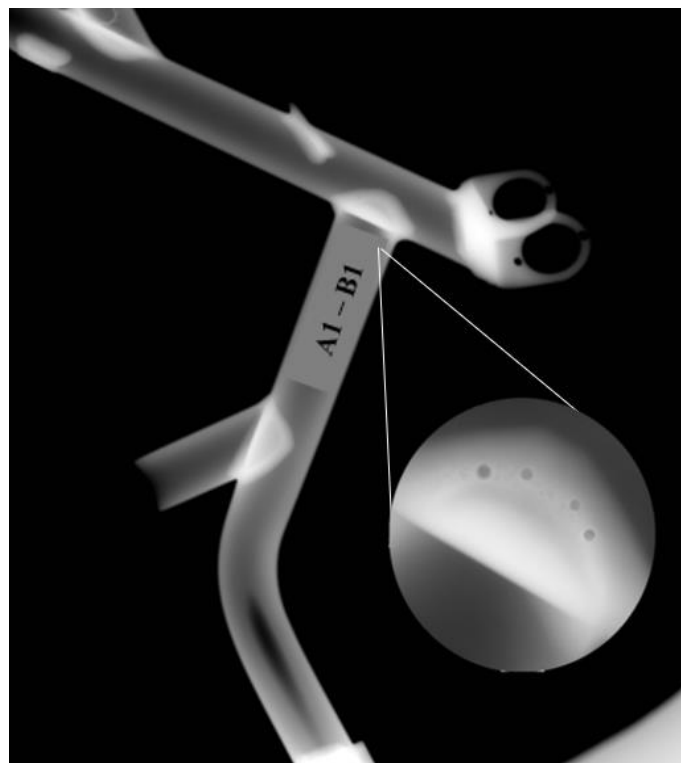
N.º Junta	Vista	Código	Tipo de Defecto	Descripción
1	Inferior	A-1	P (Porosidad)	Zona con poros abiertos próximos al borde del cordón.
2	Inferior	A-2	OK	Unión sin evidencias de defectos radiográficos.
3	Inferior	A-3	F (Fisura)	Fisura radial proyectada desde el borde de la soldadura.
4	Inferior	A-4	OK	No se observan indicios de discontinuidad interna.
5	Inferior	A-5	IF (Falla de Fusión)	Separación interna entre cordón y metal base.
6	Inferior	A-6	P (Porosidad)	Porosidad distribuida en zona media del cordón.
7	Inferior	A-7	OK	Perfil continuo y sin interrupciones estructurales.
8	Inferior	A-8	F (Fisura)	Fisura transversal detectada en zona crítica del tubo.
9	Inferior	A-9	IF (Falla de Fusión)	Área opaca que sugiere unión incompleta.

Nota. Fallas internas en algunas juntas y otras sin anomalías visibles. Fuente: (Autores)

Tabla 18.- Evaluación radiográfica en juntas de la vista superior del chasis

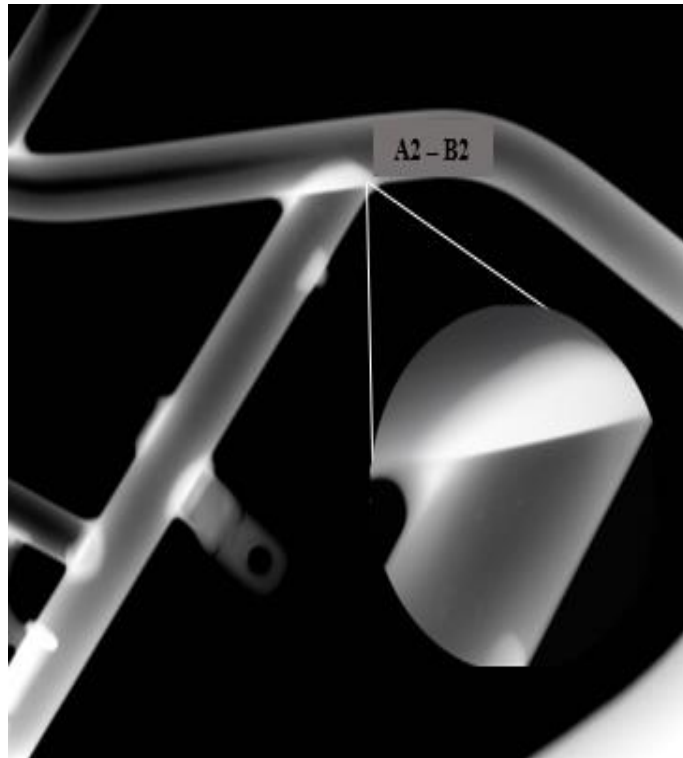
N.º Junta	Vista	Código	Tipo de Defecto	Descripción
1	Superior	B-1	P (Porosidad)	Región con acumulación de porosidad visible cercana a la soldadura.
2	Superior	B-2	OK	No se observan discontinuidades internas en la imagen radiográfica.
3	Superior	B-3	F (Fisura)	Línea fina de interrupción en el cordón, posible fisura longitudinal.
4	Superior	B-4	OK	Cordón homogéneo sin alteraciones visibles.
5	Superior	B-5	IF (Falla de Fusión)	Zona con pérdida de continuidad entre material base y cordón.
6	Superior	B-6	P (Porosidad)	Pequeños vacíos agrupados en sección de soldadura lateral.
7	Superior	B-7	OK	Unión sin evidencias de defectos internos en la imagen radiográfica.
8	Superior	B-8	F (Fisura)	Grieta identificada transversal al eje del tubo en zona crítica.
9	Superior	B-9	IF (Falla de Fusión)	Área de baja densidad radiográfica indicando falta de fusión.

Nota. Detención de poros, fisuras o falta de fusión y otras sin anomalías. Fuente: (Autores)

Figura 65.- Evaluación radiográfica de la unión mostrando porosidad

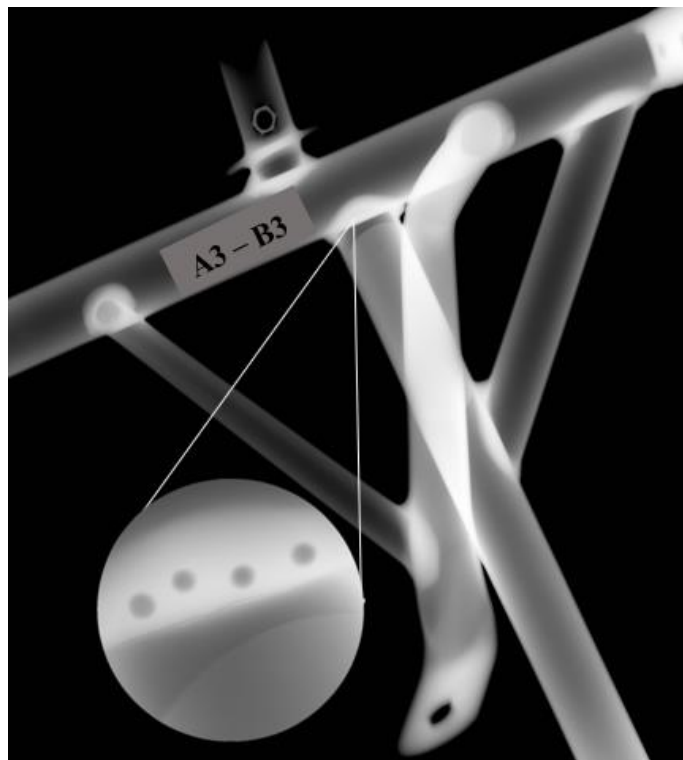
Nota: Evidencia detectada por porosidad en el área A1-B1 del chasis. Fuente: (Autores)

Figura 66.- Evaluación radiográfica de la unión soldada sin anomalías visibles



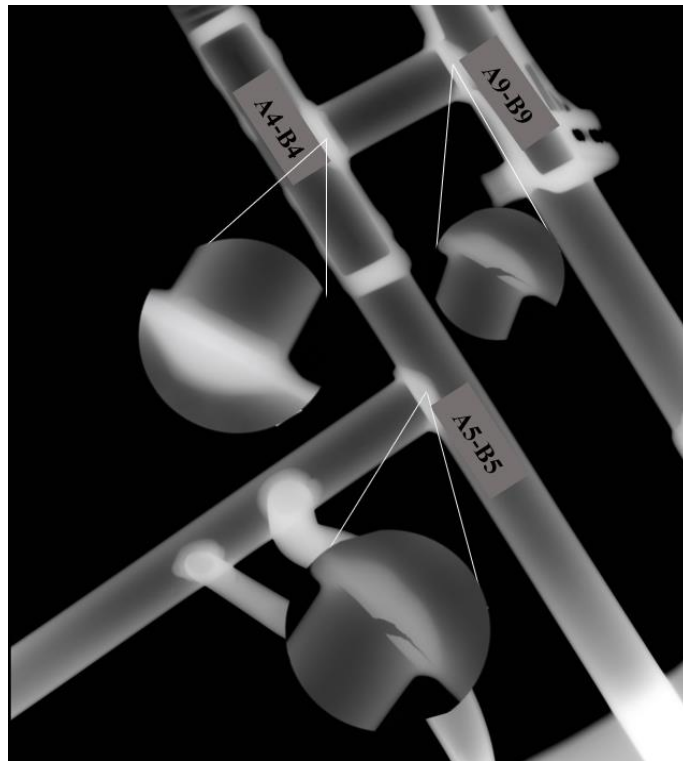
Nota. Sin indicios internos y con unión estructural en el área A2-B2. Fuente: (Autores)

Figura 67.- Evaluación radiográfica de la unión con presencia de poros y fisura



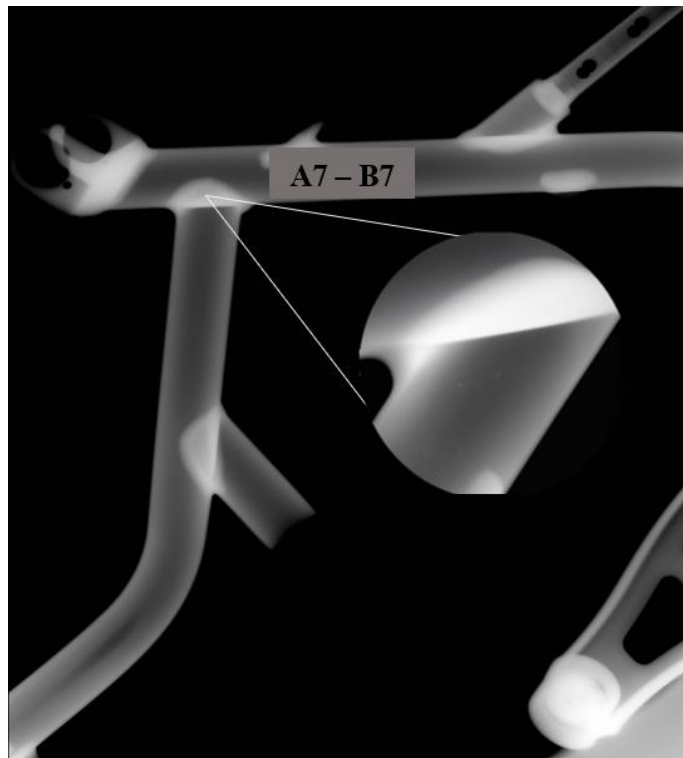
Nota: Indicios de porosidad alineada y fisura en el área A3-B3 del chasis. Fuente: (Autores)

Figura 68.- Vista posterior del chasis con presencia de falta de fusión en uniones múltiples



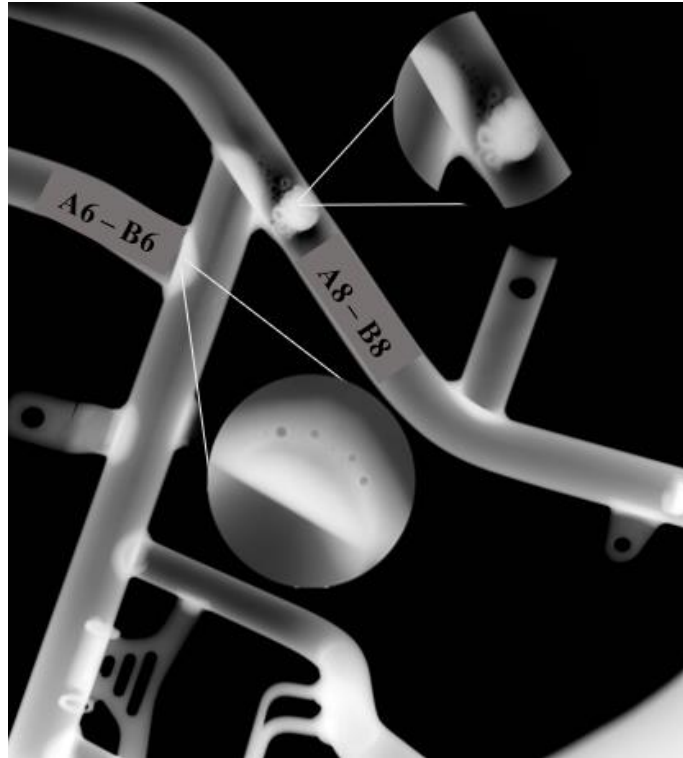
Nota. Falta de fusión en las zonas A5-B5 y A9-B9. Fuente: (Autores)

Figura 69.- Evaluación radiográfica de la unión soldada sin indicios de defectos visibles



Nota: Sin indicios de defectos internos en el área A7-B7 del chasis. Fuente: (Autores)

Figura 70.- Evaluación radiográfica con presencia de porosidad, fisura y falta de fusión



Nota: Presencia de porosidad y mordedura en A6-B6 ; Porosidad, fisura y falta de fusión en A8-B8. Fuente: (Autores

Análisis e interpretación

Según la norma ISO 5579, el ensayo detecta defectos internos como porosidad, fisuras y falta de fusión en soldaduras. En el chasis del Karting N.º 252 se hallaron estos defectos, siendo la falta de fusión la más crítica por afectar la continuidad estructural.

- Resultados:

En la unión A1-B1 se observó evidencia de porosidad interna agrupada, mientras que en A2-B2 no se registraron anomalías, presentando una unión estructural íntegra. En el tramo A3-B3 se identificó una porosidad alineada acompañada de una fisura longitudinal, una combinación que compromete seriamente la integridad del cordón.

Las zonas A5–B5 y A9–B9 revelaron fallas de fusión, reflejando una unión incompleta entre el material base y el aporte. En la unión A7–B7 no se detectaron defectos visibles, y fue considerada como estructuralmente aceptable.

Adicionalmente, en la unión A6–B6 se presentó una condición combinada de porosidad con mordedura, mientras que en A8–B8 se registró la presencia simultánea de porosidad, fisura y falta de fusión, lo que convierte a esta unión en un punto crítico de debilidad dentro del chasis.

Cabe destacar que estas discontinuidades se localizan en zonas de concentración de esfuerzos, lo que eleva el riesgo de falla durante condiciones de competencia.

Apreciación final de la inspección por radiografía

La inspección RT del chasis evidenció discontinuidades internas que comprometen su integridad. Aunque zonas como A2–B2 y A7–B7 no presentaron defectos visibles, otras uniones críticas mostraron anomalías que afectan su desempeño estructural.

La porosidad encontrada en A1–B1 y A6–B6 sugiere deficiencias en el proceso de soldadura, con riesgo de generar grietas por fatiga. En A3–B3, la presencia conjunta de porosidad alineada y fisura representa un punto de alta vulnerabilidad estructural.

La mordedura observada en A6–B6 implica una pérdida de sección útil del cordón, debilitando localmente la unión. En A8–B8 se identificó la combinación más crítica: porosidad, fisura y falta de fusión, lo que incrementa significativamente el riesgo de falla.

Las uniones A5–B5 y A9–B9 también presentaron falta de fusión, reduciendo la continuidad y resistencia del cordón. Estos defectos, al ubicarse en zonas de alta exigencia, hacen inviable su uso competitivo sin correcciones.

En conclusión, el chasis no está en condiciones adecuadas para competencia. Se recomienda reparar las zonas afectadas y verificar su integridad con END antes de su uso.

3.2 Análisis estructural del chasis mediante FEA

El análisis por elementos finitos (FEA) permite simular la respuesta del chasis ante aceleraciones, frenadas, curvas e impactos, sin necesidad de someterlo a pruebas destructivas.

Se identifica zonas débiles donde pueden aparecer fallas, facilitando mejoras en el diseño antes de su fabricación y optimizando costos.

Selección del material

Para el análisis FEA del chasis se utilizó acero al carbono AISI 1018, adecuado por su buena soldabilidad, ductilidad y resistencia suficiente para kartings de uso recreativo o formativo. La Tabla 19 resume sus propiedades mecánicas.

Tabla 19.- Propiedades Mecánicas del Acero AISI 1018

Propiedad	Valor
Dureza Brinell	131
Módulo de elasticidad	200 GPa
Módulo de elasticidad de corte G	78 GPa
Esfuerzo de fluencia σ_y	310 MPa
Esfuerzo máximo σ_{max}	450 MPa

Nota. Propiedades mecánicas del AISI 1018. Fuente: (Castro Lisintuña, 2018)

Refinamiento y convergencia del mallado

La malla alcanzó una calidad promedio de 0,65, lo que refleja una buena conformación y distribución de los elementos (Fig. 71). Este valor garantiza una representación precisa de la geometría del chasis y permite obtener resultados consistentes en el análisis estructural.

Figura 71.- Calidad de malla

Mesh Metric	Element Quality
Min	6,2638e-002
Max	0,99999
Average	0,65021
Standard Deviation	0,14961

Nota. Parámetros de validación de la malla utilizados en el análisis FEA. Fuente: (Autores)

Estudio de rigidez a torsión

La rigidez de torsión indica cuánto resiste el chasis a deformarse cuando gira por acción de fuerzas opuestas. Para evaluarla, se aplica un par torsor en el eje delantero, mientras que el eje trasero se mantiene fijo. Así, se simula lo que ocurre cuando el kart toma una curva.

El par torsor se calcula multiplicando la fuerza aplicada sobre los neumáticos delanteros por la distancia desde el punto de aplicación hasta el eje central del chasis. Es decir:

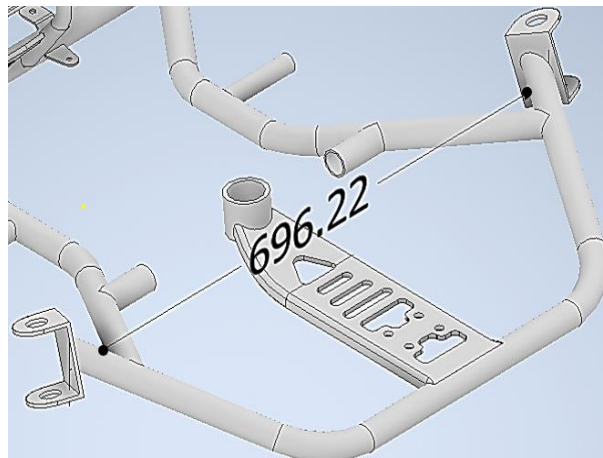
$$T = F * d \text{ (N * m)}$$

- En este caso, con una fuerza de 1667 N y una distancia de 0,6962 m (Fig. 72), se obtiene:

$$T = F * d \text{ N * m}$$

$$T = 1160,56 \text{ N * m}$$

Figura 72.- Ubicación de los puntos de aplicación de las fuerzas que generan el par torsor



Fuente: (Autores)

3.3 Resultados del análisis estructural por simulación FEA

Preparación del Modelo y Condiciones de Simulación

La geometría del chasis fue modelada íntegramente en un entorno CAD y posteriormente exportada a ANSYS para su análisis estructural, conservando detalles constructivos como curvaturas, empalmes, refuerzos y soportes.

Se utilizó una malla tetraédrica de elementos sólidos de segundo orden, lo que permitió capturar esfuerzos localizados y deformaciones en zonas críticas, como las uniones soldadas.

Condiciones de Carga Aplicadas

Con base en condiciones representativas de competencia en karting y normas técnicas para vehículos ligeros, se aplicaron las siguientes cargas:

- **Carga vertical del piloto (80 kg):** Traducida en una fuerza de 784.8 N actuando verticalmente sobre la zona del asiento (Fig. 73).

Figura 73.- Carga del piloto aplicada en el eje Y

Definition	
Type	Force
Define By	Components
Applied By	Surface Effect
Coordinate System	Global Coordinate Syste..
<input type="checkbox"/> X Component	0, N (ramped)
<input type="checkbox"/> Y Component	-784,8 N (ramped)
<input type="checkbox"/> Z Component	0, N (ramped)
Suppressed	No

Nota. Fuerza de 784,8 N hacia abajo simulando el peso sobre el asiento. Fuente: (Autores)

- **Carga lateral por maniobras agresivas (curvas cerradas o frenadas bruscas):** Se aplicó una carga lateral de 1962 N, derivada de una aceleración de 2.5 g (Fig.74).

Figura 74.- Carga lateral aplicada por maniobra extrema

Definition	
Type	Force
Define By	Components
Applied By	Surface Effect
Coordinate System	Global Coordinate Syste...
<input type="checkbox"/> X Component	0, N (ramped)
<input type="checkbox"/> Y Component	0, N (ramped)
<input type="checkbox"/> Z Component	-1962, N (ramped)
Suppressed	No

Nota. Se aplica fuerza lateral de 1962 N en el eje Z, equivalente a 2.5 g. Fuente: (Autores)

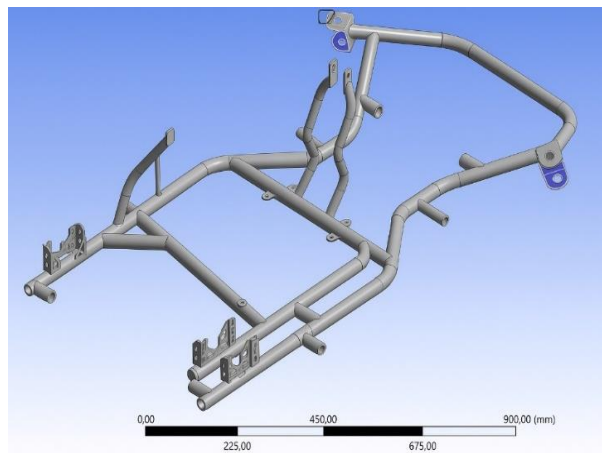
- **Restricciones de apoyo:** Se restringieron los nodos de contacto con ruedas y ejes en el eje Z y en rotaciones, simulando el apoyo del vehículo sobre el suelo (Fig. 75) (Fig. 76).

Figura 75.- Restricciones de apoyo en el chasis

Details of "Fixed Support"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	7 Faces
Definition	
Type	Fixed Support
Suppressed	No

Nota. Se fijaron 7 caras en Z, simulando el contacto con el suelo. Fuente: (Autores)

Figura 76.- Configuración de restricciones de apoyo del chasis

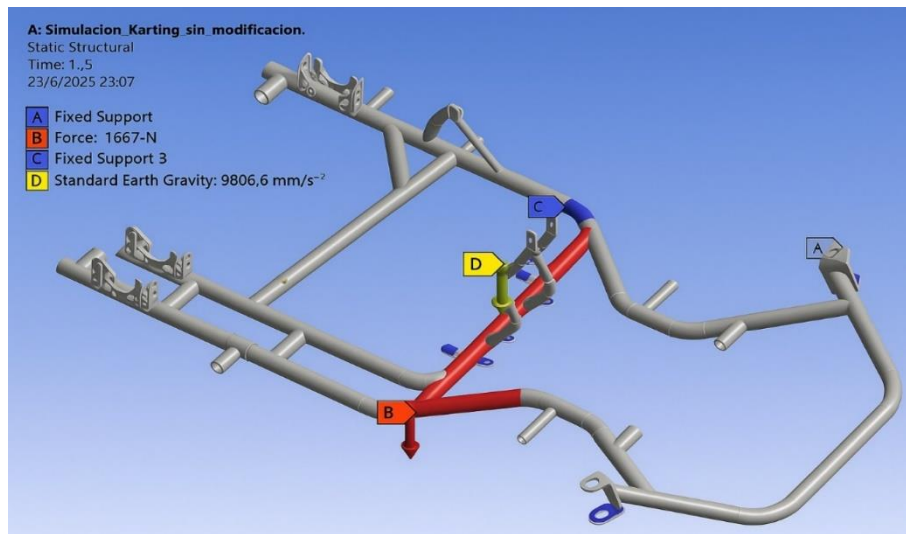


Fuente: (Autores)

Se presenta la simulación estructural del chasis sin modificaciones (Fig. 77). La carga de 1667 N se aplica perpendicular al eje transversal, actuando directamente sobre los puntos de anclaje de las manguetas (B).

Las fijaciones se ubican en los soportes del eje de transmisión (A y C), donde se establecen condiciones de apoyo fijas. Asimismo, se considera la gravedad estándar (D), aplicada verticalmente sobre toda la estructura.

Figura 77.- Condiciones de Contorno en el Análisis Torsional del Chasis

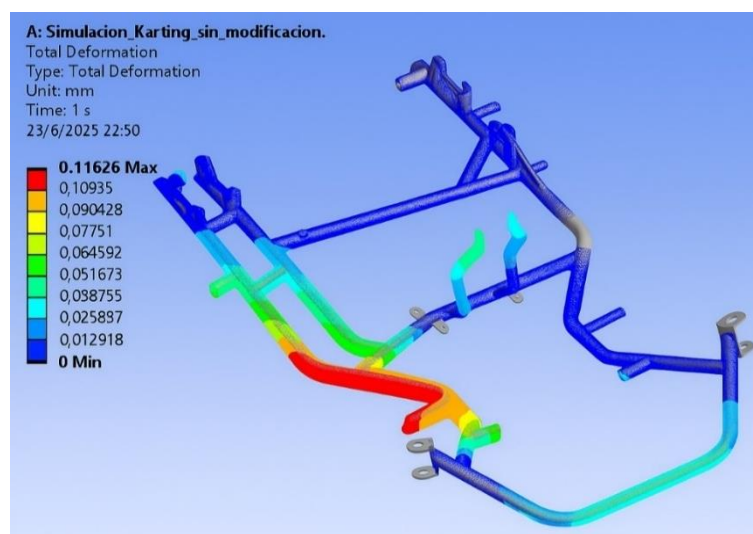


Fuente: (Autores)

Los estudios estructurales del chasis en su estado actual evidencian una deformación total máxima de 0,11626 mm, localizada en la zona frontal izquierda del bastidor (Fig. 78).

Esta región presenta menor rigidez estructural frente a las cargas aplicadas. En contraste, las áreas con deformación mínima, cercanas a 0 mm, se concentran en los extremos posteriores y laterales, lo que indica una mayor resistencia en esos sectores. Esta distribución permite identificar los puntos críticos del chasis y orientar futuras mejoras estructurales.

Figura 78.- Distribución de la Deformación Total en el Chasis sin Modificaciones

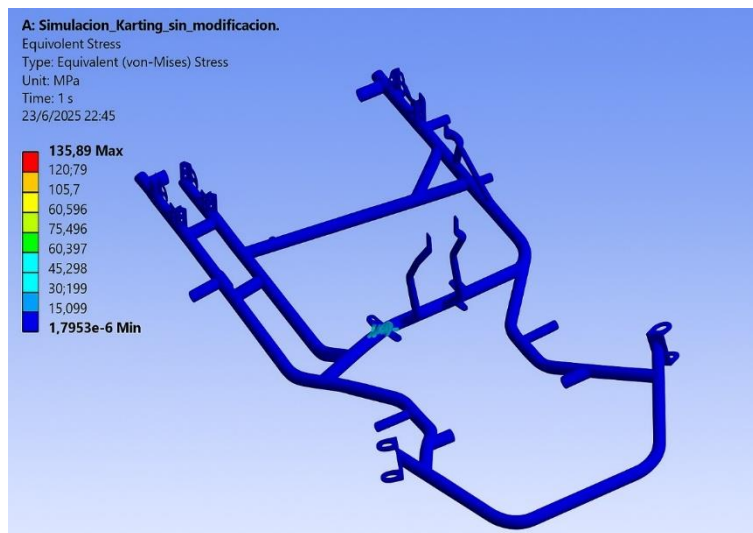


Fuente: (Autores)

Los estudios estructurales del chasis en su estado actual reflejan una concentración máxima de esfuerzo equivalente de 135,89 MPa, ubicada en una zona próxima al eje longitudinal del bastidor, como se aprecia en la (Fig. 79) (Fig. 80).

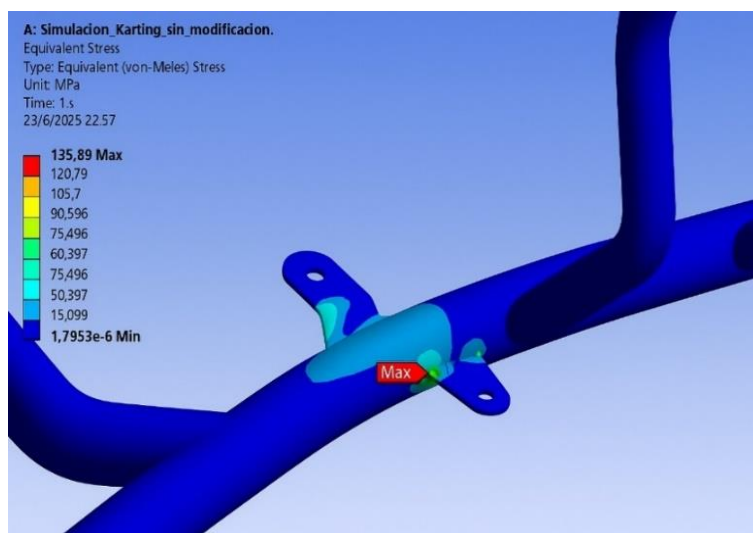
Las zonas con menor tensión se ubican en los extremos laterales y posteriores del chasis, con valores cercanos a 0 MPa, indicando una baja sollicitación estructural en esas áreas.

Figura 79.- Esfuerzo Equivalente en el Chasis sin Modificaciones



Fuente: (Autores)

Figura 80.- Esfuerzo máximo en torsión

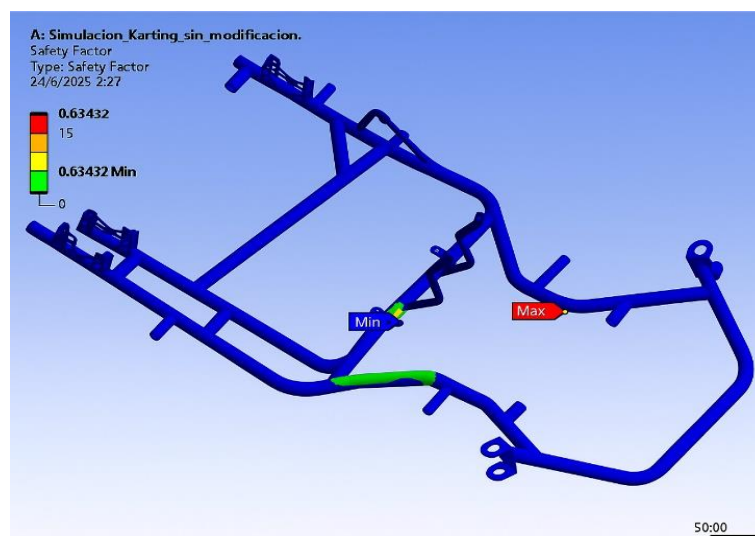


Fuente: (Autores)

Los estudios estructurales del chasis en su estado actual reflejan un factor de seguridad mínimo de 0,63432, localizado en la zona de intersección entre los tubos estructurales donde se concentra la mayor carga torsional (Fig. 81).

Este valor indica una condición crítica que compromete la integridad estructural del bastidor frente a las cargas aplicadas, por lo que se considera necesaria una revisión o refuerzo en dicha área para garantizar un desempeño seguro.

Figura 81.- Distribución del Factor de Seguridad en el Chasis sin Modificaciones



Fuente: (Autores)

3.4 Simulación con Ensayos No Destructivos

Refinamiento y calidad del mallado con END

Luego de aplicar los END, la malla presentó una calidad promedio de 0,73747, lo que indica una buena definición de los elementos (Fig. 82). Los valores oscilaron entre 0,0667 y 1, con una desviación estándar de 0,13233. Esto demuestra que la distribución de la malla es uniforme y adecuada para obtener resultados confiables en el análisis estructural.

Figura 82.- Calidad de malla mejorada con END

Mesh Metric	Element Quality
Min	6,6743e-002
Max	1,
Average	0,73747
Standard Deviation	0,13233

Nota. Parámetros de calidad de malla mejorada en el análisis FEA. Fuente: (Autores)

Estudio de rigidez a torsión con END

La rigidez torsional indica la capacidad del chasis para resistir deformaciones ante fuerzas opuestas que lo hacen girar. En este análisis, basado en ensayos no destructivos, se aplicó un par torsor en el eje delantero, manteniendo fijo el eje trasero, simulando el comportamiento del kart en curva.

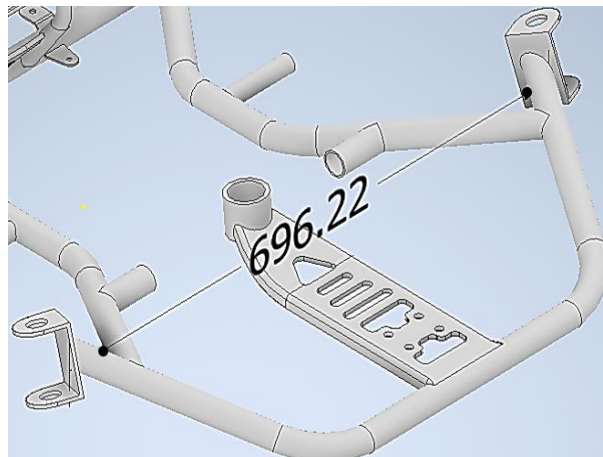
El par torsor se obtiene multiplicando la fuerza aplicada en los neumáticos delanteros por la distancia al eje central del chasis, según:

$$T = F * d \text{ (N * m)}$$

En este caso, con una fuerza de 2167 N y una distancia de 0,6962 m (Fig. 83), se obtiene:

$$T = F * d \text{ N * m}$$

$$T = 1508,66 \text{ N * m}$$

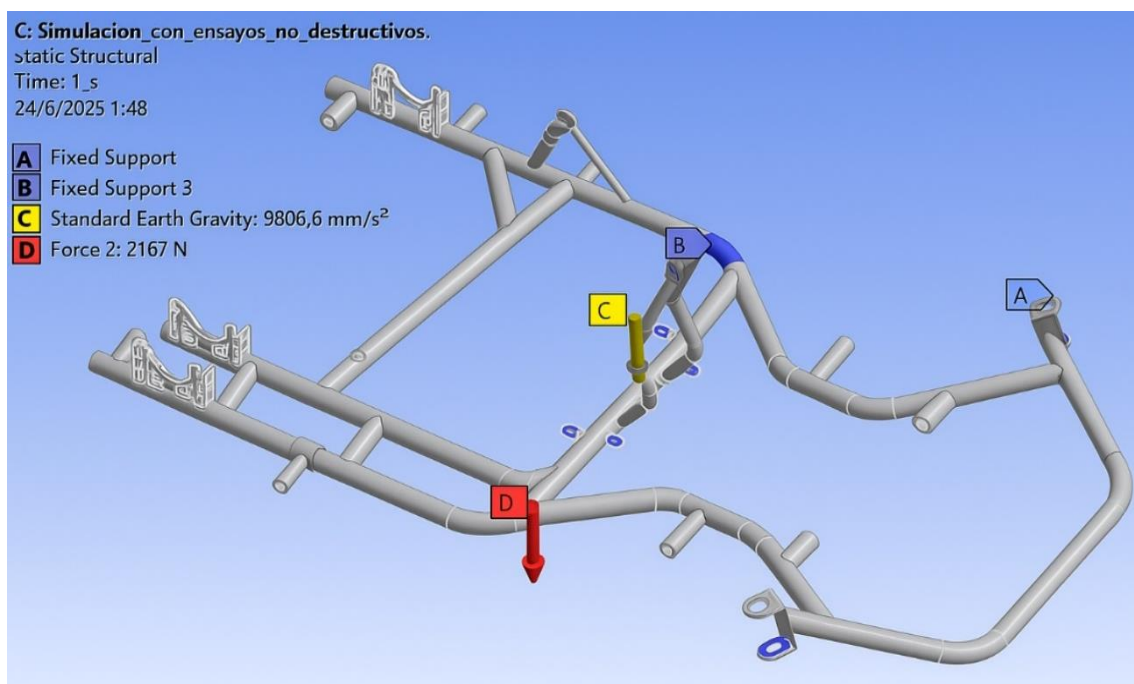
Figura 83.- Puntos de aplicación del par torsor según análisis con END

Fuente: (Autores)

Se presenta la simulación estructural del chasis con aplicación de ensayos no destructivos (Fig. 84). La carga de 2167 N se aplica en el punto D, de forma perpendicular al eje transversal, representando las condiciones de trabajo sobre los anclajes de las manguetas.

Las fijaciones se aplican en los soportes del eje de transmisión (A y B), mediante restricciones fijas. Además, se considera la gravedad estándar (C), con una aceleración de 9806,6 mm/s², aplicada verticalmente sobre la estructura.

Figura 84.- Condiciones de carga y fijación para el análisis estructural

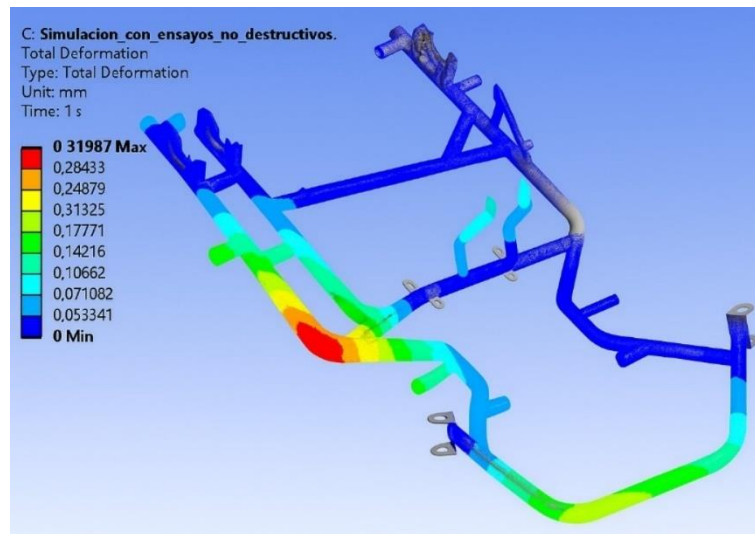


Fuente: (Autores)

Se presenta la distribución de deformaciones del chasis bajo la configuración con ensayos no destructivos (Fig. 85). El análisis muestra una deformación total máxima de 0,31987 mm, localizada en la zona inferior delantera izquierda del chasis.

Las mayores deformaciones se concentran en los tubos cercanos al punto de carga, mostradas en tonos cálidos (rojo y amarillo), mientras que las zonas con menor desplazamiento se mantienen en azul, evidenciando estabilidad en los puntos de fijación.

Figura 85.- Deformación total del chasis ante carga simulada



Fuente: (Autores)

Se presenta el análisis del esfuerzo equivalente (Von-Mises) del chasis bajo la configuración con ensayos no destructivos (Fig. 86). El resultado muestra un valor máximo de 448,29 MPa, concentrado en puntos localizados de la estructura (Fig. 87).

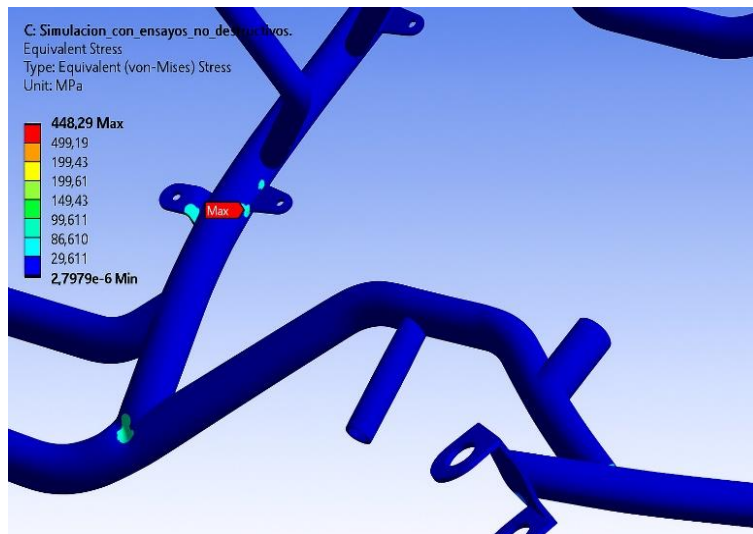
La mayor parte del chasis permanece dentro de rangos bajos de esfuerzo, evidenciados por el predominio del color azul, lo cual indica que la estructura mantiene una distribución favorable de tensiones ante las condiciones de carga aplicadas.

Figura 86.- Esfuerzo equivalente (Von Mises) en el chasis



Fuente: (Autores)

Figura 87.- Localización del esfuerzo máximo de torsión en el chasis



Fuente: (Autores)

Se analiza el factor de seguridad del chasis con base en ensayos no destructivos (Fig. 88). El valor mínimo fue 0,19229, localizado en la parte inferior izquierda del bastidor, cerca del punto de carga, lo que señala una zona crítica con riesgo de falla.

El resto de la estructura presenta factores de seguridad elevados, especialmente en zonas alejadas de la carga, con valores superiores a 15 (color azul). Esto indica un buen desempeño general, aunque hay áreas que podrían requerir refuerzo.

Figura 88.- Distribución del factor de seguridad en el chasis



Fuente: (Autores)

Análisis e interpretación

La simulación estructural del chasis se realizó en dos escenarios: en su estado actual y con condiciones realistas obtenidas mediante END. La comparación entre ambos modelos evidencia diferencias en el comportamiento mecánico del bastidor.

En la simulación con END, la deformación máxima fue de 0,31987 mm, ubicada en la parte inferior izquierda, por una carga mayor de 2167 N. En cambio, la simulación sin modificaciones mostró menores deformaciones debido a una carga más baja de 1667 N.

El esfuerzo equivalente (Von Mises) alcanzó un máximo de 448,29 MPa. Aunque no supera el límite elástico del AISI 4130, señala zonas de alta exigencia que requieren revisión.

Respecto al factor de seguridad, se identificó un valor mínimo de 0,19229 en la zona crítica del chasis. Aunque gran parte de la estructura mantiene niveles altos de seguridad (FS > 10), esta concentración evidencia la necesidad de refuerzo en puntos específicos.

En resumen, la simulación con END ofrece un análisis más realista y revela debilidades estructurales no visibles en el modelo convencional. Su uso es clave para mejorar el diseño, prevenir fallas y garantizar la integridad del chasis en condiciones reales de uso.

Apreciación final

El análisis estructural mediante simulación FEA, complementado con condiciones obtenidas a partir de ensayos no destructivos, permitió evaluar de forma precisa el comportamiento del chasis del karting ante cargas reales.

Los resultados evidencian que, aunque la mayoría de la estructura trabaja dentro de márgenes seguros, existen zonas que concentran esfuerzos y presentan factores de seguridad críticos, especialmente en los puntos cercanos a la aplicación de carga.

La comparación entre el modelo sin modificaciones y el modelo con END demuestra que considerar datos reales mejora la confiabilidad del análisis, ya que se identifican deformaciones y tensiones que no se manifiestan en un modelo idealizado.

En consecuencia, se confirma que integrar END al proceso de simulación no solo optimiza el diseño estructural, sino que también fortalece la seguridad y funcionalidad del chasis frente a condiciones de uso exigentes. Esta metodología resulta fundamental para detectar posibles fallas anticipadamente y orientar futuras mejoras en la estructura.

3.5 Resultados del Análisis Estructural a base de la Propuesta

Refinamiento y calidad del mallado

La malla generada presentó una calidad promedio de 0,64679, lo que indica una buena definición de los elementos (Fig. 89). Los valores oscilaron entre 0,05094 y 0,99991, con una desviación estándar de 0,15069. Esto refleja una distribución uniforme del mallado, adecuada para obtener resultados confiables en el análisis estructural.

Figura 89.- Calidad de malla en vista de la propuesta

Mesh Metric	Element Quality
Min	5,0942e-002
Max	0,99991
Average	0,64679
Standard Deviation	0,15069

Nota. Parámetros de calidad de malla en la simulación de la propuesta. Fuente: (Autores)

Estudio de rigidez a torsión según la propuesta

La rigidez torsional evalúa la capacidad del chasis para oponerse a deformaciones generadas por fuerzas contrarias que inducen un giro. En este análisis, desarrollado con base en la propuesta de mejora estructural, se aplicó un par torsor en el eje delantero, mientras que el eje trasero se mantuvo fijo, simulando las condiciones que enfrenta el kart durante una curva.

El par torsor se calculó multiplicando la fuerza aplicada en los puntos de apoyo de las ruedas delanteras por la distancia al eje longitudinal del chasis.

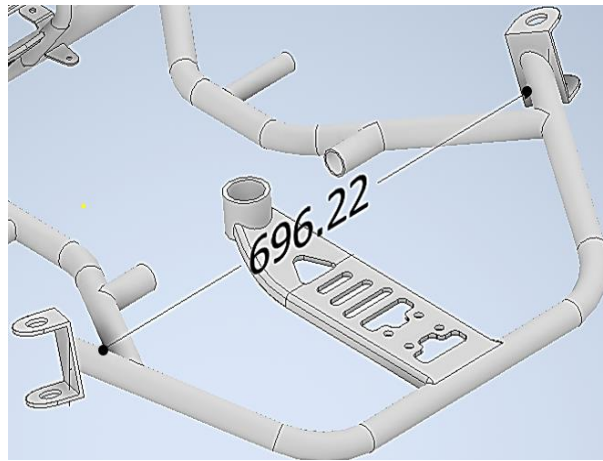
$$T = F * d \text{ (N * m)}$$

En este caso, con una fuerza de 100 N y una distancia de 0,6962 m (Fig. 90), se obtiene:

$$T = F * d \text{ N * m}$$

$$T = 69,62 \text{ N * m}$$

Figura 90.- Puntos de aplicación del par torsor según simulación de la propuesta

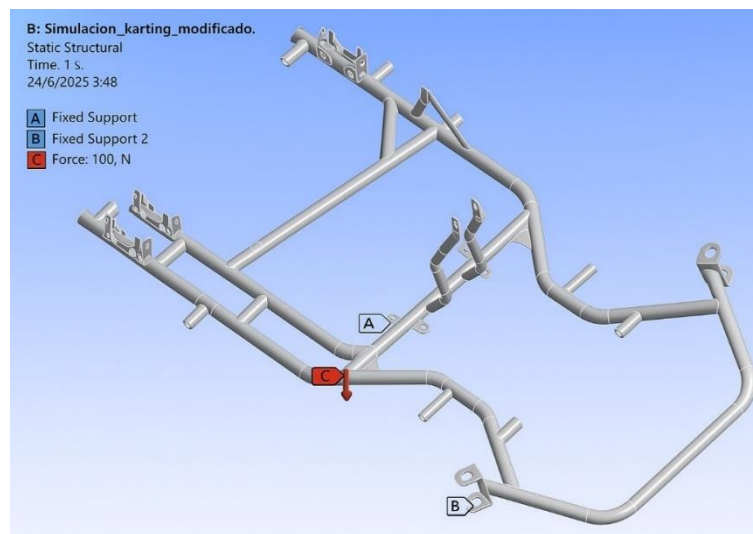


Fuente: (Autores)

Se presenta la simulación estructural del chasis con modificación geométrica (Fig. 91). La carga de 100 N se aplica en el punto C, de forma perpendicular al eje transversal, simulando una condición localizada de trabajo.

Las fijaciones se establecen en los puntos A y B, ubicados en la zona trasera del bastidor, donde se aplican condiciones de apoyo fijas. Esta configuración permite evaluar la respuesta estructural del nuevo diseño ante sollicitaciones puntuales.

Figura 91.- Condiciones de carga y apoyo en el chasis propuesto

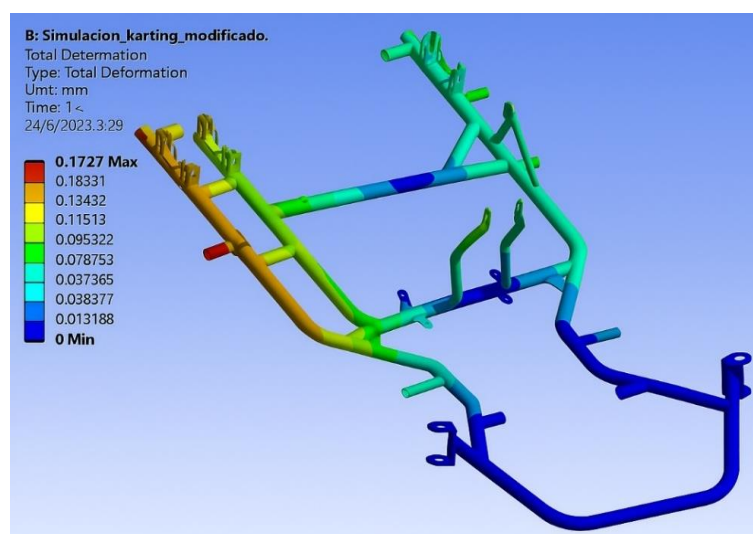


Fuente: (Autores)

Se muestra la distribución de la deformación total en el chasis modificado (Fig. 92). El valor máximo alcanzado es de 0,1727 mm, localizado en la parte superior izquierda del bastidor, cerca del punto de aplicación de la carga.

Las zonas más deformadas se representan en colores cálidos (rojo y naranja), mientras que la mayor parte de la estructura presenta niveles bajos de deformación (verde y azul), indicando una buena rigidez general del nuevo diseño frente a la carga aplicada.

Figura 92.- Deformación total del chasis modificado bajo torsión

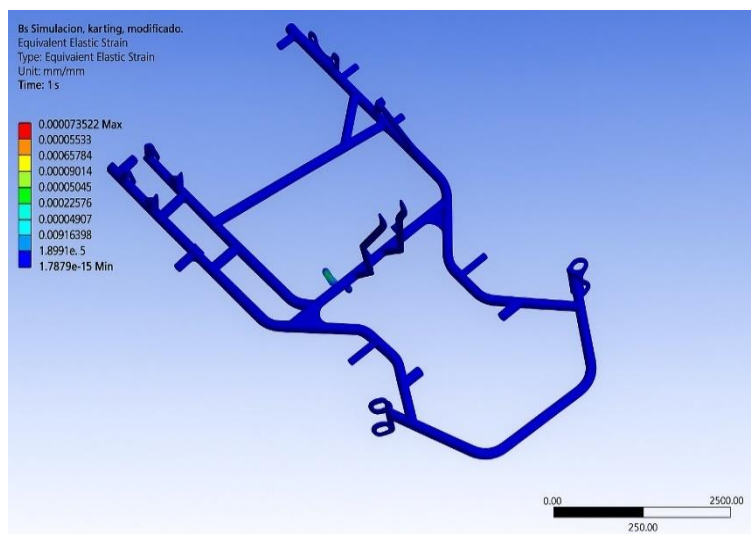


Fuente: (Autores)

Se presenta la distribución de la deformación elástica equivalente del chasis con modificación geométrica (Fig. 93). El valor máximo registrado es de 0,00073522 mm/mm, concentrado en una zona puntual del bastidor (Fig. 94).

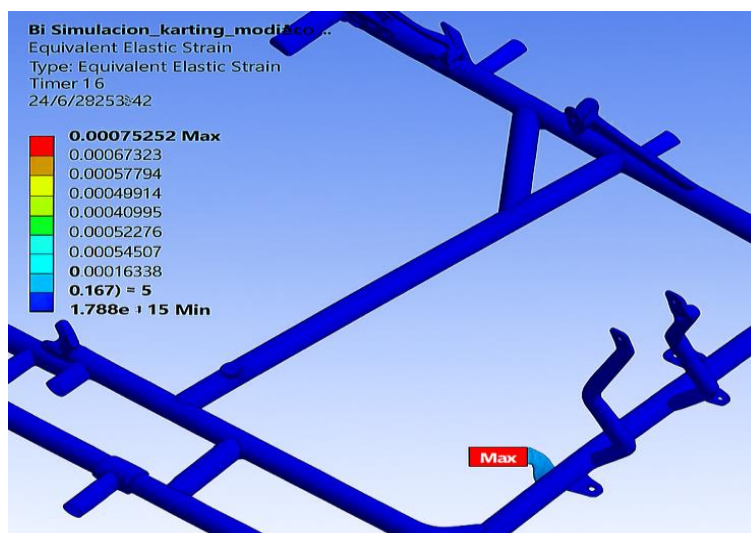
La mayoría de la estructura mantiene deformaciones unitarias muy bajas (tonalidad azul), lo que indica un comportamiento elástico favorable bajo la carga aplicada. Refleja que el nuevo diseño mantiene una buena integridad estructural sin superar los límites del material.

Figura 93.- Deformación elástica equivalente en el chasis propuesto



Fuente: (Autores)

Figura 94.- Localización de la máxima deformación elástica en el chasis

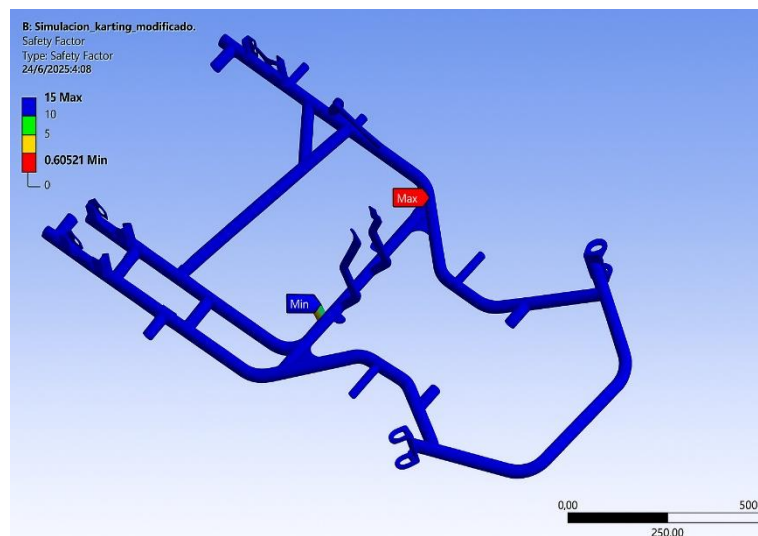


Fuente: (Autores)

Se muestra el análisis del factor de seguridad del chasis con modificaciones estructurales (Fig. 95). El valor mínimo registrado es de 0,60521, ubicado en una zona específica del bastidor, lo cual indica una región potencialmente crítica ante la carga aplicada.

Sin embargo, la mayor parte de la estructura presenta valores altos de seguridad (tonos azules), lo que refleja un buen desempeño general del diseño modificado bajo condiciones normales de operación.

Figura 95.- Distribución del factor de seguridad en el chasis propuesto



Fuente: (Autores)

Análisis e interpretación

El análisis estructural del chasis modificado permitió evaluar el impacto de los cambios geométricos propuestos sobre su comportamiento mecánico bajo condiciones de carga controladas. A diferencia de la configuración original, en esta simulación se aplicó una carga puntual de 100 N y se establecieron nuevas condiciones de fijación, replicando un escenario más localizado.

Los resultados muestran una deformación máxima de 0,1727 mm, localizada en una zona específica del bastidor. Este valor es bajo y sugiere que el rediseño conserva una buena rigidez estructural. Asimismo, la deformación elástica equivalente alcanzó un valor máximo

de 0,00073522 mm/mm, lo que indica que el material trabaja dentro de su rango elástico, sin comprometer su integridad.

En cuanto al factor de seguridad, se obtuvo un valor mínimo de 0,60521, el cual se considera bajo y sugiere la presencia de una región que podría ser crítica ante cargas mayores o repetidas. No obstante, el resto de la estructura mantiene factores superiores a 10, lo cual evidencia un comportamiento estructural confiable en la mayoría de sus componentes.

En conjunto, el rediseño mejora la distribución de esfuerzos y reduce significativamente las zonas críticas observadas en la simulación original con ensayos no destructivos. Sin embargo, es necesario reforzar las áreas con FS bajos para garantizar mayor seguridad y durabilidad ante condiciones de uso reales o más exigentes.

Apreciación final

El análisis estructural del chasis modificado permitió comprobar que los cambios propuestos mejoran la distribución de cargas y reducen las deformaciones en comparación con el diseño original. La estructura mantiene un buen comportamiento mecánico, con niveles bajos de deformación y esfuerzos dentro del rango elástico del material.

Aunque se identificó una zona puntual con un factor de seguridad mínimo de 0,60521, la mayor parte del chasis opera dentro de márgenes seguros, lo que valida la viabilidad del rediseño. Estos resultados evidencian que la propuesta aporta mejoras en rigidez y desempeño, aunque será necesario reforzar áreas críticas para garantizar mayor confiabilidad estructural en condiciones de operación reales.

4. OBJETIVO IV: DISEÑO DE MANUAL TÉCNICO PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA DE CHASIS DE KARTING SEGÚN NORMAS ISO

En este capítulo se presenta el diseño de un manual técnico para la evaluación estructural no destructiva de chasis de karting, alineado con normas ISO. Su finalidad es estandarizar los procedimientos de inspección para asegurar un análisis confiable de la integridad del chasis, sin afectar su estructura. Además, se elaboró un Modelo de registro para el reporte de inspección (Anexo 3), que permite documentar de forma clara y ordenada los resultados de cada evaluación.

Se explican las metodologías recomendadas para cada tipo de ensayo no destructivo, junto con los criterios técnicos, normativos y de seguridad necesarios para aplicarlos correctamente. El manual busca facilitar el uso adecuado de los equipos, orientar al personal en su aplicación práctica y fortalecer el control de calidad en el karting competitivo.

4.1 Manejo y reconocimiento de los equipos del laboratorio


Los equipos que se utilizaron en el laboratorio se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 20.- *Listado de Equipos del Laboratorio de END*

Técnica	Descripción y Modelo.
Equipo para Inspección Visual	Boroscopio Industrial HDV 600
Equipo para Inspección por Tintas Penetrantes	Sistema de inspección por líquidos penetrantes fluorescentes de lavado de agua ZA-1633 Método A
Equipo para Inspección por Partículas Magnéticas	MAG KIT (kit de desmagnetización)
Equipo para inspección por Ultrasonido	Detector de defectos por ultrasonido SIUI SyncScan
Equipo para inspección por Radiografía Industrial	Detector de Rayos X portátil

Fuente: (Autores)

4.1 Manual técnico de inspección visual aplicada al chasis de karting

		FORMATO DE PRÁCTICA DE INSPECCIÓN VISUAL	
CARRERA: Ingeniería Automotriz		ASIGNATURA: Ensayos No Destructivos	
NRO. PRÁCTICA:	1	TÍTULO PRÁCTICA: Manual técnico de inspección visual aplicada al chasis de karting	

- **Presentación de la práctica**

En esta práctica se aplicará la técnica de inspección visual como método no destructivo para evaluar el estado estructural del chasis tubular del karting homologado bajo el código 49/CH/14, modelo Mercurio de la marca TONY KART KÓSMICO.

Para ello, se utilizará un boroscopio industrial (Fig. 96) que permitirá acceder a zonas de difícil visibilidad y detectar posibles discontinuidades superficiales internas, como fisuras, oxidación o deformaciones, sin comprometer la integridad del material.

Figura 96.- Boroscopio industrial Extech HDV600 con cámara de 5,5 mm



Nota. Dispositivo para inspección visual interna. Fuente: (Extech Instruments, 2025)

- **Objetivos**

Objetivo General:

- Evaluar el estado del chasis de un karting mediante inspección visual con boroscopio para detectar daños sin desarmar la estructura según la norma ISO 17637.

Objetivos Específicos:

- Identificar zonas clave del chasis usando planos técnicos y normas ISO.
- Realizar una inspección visual interna con ayuda de un boroscopio industrial.
- Detectar posibles daños o defectos a través de imágenes capturadas durante la inspección.
- **Requisitos, precauciones y evaluación previa**

✓ Requisitos:

- Conocimientos básicos sobre la técnica de inspección visual según norma ISO 17637:2016.
- Comprensión del funcionamiento del boroscopio industrial y su configuración.
- Identificación de zonas críticas del chasis tubular, como soldaduras, curvaturas y uniones.

⚠ Precauciones:

- Verificar que la batería del equipo esté cargada.
- Asegurar la conexión adecuada entre el cuerpo del boroscopio, la sonda y la pantalla.
- Limpiar el lente antes de comenzar la inspección.
- Usar protección visual y evitar el contacto directo con elementos calientes o contaminados.

📄 Evaluación previa:

- El operador deberá demostrar los principios de la inspección visual y su aplicación.
- Se realizará una verificación del correcto uso del equipo antes de iniciar la inspección.

• Equipos, instrumentos y software**Tabla 21.** *Equipos, instrumentos y software utilizados.*

Descripción	Marca	Modelo / Serie
Boroscopio industrial	EXTECH	HDV600
Sonda rígida (1 metro)	EXTECH	Compatible HDV600
Sonda flexible (30 metros)	EXTECH	Compatible HDV600

Fuente: (Autores)

- **Exposición**

Es el primer método de evaluación utilizado en END por su sencillez, rapidez y bajo costo. En estructuras tubulares como los chasis de karting, permite detectar:

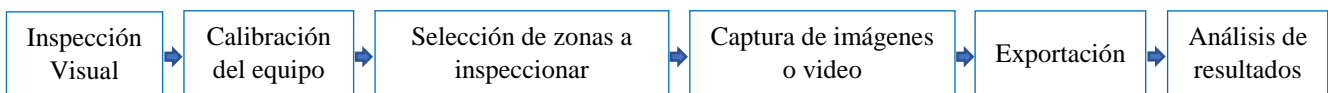
- Grietas o fisuras visibles.
- Corrosión interna o presencia de residuos.
- Deformaciones en zonas de impacto.
- Desgaste por fatiga o uso prolongado.

Este método no requiere desmontar las pieza, lo que facilita su aplicación en campo.

- **Proceso y procedimiento**

Proceso:

Figura 97.- Etapas para la inspección VT

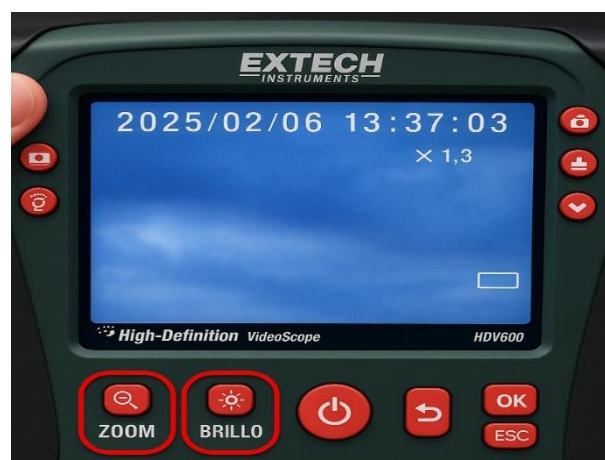


Fuente: (Autores)

Procedimiento:

- **Calibración:** Se ajustan enfoque, brillo, contraste y zoom según luz y acceso (Fig. 98).

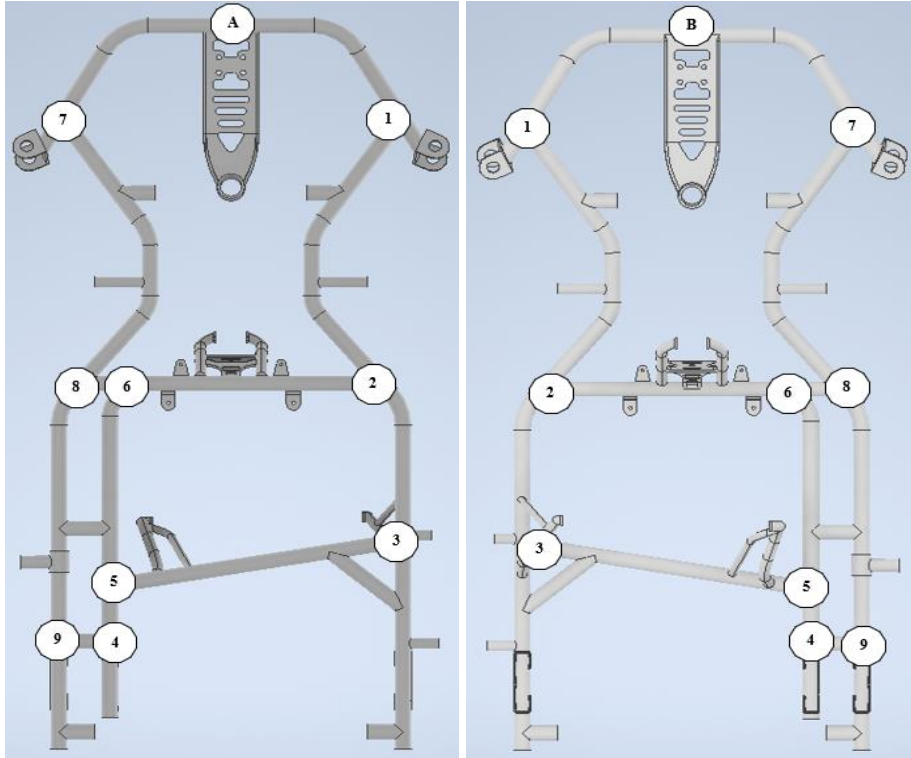
Figura 98.- Calibración del equipo VT



Fuente: (Autores)

- **Selección de zonas:** Se priorizan soldaduras, uniones y curvaturas para la inspección (Fig. 99).

Figura 99.- Selección de zonas a inspeccionar



Fuente: (Autores)

- **Captura de evidencia:** Se registran imágenes y videos de las zonas sospechosas (Fig. 100).

Figura 100.- Registro visual de área sospechosa con boroscopio



Fuente: (Autores)

- **Exportación:** Los archivos se transfieren al computador vía USB para su análisis (Fig. 101).

Figura 101.- *Transferencia de capturas del ensayo mediante conexión USB*



Fuente: (Autores)

- **Análisis:** Se identifican y clasifican (fisuras, porosidad, corrosión, desgaste) (Fig. 102).

Figura 102.- *Identificación de defectos internos mediante análisis visual*



Fuente: Autores)

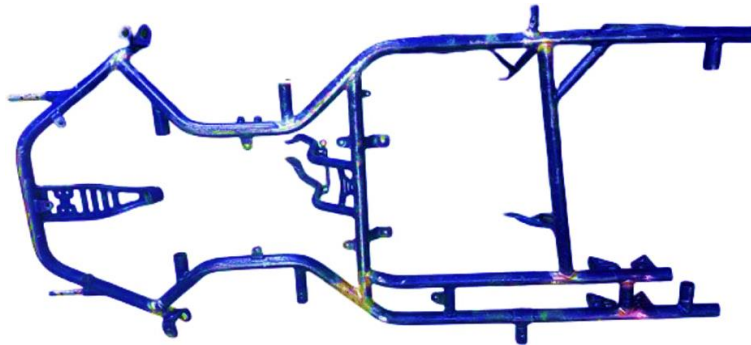
- **Resultados esperados y discusión**

Resultados:

- Registro visual de la mayor parte de la estructura tubular interna (Fig. 103).
- Detección de fisuras o puntos críticos no accesibles a simple vista.

- Evidencia fotográfica y en video para documentar el estado del chasis.

Figura 103.- Chasis del Karting N.º 252



Nota. Estructura base para evaluación mediante ensayos no destructivos. Fuente: (Autores)

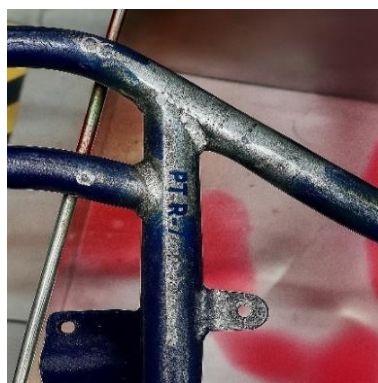
Figura 104.- Resultados Inspección Visual – Zona de Dirección



Nota. Evaluación directa de soldaduras tras limpieza. Fuente: (Autores)

Observación: Se detectan marcas longitudinales sobre el cordón de soldadura, posiblemente generadas por abrasión o defectos de enfriamiento (Fig. 104).

Figura 105.- Resultados Inspección Visual – Zona Posterior Inferior del Chasis



Nota. Observación directa de la soldadura posterior inferior tras limpieza. Fuente: (Autores)

Observación: Se observa pérdida parcial de recubrimiento y acumulación de material en el cordón, sin presencia clara de fisuras (Fig. 105).

Discusión:

La inspección visual es la primera técnica que debe aplicarse al revisar un chasis, ya que permite observar directamente su estado estructural sin desmontarlo.

Esta técnica se utiliza para:


- Obtener una visión general del estado interno de los tubos del chasis.
- Detectar a tiempo fisuras o desgastes antes de que se vuelvan peligrosos.
- Identificar posibles errores de fabricación, como soldaduras defectuosas.
- Verificar si hay signos de corrosión, deformación o fatiga en zonas críticas.

En caso de encontrar alguna anomalía, es recomendable aplicar otro tipo de ensayo, como líquidos penetrantes, partículas magnéticas, radiografía o ultrasonido, para confirmar o descartar los daños observados.

- **Reporte**

El reporte de resultados debe incluir todos los ítems evaluados, los hallazgos encontrados y las herramientas utilizadas durante la inspección (como galgas, medidores de luz y sistemas de iluminación). Además, debe incorporar el sistema de trazabilidad, los códigos de referencia, así como los criterios de aceptación y rechazo. El formato correspondiente al reporte se encuentra en la tabla 22.

Tabla 22.- Matriz de datos obtenidos mediante inspección VT . Fuente: (Autores)

	INFORME INSPECCIÓN VISUAL	N.º Reporte: Fecha de inspección: Cliente:
---	--	---

REPORTE GENERAL	
Entidad responsable:	Lugar de ejecución:
Clasificación del proyecto:	Regulaciones aplicables:

DETALLES DE LA REVISIÓN
Identificación del componente:
Método de elaboración:
Clase de material:
Grosor del material:
Condición de la unión soldada:

INSTRUMENTOS Y SUMINISTROS
Limpieza:
Medidores para inspección visual:
Equipos para inspección visual:
Iluminación:

DIAGRAMA DE LA JUNTA

CRITERIO DE APROBACIÓN Y DESCARTE	
✓ Criterios de Aprobación	✗ Criterios de Descarte
Ausencia de fisuras visibles en soldaduras, uniones y zonas de alta carga.	Presencia de fisuras o grietas abiertas, especialmente en zonas críticas.
Soldaduras uniformes y completas sin porosidad, socavado ni sobreespesor excesivo.	Soldaduras defectuosas: porosidad, falta de fusión, grietas, socavados o escoria.
Superficie limpia y sin corrosión activa significativa.	Corrosión severa o perforante con pérdida de material.
Geometría estructural íntegra, sin deformaciones ni alabeos visibles.	Deformaciones estructurales evidentes que alteren la forma del chasis.
Ausencia de impactos severos, hundimientos o zonas abolladas.	Zonas impactadas o con hundimientos visibles en la estructura tubular.
Protección superficial en buen estado, con pintura sin desprendimientos importantes.	Pérdida de continuidad estructural en elementos de carga.

INFORME VISUAL

ANÁLISIS DE HALLAZGOS		
Tipo de discontinuidad: Poro (P), Mordedura (M), Fisura (F), Zona Porosa (ZP), Esmerilar y Rellenar (ER)		
Clase de defecto:	Comentarios:	Evaluación: (aprobada o denegada)

- **Conclusión**

- **Recomendaciones**


- **Referencias**

ISO 17637:2016. Ensayos no destructivos de soldaduras — Inspección visual de uniones soldadas por fusión. International Organization for Standardization. Obtenido de: <https://www.iso.org/standard/67259.html>

FLIR Systems. (2018). HDV600 High-Definition Videoscope User Manual. Extech Instruments. Obtenido de: <https://www.instrumart.com/assets/EXTECH-HDV600-Manual.pdf>

Elaboración:	Fecha:	Firma:
Revisión:	Fecha:	Firma:
Aprobación:	Fecha:	Firma:

4.2 Manual técnico de inspección por líquidos penetrantes aplicada al chasis de karting

		FORMATO DE PRÁCTICA DE TINTAS PENETRANTES	
CARRERA: Ingeniería Automotriz		ASIGNATURA: Ensayos No Destructivos	
NRO. PRÁCTICA:	2	TÍTULO PRÁCTICA: Manual técnico de inspección por líquidos penetrantes aplicada al chasis de karting	

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se aplicará la técnica de inspección por líquidos penetrantes para detectar discontinuidades superficiales en soldaduras y zonas críticas del chasis tubular del karting. Se empleará el equipo ZA-1633 (Fig. 106) utilizando el Método A, que corresponde a penetrantes lavables con agua, asegurando una aplicación eficaz del ensayo (Fig. 107).

Figura 106.- Sistema de inspección por líquido penetrante fluorescente ZA-1633 A



Fuente: (Magnaflux, 2024)

Antes del procedimiento, se deben identificar las zonas de mayor esfuerzo y posible concentración de fallas, como uniones soldadas, curvaturas y refuerzos. Según el tipo de penetrante utilizado (coloreado o fluorescente), se aplicará el protocolo correspondiente.

Figura 107.- Equipo para tintas coloreadas



Nota. Banco para ensayos por líquidos penetrantes visibles. Fuente: (Autores)

2. Objetivos

Objetivo General:

- Aplicar la técnica de inspección por líquidos penetrantes con tintas coloreadas y fluorescentes en el chasis tubular de un karting, para detectar discontinuidades superficiales y validar su aceptación según la norma ISO 17637.

Objetivos Específicos:

- Identificar los equipos y materiales mediante el uso de sistemas con tintas coloreadas y fluorescentes.
- Detectar fallas superficiales aplicando líquidos penetrantes en sus dos variantes.
- Comparar los resultados con los criterios de la norma API 1104.

3. Requisitos, precauciones y evaluación previa

✓ Requisitos:

- Conocer el proceso del ensayo por líquidos penetrantes según la norma ISO 3452-1:2021.
- Saber aplicar correctamente los productos del sistema: limpiador, penetrante y revelador.
- Localizar áreas propensas a fallas, como uniones soldadas y curvaturas del chasis.

⚠ Precauciones:

- Usar protección personal para evitar contacto con sustancias químicas.
- Mantener el área de trabajo ventilada durante la aplicación del ensayo.
- Revisar que los envases estén en buen estado y correctamente identificados.

📄 Evaluación previa:

- Validar que el operador comprenda el proceso y los tiempos de cada etapa.
- Comprobar que la superficie esté seca, limpia y libre de óxidos o aceites.
- Verificar que la luz y temperatura sean adecuadas para el método.

4. Equipos e instrumentos para tintas coloreadas y tintas fluorescentes

Tabla 23.- Equipos e instrumentos para tintas penetrantes

Descripción	Marca	Modelo
Equipo para la aplicación, lavado y secado de probetas.	Magnaflux	ZA-1633
Líquido Limpiador	Magnaflux	SKC-S
Líquido Removedor	Magnaflux	SKD-S2
Líquido Penetrante	Magnaflux	SKL-SP2

Fuente: (Autores)

Tabla 24.- Equipos e instrumentos para tintas fluorescentes

Descripción	Marca	Modelo
Equipo para la aplicación, lavado y secado de probetas.	Magnaflux	ZA-1633
Líquido Limpiador	Magnaflux	SKC-S
Líquido Removedor	Magnaflux	ZL-27A
Líquido Penetrante	Magnaflux	ZP-9F

Fuente: (Autores)

5. Exposición

La inspección por líquidos penetrantes es eficaz para detectar defectos abiertos en superficies metálicas. En chasis tubulares de karting permite identificar:

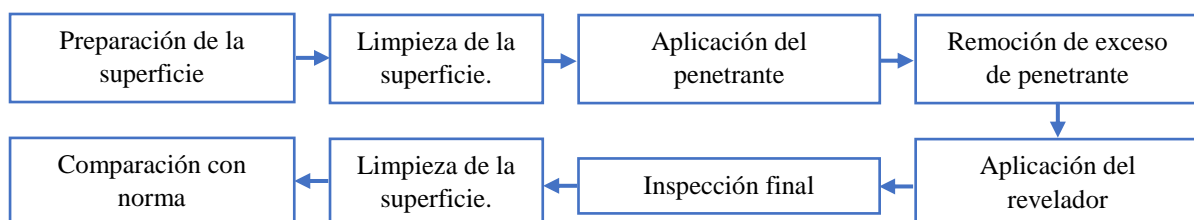
- Fisuras en soldaduras o uniones.
- Poros abiertos por fallas de fabricación.
- Microfracturas por fatiga o impacto.

No requiere desmontar componentes, lo que facilita su aplicación en campo.

6. Proceso y procedimiento

Proceso:

Figura 108.- Etapas para la inspección PT



Fuente: (Autores)

Procedimiento:

- **Selección de la superficie**

Se debe seleccionar una zona con posible presencia de fisuras. En este caso, se usó la mostrada en la (Fig. 109). La superficie debe tener entre 10 y 38 °C.

Figura 109.- *Superficie de aplicación para ensayo*



Nota. Delimitación de zonas críticas para aplicación de ensayos END. Fuente: (Autores)

- **Limpieza**

La superficie debe estar libre de contaminantes como polvo, grasa u óxido, ya que estos afectan la precisión del ensayo.

Figura 110.- *Solvente para limpieza*



Nota. Solvente para eliminar residuos. Fuente: (KCF Corporación, 2024)

Para asegurar la acción del penetrante, se aplicará el solvente SKC-S (Fig. 110) según (Fig. 111). Luego, se limpiará el cordón con un guaipe y se secará completamente la probeta, preferiblemente con la secadora del equipo.

Figura 111.- *Aplicación de solvente*



Nota. Limpieza de superficie para garantizar una inspección efectiva. Fuente: (Autores)

- **Aplicación del penetrante**

Durante la aplicación del líquido penetrante, se debe respetar un tiempo de penetración entre 5 y 30 minutos. El aerosol SKL-WP2 (coloreado) se enjuaga con agua, mientras que el ZL-27A (fluorescente) se limpia con disolvente (Fig. 112).

Figura 112.- *Tintas penetrantes*



Nota. Solvente para eliminar residuos. Fuente: (KCF Corporación, 2024)

Como se muestra en la (Fig. 113), la superficie se torna blanca gradualmente. Si aparece una marca roja sobre el cordón, indica la presencia de una imperfección en esa zona.

Figura 113.- *Aplicación de penetrante*



Nota. Aplicación de penetrante en zonas críticas soldadas. Fuente: (Autores)

- **Remoción del exceso de penetrante**

El exceso de penetrante puede eliminarse con el atomizador de agua del equipo (Fig. 114) durante 120 segundos o con disolvente en el caso de penetrantes fluorescentes (Fig. 115). El agua debe estar entre 10 °C y 38 °C, y aplicarse a una presión de 280 kPa.

Figura 114.- *Atomizador de agua*



Nota. Aplicador para enjuague en procesos de PT. Fuente: (HighTech NDT, 2024)

Figura 115.- *Disolvente Universal*



Nota. Producto para remoción de residuos. Fuente: (Ferreterías Industriales, 2024)

- **Aplicación del revelador**

En esta fase se aplica el revelador sobre la superficie inspeccionada para evidenciar posibles defectos. El tipo de revelador depende del penetrante utilizado: el SKD-S2 se usa con penetrantes coloreados, y el ZP-9F con los fluorescentes (Fig. 116). El revelador debe permanecer aplicado durante al menos 10 minutos (Fig. 117) (Fig. 118).

Figura 116.- Solvente para revelado



Nota. Solvente para eliminar residuos. Fuente: (KCF Corporación, 2024)

Figura 117.- Revelado de tinta coloreada



Nota. Identificación visual de posibles defectos superficiales. Fuente: (Autores)

Figura 118.- Revelado de tinta fluorescente



Nota. Aplicación final para resaltar defectos bajo luz UV. Fuente: (Autores)

- **Inspección final**

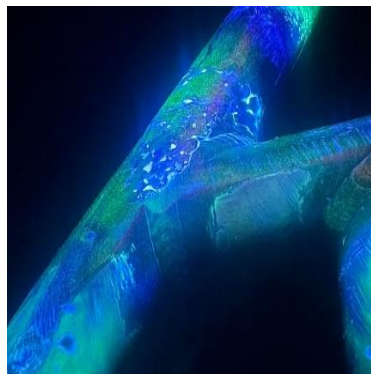
Si se usó penetrante rojo, la inspección se hace con luz blanca (Fig. 119), en cambio si fue fluorescente, debe realizarse con luz ultravioleta en una cabina oscura (Fig. 120).

Figura 119.- *Inspección de tinta coloreada*



Nota. Detección de indicaciones superficiales tras revelado. Fuente: (Autores)

Figura 120.- *Inspección de tinta fluorescente*



Nota. Visualización de discontinuidades mediante contraste fluorescente. Fuente: (Autores)

- **Limpieza final**

Se realiza una limpieza completa de las probetas. Para penetrantes coloreados se usa el atomizador de agua, y para fluorescentes, disolvente. Luego se limpia la zona del aerosol (Fig. 121) y se secan las probetas en la cabina del equipo.

Figura 121.- *Limpieza de puesto de trabajo*



Nota. Retiro de residuos tras ensayo con líquidos penetrantes. Fuente: (Autores)

7. Resultados esperados y discusión

Resultados:

- Identificación de defectos superficiales (fisuras, poros abiertos, falta de fusión) (Fig.122).

Figura 122.- *Detección de defectos superficiales en soldadura*



Fuente: (Autores)

- Visualización clara de las discontinuidades mediante el revelador (Fig. 123).

Figura 123.- *Visualización de discontinuidades con revelador en unión soldada del chasis*



Fuente: (Autores)

- Clasificación visual de zonas defectuosas.

Discusión:

La inspección por líquidos penetrantes permite detectar fisuras y poros en la superficie del chasis de karting, sin desmontar componentes.

Esta técnica se utiliza para:

- Detectar discontinuidades superficiales en uniones o zonas de esfuerzo.
- Verificar la calidad de reparaciones o soldaduras.
- Realizar mantenimientos rápidos en campo sin equipo complejo.

Si se identifican posibles fallas estructurales, es recomendable aplicar técnicas extras como partículas magnéticas, ultrasonido o radiografía para confirmar los resultados.

Norma API 1104

Es clave comparar los resultados con la norma API 1104, la cual indica si el cordón de soldadura cumple los requisitos. Según la tabla 25, se define su aceptación o rechazo.

Tabla 25.- Norma API 1104


Defecto	Criterio de Aceptación
Indicaciones no relevantes	Se aceptan si miden menos de 1.6 mm.
Fisuras tipo estrella	No se permiten si superan los 4 mm (5/32").
Fisuras comunes	No se aceptan bajo ninguna condición.
Altura del refuerzo	Máximo 1.6 mm (1/8") para cualquier espesor o diámetro.
Falta de fusión (IF), cold lap	Suma máxima de 25 mm (1") por cada 300 mm (12") de soldadura, o el 8% de la longitud.
Poros (P)	A) Un solo poro de hasta 3 mm (1/8") o 25% del espesor más delgado (lo que sea menor). B) Porosidad dispersa según figuras 19 o 20, según espesor.
Nido de poros (CP)	A) Cada nido no debe exceder 13 mm (1/2"). B) Suma de nidos \leq 13 mm en 300 mm de cordón.
Mordeduras (externas o internas)	Profundidad $>$ 0.8 mm: no se permite. Entre 0.4 y 0.8 mm: máximo 50 mm (2") en 300 mm de cordón, o 1/6 de su longitud.

Fuente: (Autores)

8. Reporte

El reporte de resultados deberá detallar los elementos inspeccionados, los indicios encontrados y los materiales utilizados en el ensayo (limpiador, penetrante y revelador). También debe incluir las condiciones de inspección, el sistema de trazabilidad aplicado, los códigos de referencia y los criterios de aceptación o rechazo. El formato del reporte para inspección por líquidos penetrantes se encuentra en la tabla 26.

Tabla 26.- Matriz de datos obtenidos mediante inspección PT. Fuente: (Autores)

	INFORME INSPECCIÓN TINTAS PENETRANTES	N.º Reporte: Fecha de inspección: Ciente:
---	--	--

REPORTE GENERAL	
Entidad responsable:	Lugar de ejecución:
Clasificación del proyecto:	Regulaciones aplicables:

DETALLES DE LA REVISIÓN
Identificación del componente:
Método de elaboración:
Clase de material:
Grosor del material:
Condición de la unión soldada:

INSTRUMENTOS Y COMPUESTOS
Limpieza:
Removedor:
Agente dispersante:
Limpiador Penetrante:
Agente Revelador:

CONDICIONES DE EVALUACIÓN
Iluminación:
Temperatura:
Intervalo de acción del penetrante:
Duración de exposición al revelador:
Procedimiento de limpieza del excedente:
Limpieza Final:

DIAGRAMA DE LA JUNTA

DIAGRAMA DE LA JUNTA

CRITERIO DE APROBACIÓN Y DESCARTE

✓Criterios de Aprobación	✗Criterios de Descarte
Ausencia de indicaciones relevantes como fisuras, grietas o poros abiertos.	Presencia de indicaciones lineales o ramificadas, señal de fisuras o grietas.
Indicios menores no relevantes, aislados y fuera de zonas críticas.	Indicios detectados en zonas críticas como uniones o cruces estructurales.
Distribución uniforme del revelador sin manchas falsas.	Alta densidad o agrupamiento de indicaciones en un mismo sector.
Soldaduras limpias sin indicaciones lineales o alineadas.	Indicios persistentes tras limpieza y nuevo ensayo, indicando defecto real.
Indicación que desaparece tras limpieza y reensayo (considerada no relevante).	Indicaciones en forma de porosidad abierta o cavidades en soldaduras.

INFORME VISUAL

INFORME VISUAL

ANÁLISIS DE HALLAZGOS					
Tipo de discontinuidad: Poro (P), Mordedura (M), Fisura (F), Zona Porosa (ZP), Esmerilar y Rellenar (ER)					
Ítem	Clase	Forma de la señal (Recta o curva)	Dimensión (mm)	Resultado (aprobada o denegada)	Comentario

9. Conclusión

10. Recomendaciones

4.2.9 Referencias


Universidad Nacional de Piura. (s. f). Norma ASTM E165: Norma sobre líquidos penetrantes.

Studocu. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-piura/procesos-de-manufactura/norma-astm-e165-norma-sobre-liquidos-penetrantes/20908660>

Escuela Politécnica Nacional. (s. f). Norma API 1104: Estándar para soldadura de tuberías y conexiones. Studocu. <https://www.studocu.com/ec/document/escuela-politecnica-nacional/soldadura/norma-api-1104-estandar-para-soldadura-de-tuberias-y-conexiones/126182630>

Elaboración:	Fecha:	Firma:
Revisión:	Fecha:	Firma:
Aprobación:	Fecha:	Firma:

4.3 Manual técnico de inspección por partículas magnéticas aplicada al chasis de karting

		FORMATO DE PRÁCTICA DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	
CARRERA: Ingeniería Automotriz		ASIGNATURA: Ensayos No Destructivos	
NRO. PRÁCTICA:	3	TÍTULO PRÁCTICA: Manual técnico de inspección por partículas magnéticas aplicada al chasis de karting	

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se aplicará la técnica de partículas magnéticas para detectar defectos superficiales y subsuperficiales en áreas críticas del chasis tubular, como soldaduras, uniones y curvaturas. Esta técnica permite localizar fisuras ocultas en materiales ferromagnéticos mediante un campo magnético y partículas finas que se agrupan en las discontinuidades.

2. Objetivos

Objetivo General:

- Aplicar la inspección por partículas magnéticas al chasis tubular para detectar defectos en zonas críticas y asegurar su integridad estructural.

Objetivos Específicos:

- Conocer el principio del magnetismo aplicado a la detección de fallas.
- Manipular correctamente el equipo de inspección por partículas magnéticas.
- Identificar y analizar posibles defectos en zonas de soldadura del chasis.
- Realizar la inspección de acuerdo con las normas ASTM E-709 y ASME V.

3. Requisitos, precauciones y evaluación previa

✓ Requisitos

- Conocimientos básicos sobre la técnica de partículas magnéticas conforme a la norma ISO 9934-1:2016.

- Manejo del equipo generador de campo magnético (yugo o banco magnético) y tipo de partículas (secas o húmedas).
- Identificación de zonas críticas del chasis tubular, como soldaduras, uniones y curvaturas.

Precauciones:

- Verificar el estado del equipo, conexiones y calibración antes de iniciar.
- Verificar que la superficie esté libre de grasa, pintura y residuos que impidan la detección.
- Usar guantes y protección visual al aplicar partículas húmedas o trabajar con luz UV.

Evaluación previa:

- El operador debe conocer el procedimiento y las etapas del ensayo.
- Verificar el estado del equipo y la intensidad del campo magnético.
- Asegurar que las partículas estén en buen estado para su uso.

4. Equipo y Materiales

Tabla 27.- Elementos necesarios para el procedimiento de detección magnética

- Yugo magnético electromagnético (MAGNAFLUX).	- Dosificador o pipeta vacía.
- Cruz de Berthold (indicador de campo).	- Solvente de limpieza SKC-S.
- Frascos de partículas magnéticas (rojas y grises).	- Brocha o trapo de limpieza.

Fuente: (Autores)

5. Exposición

La inspección por partículas magnéticas es útil para detectar defectos superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos. En chasis de karting permite identificar:

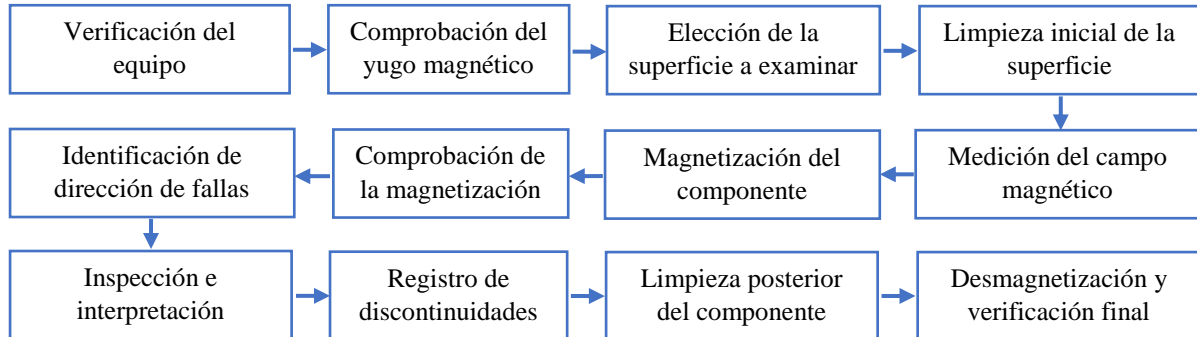
- Fisuras en soldaduras y zonas críticas.
- Fallas por fatiga o impacto.
- Poros o inclusiones en el material.

Este método puede aplicarse sin desmontar piezas, facilitando su uso en campo.

6. Proceso y procedimiento

Proceso:

Figura 124.- Etapas para la inspección MT



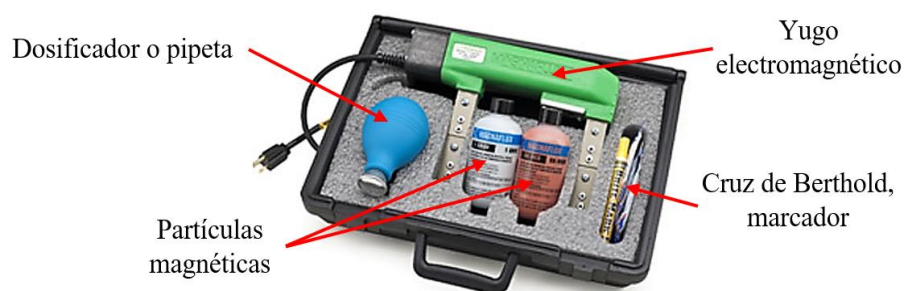
Fuente: (Autores)

Procedimiento:

- **Verificación del equipo**

Antes de iniciar, se debe verificar que el kit de yugo magnético esté completo: yugo, Cruz de Berthold, pipeta, partículas rojas y grises, bloque patrón, magnetoscopio, solvente, brocha y guaipe. Así se evitan retrasos en la práctica (Fig. 125).

Figura 125.- Kit de yugo magnético



Nota. Conjunto portátil para inspección por partículas magnéticas. Fuente: (Magnaflux, 2025)

- **Comprobación de sensibilidad del yugo**

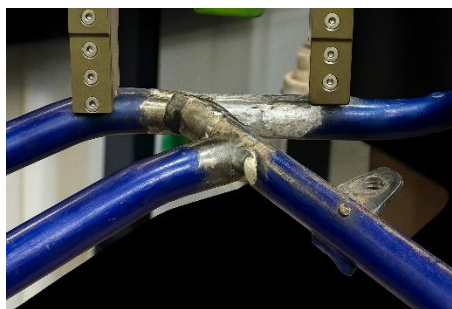
Una vez verificado el equipo, se ajusta el yugo entre 4" y 6", se coloca sobre el bloque patrón y se activa con corriente continua (CC) para discontinuidades subsuperficiales, o con alterna (AC) para defectos superficiales (Fig. 126) (Fig. 127).

Figura 126.- Comprobación de la sensibilidad del yugo para fallas subsuperficiales en CC



Fuente: (Autores)

Figura 127.- Verificación del yugo para detectar fallas superficiales en AC

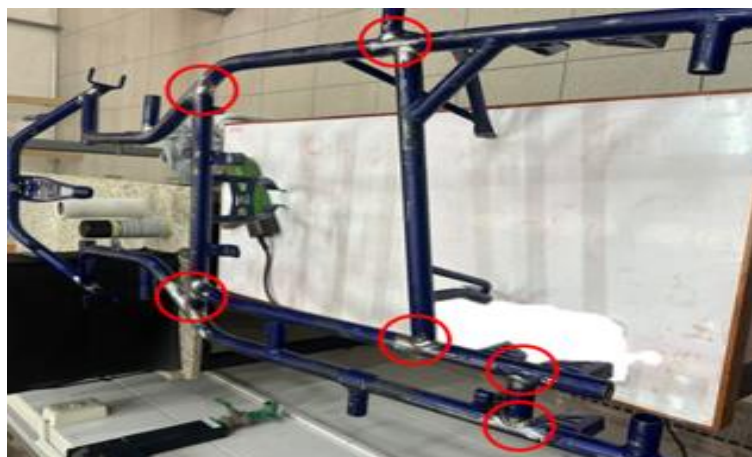


Fuente: (Autores)

- **Selección de la superficie**

Después de confirmar la sensibilidad del yugo, se elige la zona con mayor probabilidad de fisuras o fallas (Fig. 128).

Figura 128.- Superficies a inspeccionar



Nota. Zonas críticas seleccionadas para inspección END. Fuente: (Autores)

- **Limpieza de la superficie**

Se limpia la superficie con solvente industrial tipo SKC-S y guaipe, eliminando suciedad, pintura, aceite o residuos que puedan interferir (Fig. 129) (Fig. 130).

Figura 129.- Limpieza de la superficie



Fuente: (Autores)

Figura 130.- Solvente para limpieza



Nota: Limpiador para remover contaminantes. Fuente: (KCF Corporación, 2024)

- **Magnetización de la probeta**

Se activa el yugo sobre la pieza aplicando partículas magnéticas en seco o húmedo. También pueden dispersarse directamente sobre el campo activo (Fig. 131).

Figura 131.- Componente magnetizado



Nota. Aplicación del campo magnético sobre el chasis. Fuente: (Autores)

- **Determinar dirección de discontinuidades**

Con ayuda de la cruz de Berthold se identifican las posibles fallas, siendo más visibles las indicaciones ubicadas en ángulos perpendiculares o de hasta 45° al campo (Fig. 132).

Figura 132.- *Determinación de discontinuidades a base de cruz de Berthold*



Fuente: (Autores)

- **Inspección e interpretación**

Según la norma ASTM E-709, se aplica el yugo sobre el cordón, se colocan partículas magnéticas y, si hay una fisura, estas se concentran en esa zona (Fig. 133). Luego se retira el exceso con pipeta para observar el tamaño y forma del defecto.

Figura 133.- *Aplicación del yugo sobre el cordón*



Fuente: (Autores)

- **Reporte de inspección de las discontinuidades**

Se elabora el informe técnico de aceptación o rechazo de la pieza, siguiendo los lineamientos de la ASME Sección V (Tabla. 28).

- **Limpieza final**

Una vez finalizada la inspección, se eliminan los residuos magnéticos utilizando un paño limpio, dejando la superficie libre de restos para su revisión o uso posterior (Fig. 134).

Figura 134.- Limpieza de zona de soldadura



Fuente: (Autores)

- **Desmagnetización**

Finalmente, se desmagnetiza la pieza alejando el yugo en movimiento circular y vertical hasta 50 cm, verificando que el campo residual sea nulo con el magnetoscopio (Fig. 135).

Figura 135.- Proceso de desmagnetización del chasis con yugo magnético



Fuente: (Autores)

7. Resultados esperados y discusión

Resultados:

- Visualización clara de discontinuidades superficiales y subsuperficiales.
- Identificación de forma, tamaño y orientación de las discontinuidades.
- Clasificación de defectos según criterios de aceptación.

- Detección de zonas críticas para reparación o seguimiento (Fig. 136).

Figura 136.- Resultado tras inspección con yugo magnético



Nota: Presencia de una fisura y de poros en la junta. Fuente: (Autores)

Discusión:

La inspección por partículas magnéticas permite detectar fisuras superficiales y cercanas a la superficie en chasis de karting, sin desmontar piezas. Es útil para identificar defectos en soldaduras, zonas de fatiga o impacto.

Esta técnica se emplea para:


- Localizar grietas en uniones o curvaturas.
- Evaluar daños por uso o reparaciones previas.
- Verificar condiciones estructurales críticas.

Si se detectan indicios relevantes, es recomendable confirmar con ultrasonido, líquidos penetrantes o radiografía.

8. Reporte

El reporte de resultados deberá incluir todos los elementos inspeccionados, los indicios detectados, y las herramientas utilizadas durante el ensayo (yugo, partículas secas o húmedas, luz UV o visible). Además, se debe registrar el sistema de trazabilidad, los códigos de referencia aplicados y los criterios de aceptación o rechazo. El formato del reporte correspondiente a la inspección por partículas magnéticas puede visualizarse en la tabla 28.

Tabla 28.- Matriz de datos obtenidos mediante inspección MT. Fuente: (Autores)

	INFORME INSPECCIÓN PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	N.º Reporte: Fecha de inspección: Cliente:
---	---	---

INFORME GENERAL	
Institución:	Ubicación del proyecto:
Tipo de proyecto:	Normativas:

INFORMACIÓN DE LA INSPECCIÓN
Descripción de la pieza:
Proceso de fabricación:
Tipo de material:
Espesor del material:
Estado del cordón de soldadura:

EQUIPOS Y MATERIALES
Limpieza:
Equipo empleado:
Partículas empleadas:
Luz UV (si aplica):

PARÁMETROS DE INSPECCIÓN
Iluminación:
Temperatura:
Tiempo de magnetización:
Tiempo de observación:
Método de remoción de partículas:
Limpieza Final:

ESQUEMA DE LA JUNTA

ESQUEMA DE LA JUNTA

CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

✓ Criterios de Aceptación	✗ Criterios de Rechazo
Ausencia de indicaciones relevantes como fisuras, grietas o mordeduras de esmeril.	Presencia de indicaciones lineales, alineadas o ramificadas.
Presencia de indicaciones no relevantes fuera de zonas críticas.	Indicios presentes en zonas estructuralmente sensibles del chasis.
Indicios dispersos y no alineados, sin formar patrones lineales.	Alta densidad o acumulación visible de partículas magnéticas.
Zonas críticas como soldaduras e intersecciones sin indicaciones visibles.	Indicaciones con dimensiones superiores a los límites técnicos.
Resultados repetidos sin aparición de defectos en reensayos.	Persistencia de indicaciones tras limpieza y nuevo ensayo.

REPORTE FOTOGRÁFICO

REPORTE FOTOGRÁFICO

EVALUACIÓN DE RESULTADOS		
Tipo de discontinuidad: Poro (P), Mordedura (M), Fisura (F), Zona Porosa (ZP), Esmerilar y Rellenar (ER)		
Tipo de Discontinuidad:	Observaciones:	Evaluación: (aceptada o rechazada)

9. Conclusión


10. Recomendaciones

11. Referencias

ASTM International. (2015). E709-15 – Standard Guide for Magnetic Particle Testing. ASTM International, West Conshohocken, PA. Obtenido de: <https://www.astm.org/e0709-15.html>

Elaboración:	Fecha:	Firma:
Revisión:	Fecha:	Firma:
Aprobación:	Fecha:	Firma:

4.4 Manual técnico de inspección por ultrasonido aplicada al chasis de karting

		FORMATO DE PRÁCTICA DE ULTRASONIDO	
CARRERA: Ingeniería Automotriz		ASIGNATURA: Ensayos No Destructivos	
NRO. PRÁCTICA:	4	TÍTULO PRÁCTICA: Manual técnico de inspección por ultrasonido aplicada al chasis de karting	

1. Presentación de la práctica

Esta práctica busca aplicar ultrasonido con haz angular para detectar fallas internas en zonas críticas del chasis tubular, como soldaduras, refuerzos y curvaturas, utilizando el equipo portátil SIUI SyncScan, que emite y recibe ondas en varios ángulos.

Mediante esta prueba END permite detectar grietas, poros, inclusiones o fallas de fusión que comprometan la estructura del chasis. Se aplicarán los lineamientos de ASTM E-164 y ASME Sección V para garantizar resultados precisos y comparables.

2. Objetivos

Objetivo General:

- Aplicar la técnica de inspección por ultrasonido con haz angular al chasis tubular de karting, para detectar fallas internas no visibles mediante otros métodos no destructivos.

Objetivos Específicos:

- Comprender la propagación de ondas ultrasónicas en materiales metálicos del chasis.
- Calibrar y operar el equipo SIUI SyncScan utilizando bloques patrón.
- Detectar e interpretar discontinuidades internas en zonas soldadas del chasis tubular.

3. Requisitos, precauciones y evaluación previa

✓ Requisitos:

- Conocer los fundamentos del ensayo por ultrasonido según la norma ISO 17640:2018.
- Manejar correctamente el equipo ultrasónico (transductor, generador, acoplante).
- Identificación de zonas críticas en el chasis, como soldaduras, cruces de tubos y curvaturas.

Precauciones:

- Calibrar el equipo antes de cada inspección para garantizar lecturas fiables.
- Utilizar acoplante adecuado para evitar pérdida de señal ultrasónica.
- Evitar superficies sucias o rugosas que interfieran con el contacto del transductor.

Evaluación previa:

- Asegurar que el operador esté capacitado en la técnica y uso del equipo.
- Verificar que las superficies sean accesibles y estén limpias.
- Realizar una prueba de sensibilidad en una muestra patrón antes de la inspección del chasis.

4. Equipos y materiales

Tabla 29.- Herramientas y elementos empleados en el ensayo ultrasónico del chasis

- Equipo SIUI SyncScan con pantalla táctil.	- Acoplante ultrasónico en gel.
- Transductores angulares (45°, 60°, 70°).	- Probeta de acero.
- Zapatas (según ángulo del transductor).	- Cable coaxial BNC.
- Bloque de calibración ASTM E-164 tipo IWW.	- Limpiador "SPOTCHECK".

Fuente: (Autores)

5. Exposición

La inspección por ultrasonido es un método de evaluación no destructiva para detectar fallas internas en materiales metálicos. En chasis tubulares de karting, permite identificar:

- Grietas internas no visibles en soldaduras.
- Falta de fusión o porosidad en uniones.
- Separaciones internas o delaminaciones en zonas sometidas a impacto.

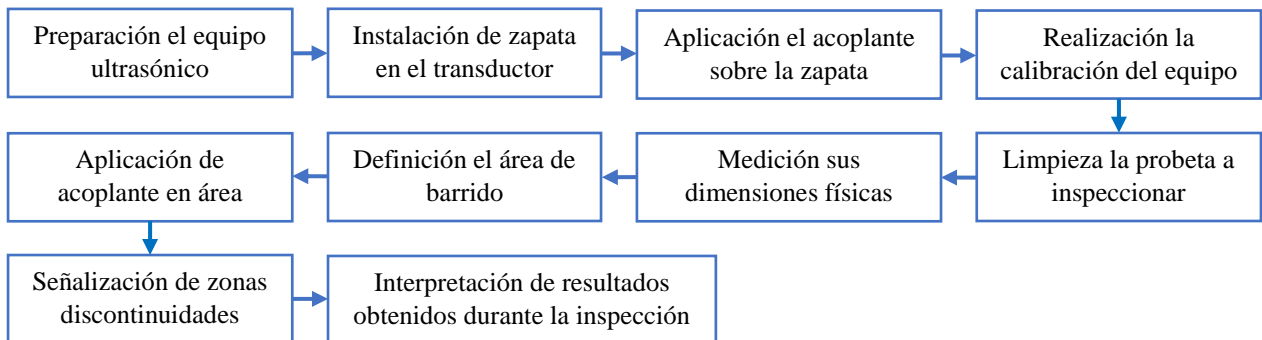
- Daños estructurales por fatiga acumulada.

Este método no requiere desmontar la estructura y puede aplicarse en campo con acceso directo a las superficies, facilitando su uso en mantenimiento y control de calidad.

6. Proceso y procedimiento

Proceso:

Figura 137.- *Etapas para la inspección UT*



Fuente: (Autores)

Procedimiento:

- **Preparación**
 - Verificar conexiones del equipo.
 - Encender el SIUI SyncScan y configurar el canal de inspección (Fig. 138).
 - Aplicar acoplante ultrasónico en la zapata (Fig. 139).

Figura 138.- *Menú del Equipo: SIUI SyncScan*



Nota. Configuración y lectura en pantalla durante ensayo ultrasónico. Fuente: (Autores)

Figura 139.- Patrón de calibración ultrasónica sobre la zapata metálica



Nota. Acoplamiento realizado con bloque patrón según ASTM E164. Fuente: (Autores)

- **Calibración**

- Usar el bloque estándar ASTM E-164.
- Configurar: velocidad (3245 m/s), frecuencia (5 MHz), rango (100 mm), ganancia y ángulo.
- Identificar el punto de salida del haz (punto 0).
- Verificar el ángulo refractado con las marcas de referencia (Fig. 140).

Figura 140.- Calibración y verificación del ángulo



Nota. Visualización en tiempo real durante la calibración del ángulo. Fuente: (Autores)

- **Inspección del chasis**

- Aplicar acoplante sobre las zonas a inspeccionar (Fig. 141).
- Posicionar el transductor sobre soldaduras y refuerzos.
- Observar los ecos generados en la pantalla y registrar los datos relevantes: distancia, amplitud y profundidad del defecto (Fig. 142).

Figura 141.- Aplicación de acoplante sobre el chasis



Nota. Preparación del contacto entre transductor y superficie metálica. Fuente: (Autores)

Figura 142.- Visualización A-scan en ensayo ultrasónico



Nota. Lectura de eco de reflexión y parámetros en inspección por UT. Fuente: (Autores)

- **Limpieza final**

- Limpiar el exceso de acoplante con un trapo seco, apagar y desconectar el equipo, quedando como se representa en la (Fig. 143).

Figura 143.- Chasis del Karting N.º 252 tras limpieza superficial



Nota. Limpieza realizada después de completar el ensayo por ultrasonido. Fuente: (Autores)

7. Resultados esperados y discusión

Resultados:

- Detección de discontinuidades internas como fisuras, poros e inclusiones.
- Análisis del defecto según su profundidad y tipo mediante el A-scan.
- Evaluación de la integridad estructural del chasis para prevenir fallas (Fig. 144).

Figura 144.- Resultado tras inspección ultrasónica



Nota: Visualización de eco intenso indica unión incompleta. Fuente: (Autores)

Discusión:

La inspección por ultrasonido evalúa el interior del chasis sin desmontar piezas, detectando defectos ocultos mediante ondas reflejadas.

Esta técnica se utiliza para:


- Identificar grietas, poros y fallas por fatiga o impacto en soldaduras.
- Evaluar uniones críticas sin causar daño a la estructura.

Ante hallazgos, puede complementarse con métodos como PT o MT.

8. Reporte

El reporte de resultados debe incluir los ítems inspeccionados, hallazgos detectados, equipo ultrasónico utilizado (transductor, acoplante y configuración), así como trazabilidad, códigos de referencia y criterios de aceptación o rechazo. El formato del reporte se lo puede visualizar en la tabla 30.

Tabla 30.- Matriz de datos obtenidos mediante inspección UT. Fuente: (Autores)

	INFORME INSPECCIÓN ULTRASONIDO	N.º Reporte: Fecha de inspección: Cliente:
---	---	---

INFORME GENERAL	
Institución:	Ubicación del proyecto:
Tipo de proyecto:	Normativas:

INFORMACIÓN DE LA INSPECCIÓN
Descripción de la pieza:
Proceso de fabricación:
Tipo de material:
Espesor del material:
Estado del cordón de soldadura:

EQUIPOS Y MATERIALES			
ULTRASONIDO			
Marca:	Modelo:	Rango de frecuencia:	Fuente de poder:
TRANSDUCTOR			
Marca:	Modelo:	Angulo nominal:	Dimensiones:

PARÁMETROS DE LA INSPECCIÓN			
Campo:	Ganancia:	Velocidad del sonido:	Acoplante:

ESQUEMA DE LA JUNTA

<h3 style="margin: 0;">ESQUEMA DE LA JUNTA</h3>

CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

✓ Criterios de Aceptación	✗ Criterios de Rechazo
Ausencia de ecos reflejados anómalos en zonas inspeccionadas.	Ecos con amplitud superior al nivel de rechazo según norma o curva DAC.
Indicios con amplitud por debajo del nivel de referencia aceptable.	Detección de discontinuidades internas como grietas, poros o inclusiones.
Zonas críticas con respuesta acústica homogénea y sin eco anormal.	Zonas con pérdida total o significativa de la señal ultrasónica.
Ecos compatibles con el diseño geométrico del chasis y sus interfaces.	Presencia de indicios en áreas estructuralmente críticas como uniones o nodos.
Resultados repetidos sin aparición de nuevas señales defectuosas.	Resultados no reproducibles con aparición de nuevas señales no explicadas.

REPORTE FOTOGRÁFICO

<h3 style="margin: 0;">REPORTE FOTOGRÁFICO</h3>

EVALUACIÓN DE RESULTADOS						
Tipo de discontinuidad: Poro (P), Mordedura (M), Fisura (F), Zona Porosa (ZP), Esmerilar y Rellenar (ER)						
Tipo	Longitud (mm)	Profundidad (mm)	X (mm)	Y (mm)	Evaluación (aceptada o rechazada)	Observación

9. Conclusión

10. Recomendaciones

11. Referencias

ASTM International. (2010). Norma ASTM E164-10: Práctica estándar para el examen ultrasónico por contacto de soldaduras. <https://store.astm.org/e0164-03.html>

Olympus NDT. (s.f.). Manual de aplicaciones PAUT [Manual técnico]. Scribd. <https://es.scribd.com/doc/251425799/Olympus-NDT-PAUT-Manual>

Elaboración:	Fecha:	Firma:
Revisión:	Fecha:	Firma:
Aprobación:	Fecha:	Firma:

4.5 Manual técnico de inspección por radiografía aplicada al chasis de karting

		FORMATO DE PRÁCTICA DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL
CARRERA: Ingeniería Automotriz		ASIGNATURA: Ensayos No Destructivos
NRO. PRÁCTICA:	5	TÍTULO PRÁCTICA: Manual técnico de inspección por radiografía industrial aplicada al chasis de karting

1. Presentación de la practica

Esta práctica tiene como finalidad aplicar inspección radiográfica para detectar discontinuidades internas o superficiales en el chasis tubular de un karting.

Se empleará un sistema de rayos X digital de Angstrom Advanced Inc. con revelado automático y análisis en Cambridge NDT, sin desmontar el chasis.

2. Objetivos

Objetivo General:

- Aplicar radiografía industrial para evaluar la calidad estructural del chasis tubular del karting e identificar fallas internas sin comprometer su integridad.

Objetivos Específicos:

- Conocer el funcionamiento del equipo digital de rayos X y del software Cambridge NDT.
- Ejecutar una exposición que permita obtener una imagen nítida del cordón de soldadura.
- Evaluar los resultados según la norma AWS D1.1 para determinar su aceptación o rechazo.

3. Requisitos, precauciones y evaluación previa

✓ Requisitos:

- Conocimientos básicos sobre radiografía industrial según norma ISO 5579:2013.
- Manejo de equipos de rayos X y conocimiento del tipo de película o sensor digital utilizado.

- Identificación de zonas críticas en el chasis, como soldaduras, uniones y puntos de impacto.

Precauciones:

- Verificar el estado del equipo radiográfico y realizar controles de seguridad previos.
- Asegurar que el área esté restringida y señalizada para evitar exposición innecesaria.
- Usar dosímetros y protección radiológica conforme a la normativa vigente.

Evaluación previa:

- Confirmar que el operador esté calificado y autorizado para el uso del equipo radiográfico.
- Verificar tiempo, distancia y energía adecuados al material y espesor.
- Comprobar que el sistema de revelado o visualización funcione correctamente.

4. Equipos y materiales

Tabla 31.- Instrumentos y recursos técnicos empleados en el ensayo radiográfico del chasis

- Generador de rayos X Angstrom AXFQ2005.	- Software Cambridge NDT.
- Controlador digital de exposición Angstrom.	- Indicadores de calidad según norma ASTM.
- Pantalla fluorescente o película AA400 (Industrex).	- Negatoscopio, fijador y revelado.
- Dosímetro y EPP: mandil, gafas y guantes plomados.	

Fuente: (Autores)

5. Exposición

La radiografía industrial permite detectar defectos internos en chasis de karting sin desmontar piezas. Permite identificar:

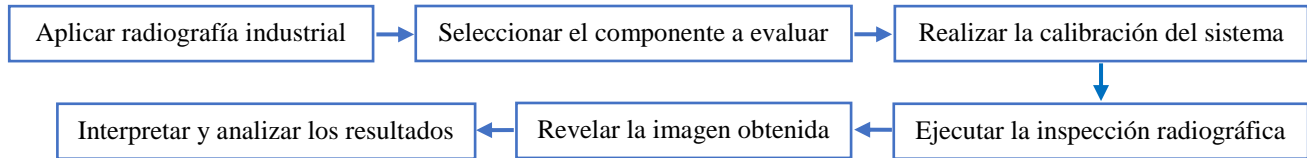
- Grietas internas no visibles a simple vista.
- Porosidad o inclusiones dentro del material.
- Discontinuidades en soldaduras.
- Corrosión interna avanzada.

Este método requiere equipos especializados, pero permite evaluar internamente el componente sin seccionarlo ni desmontarlo.

6. Proceso y procedimiento

Proceso:

Figura 145.- *Etapas para la inspección RT*



Fuente: (Autores)

Procedimiento:

- **Preparación:**

- Seleccionar la zona del chasis y colocar la película bajo la soldadura.
- Colocar el indicador de calidad ASTM en el punto de inspección.
- Ajustar el equipo digital (kV, tiempo y distancia foco-objeto) (Fig. 146) (Fig. 147).

Figura 146.- *Configuración de la unidad de control*



Nota. Ajuste de parámetros para ensayo con partículas magnéticas. Fuente: (Autores)

Figura 147.- *Generador de rayos X sobre el chasis*



Nota. Posicionamiento del equipo para inspección radiográfica. Fuente: (Autores)

- **Exposición:**

- Activar el generador de rayos X (ej. 150 kV por 2 s a 60 cm).
- Realizar el disparo desde la consola de control (Fig. 148).
- Registrar con película o digitalmente con Cambridge NDT.

Figura 148.- Disparo de rayos X sobre chasis desde consola de control.



Nota. Ejecución del ensayo radiográfico en zona crítica del chasis. Fuente: (Autores)

- **Revelado y lectura:**

- Procesar la imagen mediante la unidad de revelado o desde el software.
- Usar negatoscopio para evaluar contraste, nitidez y defectos.
- Verificar longitud, ubicación y tipo de discontinuidad (Fig. 149).

Figura 149.- Resultado radiográfico digital de soldadura en chasis

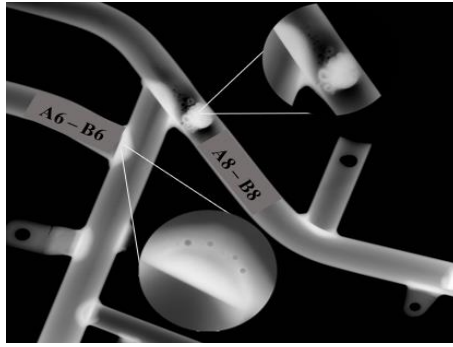


Nota. Visualización digital del resultado radiográfico en zona soldada. Fuente: (Autores)

- **Evaluación:**

- Comparar contra los límites establecidos por AWS D1.1.
- Clasificar la soldadura como aceptada o rechazada.

Figura 150.- Resultado posterior a la inspección radiográfica



Nota. Visualización de porosidad, fisura y falta de fusión de zonas críticas. Fuente: (Autores)

7. Resultados esperados y discusión

Resultados:

- Visualización del cordón de soldadura y detección de fisuras internas (Fig. 150).
- Identificación de porosidad e inclusiones de escoria o tungsteno.
- Observación de falta de fusión o penetración en la soldadura.

Discusión:

La radiografía industrial permite inspeccionar el interior del chasis sin desmontarlo, utilizando rayos X o gamma para obtener imágenes detalladas.

Esta técnica se utiliza para:


- Detectar grietas y poros internos.
- Verificar la calidad de soldaduras.
- Identificar daños por impacto o corrosión interna.

Requiere más preparación, pero permite mayor profundidad que métodos superficiales.

8. Reporte

El reporte debe contener los ítems inspeccionados, hallazgos radiográficos, equipos utilizados y parámetros de exposición, así como la trazabilidad, códigos de referencia y criterios de aceptación o rechazo. El formato se muestra en la tabla 32.

Tabla 32.- Matriz de datos obtenidos mediante inspección RT. Fuente: (Autores)

	INFORME INSPECCIÓN RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL	N.º Reporte: Fecha de inspección: Cliente:
---	--	---

INFORME GENERAL	
Institución:	Ubicación del proyecto:
Tipo de proyecto:	Normativas:

INFORMACIÓN DE LA INSPECCIÓN
Descripción de la pieza:
Proceso de fabricación:
Tipo de material:
Espesor del material:
Estado del cordón de soldadura:

EQUIPOS Y MATERIALES
Limpieza:
Equipo empleado:
Película o detector empleado:
Luz (si aplica):

PARÁMETROS DE INSPECCIÓN
Iluminación:
Temperatura:
Tiempo de exposición:
Tiempo de revelado:
Método de remoción de películas:
Limpieza Final:

ESQUEMA DE LA JUNTA

<h3 style="margin: 0;">ESQUEMA DE LA JUNTA</h3>

CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

✓ Criterios de Aceptación	✗ Criterios de Rechazo
Ausencia de indicaciones radiográficas relevantes como fisuras o escoria.	Presencia de defectos inaceptables como inclusiones, fisuras o poros agrupados.
Presencia de porosidad fina y dispersa dentro de los límites aceptables.	Indicaciones lineales o ramificadas que sugieren falta de fusión o grietas.
Indicios permitidos según la norma y nivel de calidad (B, C o D).	Porosidad excesiva o agrupada en un mismo sector de la soldadura.
Espesor homogéneo y sin variaciones bruscas en la imagen radiográfica.	Discontinuidades dimensionales evidentes como cavidades internas.
Repetibilidad del resultado sin aparición de nuevas indicaciones.	Defectos en zonas estructuralmente críticas como soldaduras o nodos.

REPORTE FOTOGRÁFICO

<h3 style="margin: 0;">REPORTE FOTOGRÁFICO</h3>

EVALUACIÓN DE RESULTADOS						
Tipo de discontinuidad: Poro (P), Mordedura (M), Fisura (F), Zona Porosa (ZP), Esmerilar y Rellenar (ER)						
Tipo	Longitud (mm)	Profundidad (mm)	X (mm)	Y (mm)	Evaluación (aceptada o rechazada)	Observación

9. Conclusión

10. Recomendaciones

11. Referencias

Cambridge NDT. (2020). Manual de radiografía digital NDT [Manual técnico]. Scribd.

<https://es.scribd.com/document/624098598/DOC-NDT-Digital-Radiography>

ASTM International. (2006). ASTM E1742-06: Práctica estándar para el examen radiográfico

[Norma técnica]. <https://store.astm.org/e1742-06.html>

American Welding Society. (2020). AWS D1.1/D1.1M:2020 – Structural Welding Code: Steel

(2nd printing) [Norma técnica]. <https://pubs.aws.org/p/2104/d11d11m2020-2nd-printing-structural-welding-code-steel>

Elaboración:	Fecha:	Firma:
Revisión:	Fecha:	Firma:
Aprobación:	Fecha:	Firma:

CONCLUSIONES

El presente trabajo de la evaluación estructural del chasis tubular del Karting N.º 252 permitió establecer un proceso técnico fundamentado en normas ISO, capaz de diagnosticar de manera precisa las condiciones internas y externas de soldaduras críticas. El uso de métodos no destructivos como inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, radiografía industrial y ultrasonido, todos aplicados bajo normativas internacionales específicas, aseguró la rigurosidad del procedimiento y permitió obtener un diagnóstico integral de la estructura.

Los ensayos no destructivos al chasis del Karting N.º 252 revelaron porosidades en las juntas 3, 6, 7 y 8, y fallas de fusión en las juntas 5, 8 y 9. La más crítica fue la B-8, con porosidad, fisuras y pérdida de continuidad, confirmadas por cinco métodos. Como solución, se propuso incorporar cartelas de refuerzo para mejorar la rigidez, la continuidad estructural y la distribución de esfuerzos en las zonas afectadas.

La simulación estructural mediante elementos finitos (FEA) permitió evaluar el comportamiento del chasis en condiciones similares a las de competición. El diseño original presentó un esfuerzo máximo de 135,89 MPa, una deformación de 0,11626 mm y un factor de seguridad de 0,6 en el nodo B-8. Tras rediseñar la parte posterior con refuerzos, la nueva simulación mostró una mejor distribución de esfuerzos, una deformación de 0,1727 mm y factores de seguridad superiores a 10, validando la efectividad de la mejora.

Como resultado final, se elaboró una guía práctica que documenta todo el proceso de inspección y validación estructural mediante END, con criterios de aceptación, recomendaciones de reparación y frecuencias de control. Este documento sirve como base metodológica para futuras evaluaciones en vehículos similares y aporta un estándar replicable en contextos de formación, competencia y mantenimiento avanzado.

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar de forma permanente el proceso de evaluación estructural no destructiva propuesto para todos los chasis utilizados en actividades de karting académicas o competitivas. Su aplicación sistemática permitirá detectar fallas a tiempo, reducir riesgos de accidentes y prolongar la vida útil de los kartings.

Es fundamental que, antes de cada temporada de uso, se realicen inspecciones visuales completas bajo la norma ISO 17637, acompañadas por pruebas con partículas magnéticas y líquidos penetrantes (ISO 9934-1 y ISO 3452-1, respectivamente), especialmente en las zonas de soldadura y uniones estructurales. En caso de detectar fisuras o debilitamientos, debe restringirse el uso del kart hasta su reparación o reemplazo.

Adicionalmente, se recomienda que los chasis sometidos a cargas repetitivas sean evaluados mediante métodos, como la inspección radiográfica (ISO 5579), para detectar defectos internos no visibles que comprometan la resistencia estructural. Aunque la inspección por ultrasonido (ISO 17640) es viable, no se sugiere como técnica debido al bajo espesor de los tubos y al tipo de soldadura “boca de pescado”, que dificulta la propagación y lectura de las ondas ultrasónicas. Su aplicación es posible, pero con eficacia limitada en estos casos.

Con base en los resultados de la simulación FEA y la comparación entre el modelo original y el rediseñado, se recomienda reemplazar el chasis actual por una nueva versión que integre las mejoras estructurales propuestas. Esta medida garantizará un mejor rendimiento mecánico, mayor rigidez y seguridad para el conductor en prácticas o competencias.

Finalmente, se recomienda documentar de manera estandarizada todos los procesos de evaluación realizados, con registros fotográficos, informes técnicos y seguimiento cronológico. Esto facilitará la trazabilidad del mantenimiento y permitirá llevar un control técnico más riguroso sobre el estado estructural de los vehículos utilizados.

BIBLIOGRAFÍA

Smith, G. M. (2025, febrero 5). ¿Qué son las pruebas destructivas y no destructivas? Dewesoft. Obtenido de <https://dewesoft.com/blog/what-are-destructive-and-nondestructive-testing>

Quezada Poma, P. A. (2018). Diseño y fabricación del chasis para un kart KF4 según la normativa CIK/FIA [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15766>

Hellier, Charles J., ed. (2020). Manual de evaluación no destructiva . 3.^a ed. Nueva York: McGraw-Hill Access Engineering. Obtenido de <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260441437>

LinkedIn. (2023). Nuevos avances en ensayos no destructivos para la detección de fallas internas. Obtenido de: <https://es.linkedin.com/pulse/nuevos-avances-en-ensayos-destructivos-para-la-detecci%C3%B3n-blbte>

ISO 17637:2016. Ensayos no destructivos de soldaduras — Inspección visual de uniones soldadas por fusión. International Organization for Standardization. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/67259.html>

ISO 9934-1:2016. Ensayos no destructivos — Ensayo por partículas magnéticas — Parte 1: Principios generales. International Organization for Standardization. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/71070.html>

ISO 3452-1:2021. Ensayos no destructivos — Ensayo por líquidos penetrantes — Parte 1: Principios generales. International Organization for Standardization. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/75696.html>

ISO 5579:2013. Ensayos no destructivos — Ensayo radiográfico de materiales metálicos utilizando técnicas de película — Reglas básicas. International Organization for Standardization. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/57742.html>

ISO 17640:2018. Ensayos no destructivos de soldaduras — Ensayo por ultrasonidos — Técnicas, niveles de ensayo y evaluación. International Organization for Standardization. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/75737.html>

Grupo Testek. (2022, 15 de marzo). Inspección de soldaduras con ensayos no destructivos. Obtenido de <https://www.testekndt.net/inspeccion-de-soldaduras-con-ensayos-no-destructivos/>

SlidePlayer. (2015). Ventajas y desventajas de los ensayos no destructivos (END). Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/5643608/>

ASNT. (2024). ¿Qué son los ensayos no destructivos (END)? Obtenido de <https://asnt.org/What-Is-Nondestructive-Testing>

IPEND. (2024). Inspección visual (VT) – Ensayos no destructivos. Obtenido de: <https://ipend.es/ensayos-no-destructivos/inspeccion-visual-vt>

Mark Williams Enterprises. (2025). Inspección de Magnaflux. Obtenido de <https://www.markwilliams.com/magnaflux.html>

IPEND. (2024). Partículas magnéticas – Ensayos no destructivos. Obtenido de: <https://ipend.es/ensayo-no-destructivo-particulas-magneticas>

estudiantesmetalografia. (29 de enero, 2015). 12.4.2 Pruebas no destructivas volumétricas. En Metalografía – Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de <https://blog.utp.edu.co/metalografia/12-4-2-pruebas-no-destructivas-volumetricas/>

Bernardi, M. (2018, 6 de octubre). Corte, doblado y soldadura: la receta adecuada para fabricar un chasis kart. TKART Magazine. Obtenido de <https://tkart.it/es/magazine/como-hacer-para-fabricar-un-chasis-kart>

Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo (FEDAK). (2024). Reglamento General de Circuitos 2024. Obtenido de <https://fedak.com.ec/wp-content/uploads/2024/02/Reglamento-General-de-Circuitos-2024-Definitivo.pdf>

ROKCUPECUADOR. (2019). Tu seguridad es primero. Si vas a realizar un entrenamiento o competir, es importante que uses el equipamiento necesario para protegerte. Facebook. Obtenido de <https://www.facebook.com/rokcupecuador/posts/443233872913752>

Extech Instruments. (2024). HDV600 High Definition VideoScope. Obtenido de <https://www.extech.com/products/hdv600>

eBay. (2025). Extech HDV600 USB Video Borescope Kit. Obtenido de <https://www.ebay.co.uk/p/1050842888>

Magnaflux. (2024). Equipo para líquidos penetrantes ZA-1633. Obtenido de <https://magnaflux.mx/Productos/Ensayos-por-Liquidos-Penetrantes/Equipo/ZA-1633.htm>

NDT Supply. (2024). Magnaflux Y-7 AC/DC Electromagnetic Yoke. Obtenido de <https://ndtsupply.com/magnetic-particle-equipment/yokes/yokes-magnaflux/magnaflux-y-7-ac-dc-electromagnetic-yoke/>

GSL NDT. (2024). SIUI SyncScan – Equipo ultrasónico phased array portátil. Obtenido de <https://gsl-ndt.pe/producto/siui-syncscan/>

MFE Inspection Solutions. (2025). Industrial Radiography: An In-Depth Guide. Obtenido de <https://mfe-is.com/industrial-radiography/>

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). Fundamentos de ciencia e ingeniería de materiales (9.^a ed.). Reverté.pdf Obtenido de: <https://www.reverte.com/media/reverte/files/book-attachment-2717.pdf>

Nogurukart. (2024). Características y mantenimiento del chasis de un kart. Obtenido de <https://www.nogurukart.com/2-Mantenimiento/chasis/indexchasis.html>

Kosmic Kart. (2024). Mercury R – Chasis homologado CIK-FIA. Obtenido de https://www.kosmickart.com/telai_mercuryr_eng.php

Astar Legal. (2021). ISO 9712:2021 – Certificación en ensayos no destructivos. Obtenido de <https://astarlegal.com/iso-9712-2021-non-destructive-testing-certification/>

Kassapoglou, C. (2010). Fatigue and Damage Tolerance for Composite Materials. Wiley. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/257409820_A_critical_assessment_on_Kassapoglou's_statistical_model_for_composites_fatigue

Castro Lisintuña, C. D. (2018). Caracterización de las probetas soldadas por fricción mediante pruebas de tracción y torsión para materiales: acero AISI 1018, acero AISI 1045, aluminio y bronce SAE 40 de 10 mm de diámetro (Bachelor's thesis). Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15220/4/UPS-KT01494.pdf>

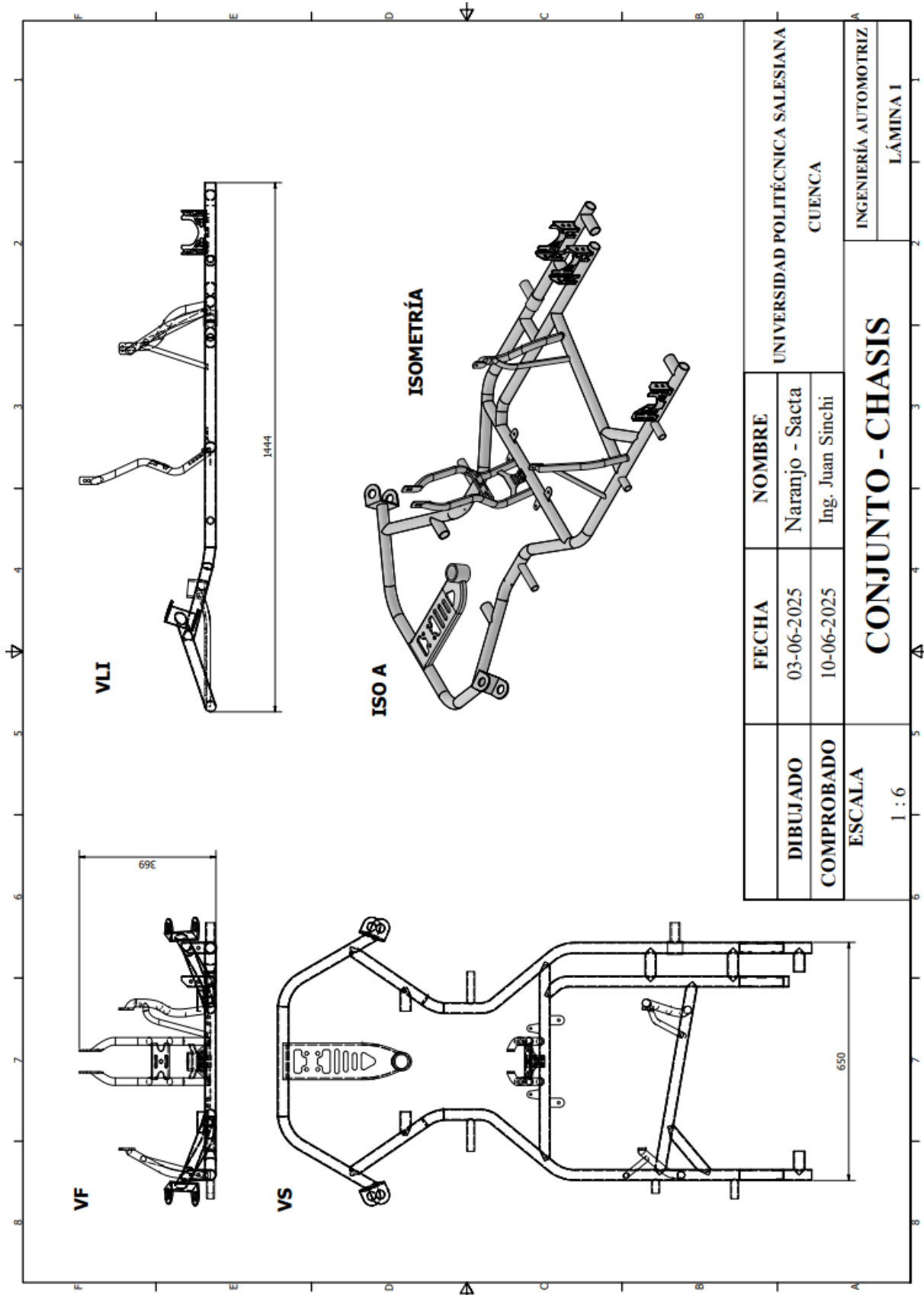
Extech Instruments. (2025). HDV600 VideoScope and 5.5 mm Inspection Camera. JM Test Systems. Obtenido de <https://jmttest.com/i/extech-hdv600-videoscope-and-5-5mm-diameter-inspection-camera/>

KCF Corporación. (2024). SKC-S – Limpiador/removedor con base de solvente Magnaflux. Obtenido de <https://kcfcorporacion.com/tienda/skc-s-limpiador-removedor-con-base-de-solvente-magnaflux/>

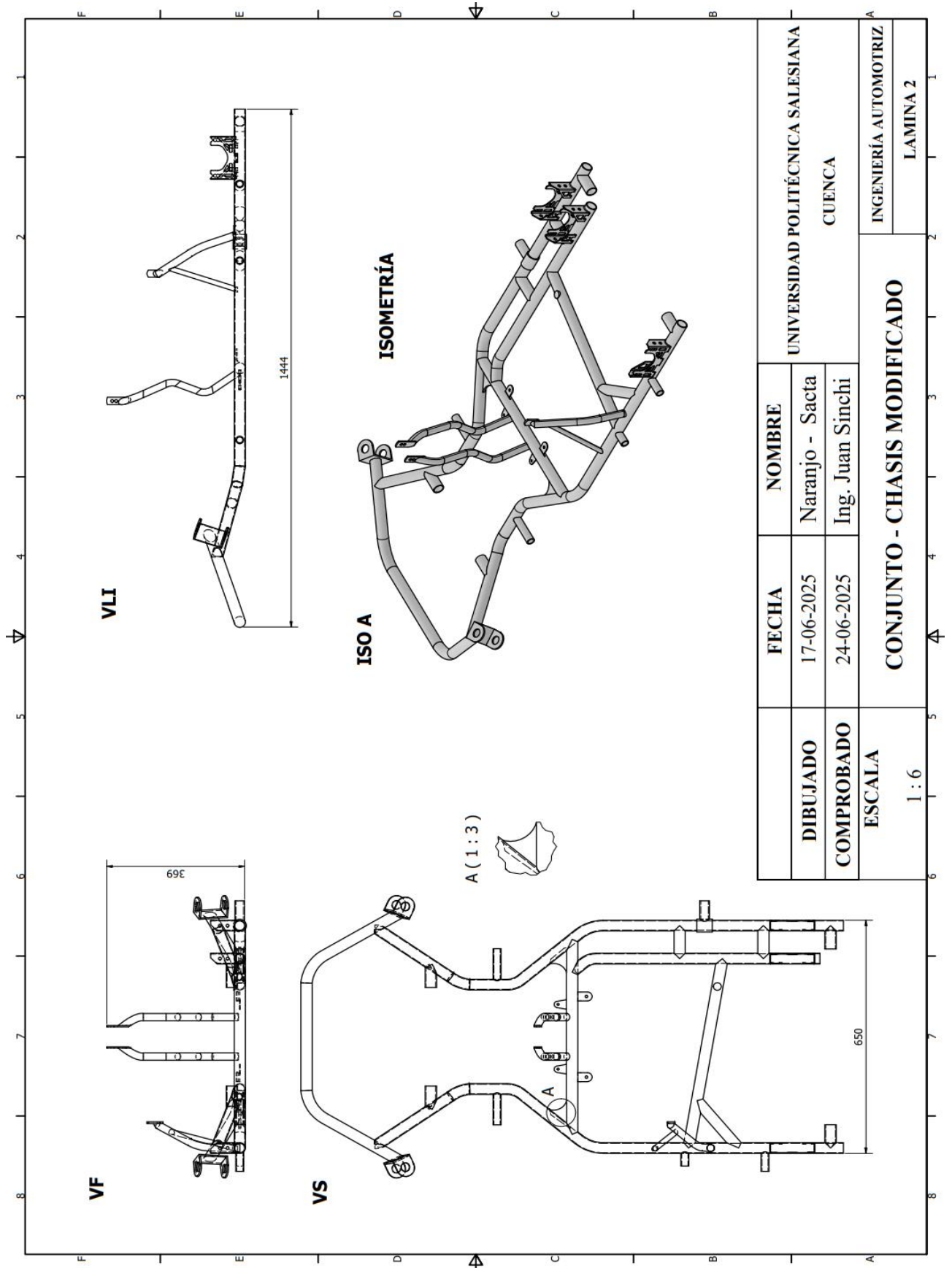
HighTech NDT. (2024). Aplicadores para líquidos penetrantes y removedores. Obtenido de <https://hightech-ndt.com/producto/aplicadores-2/>

Ferreterías Industriales. (2024). Disolvente universal nitro valorizado 500 ml – Envase metálico. Obtenido de <https://ferreteriasindustriales.es/disolventes/10223-disolvente-universal-nitro-valorizado-500ml-envase-metalico-8429391312387.html>


ANEXOS



Anexo 1.- Dimensiones del chasis



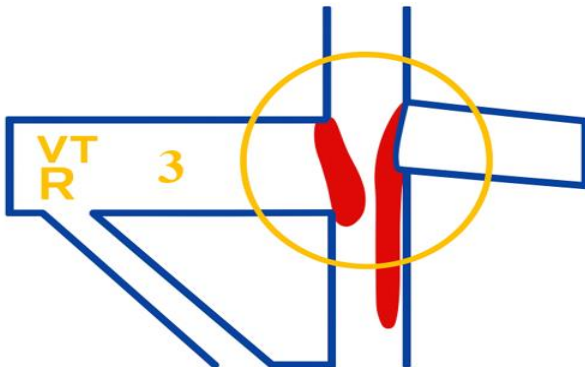
Anexo 2.- Modificación estructural del chasis según la propuesta

	INFORME INSPECCIÓN VISUAL	N.º Reporte: 0023-KART-2025 Fecha de inspección: 26/06/2025 Cliente: UPS
---	--	---

INFORME GENERAL	
Empresa: Universidad Politécnica Salesiana	Ubicación del proyecto: Sede Cuenca - Laboratorio de Mecánica
Tipo de proyecto: Evaluación estructural no destructiva de chasis tubular de karting	Normativas: ISO 17637:2016

INFORMACIÓN DE LA INSPECCIÓN
Descripción de la pieza: Chasis tubular de karting N.º 252
Proceso de fabricación: Soldadura por arco eléctrico con electrodos revestidos
Tipo de material: Acero aleado
Espesor del material: 2 mm
Estado del cordón de soldadura: Presenta zonas uniformes y otras con indicios de fatiga superficial

EQUIPOS Y MATERIALES
Limpieza: Realizada con paño seco antes y después de la inspección
Calibres para inspección visual: Galgas de soldadura, lupa de 10x
Equipos para inspección visual: Boroscopio HDV600 (Extech Instruments)
Iluminación: Luz LED integrada en el boroscopio

ESQUEMA DE LA JUNTA
<p>Figura 151.- Junta inferior A-3 con detección de porosidad concentrada mediante VT-R</p>

<p>Fuente: (Autores)</p>

CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

☑ Criterios de Aceptación	✗ Criterios de Rechazo
Ausencia de fisuras visibles en soldaduras, uniones y zonas de alta carga.	Presencia de fisuras o grietas abiertas, especialmente en zonas críticas.
Soldaduras uniformes y completas sin porosidad, socavado ni sobreespesor excesivo.	Soldaduras defectuosas: porosidad, falta de fusión, grietas, socavados o escoria.
Superficie limpia y sin corrosión activa significativa.	Corrosión severa o perforante con pérdida de material.
Geometría estructural íntegra, sin deformaciones ni alabeos visibles.	Deformaciones estructurales evidentes que alteren la forma del chasis.
Ausencia de impactos severos, hundimientos o zonas abolladas.	Zonas impactadas o con hundimientos visibles en la estructura tubular.
Protección superficial en buen estado, con pintura sin desprendimientos importantes.	Pérdida de continuidad estructural en elementos de carga.

REPORTE FOTOGRÁFICO

Figura 152.- Detección superficial de microporos en la soldadura



Fuente: (Autores)

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Tipo de discontinuidad: Poro (P), Mordedura (M), Fisura (F), Zona Porosa (ZP), Esmerilar y Rellenar (ER)

Tipo de Discontinuidad:	Observaciones:	Evaluación: (aceptada o rechazada)
Fisura (F)	En zona de soldadura lateral derecha, visible a boroscopio	Rechazada
Zona Porosa (ZP)	Porosidad leve en curvatura inferior trasera	Rechazada

Mordedura (M)	Socavado en unión frontal superior	Rechazada
Fisura (F)	Indicación lineal en VT-R3 con penetrante acumulado en zona	Rechazada

- **Conclusión**

La inspección visual realizada según la norma ISO 17637:2016 evidenció que el chasis presenta varias discontinuidades críticas, incluyendo fisuras y zonas con porosidad y socavado. Estas condiciones comprometen la integridad estructural, por lo que el componente debe ser reparado antes de su uso competitivo.

- **Recomendaciones**

- Realizar reparación de las fisuras mediante soldadura controlada.
- Repetir la inspección luego de la intervención para verificar resultados.
- Aplicar tratamiento anticorrosivo en zonas reparadas.



- **Referencias**


ISO 17637:2016. Ensayos no destructivos de soldaduras — Inspección visual de uniones soldadas por fusión. International Organization for Standardization.

FLIR Systems. (2018). HDV600 High-Definition Videoscope User Manual. Extech Instruments.

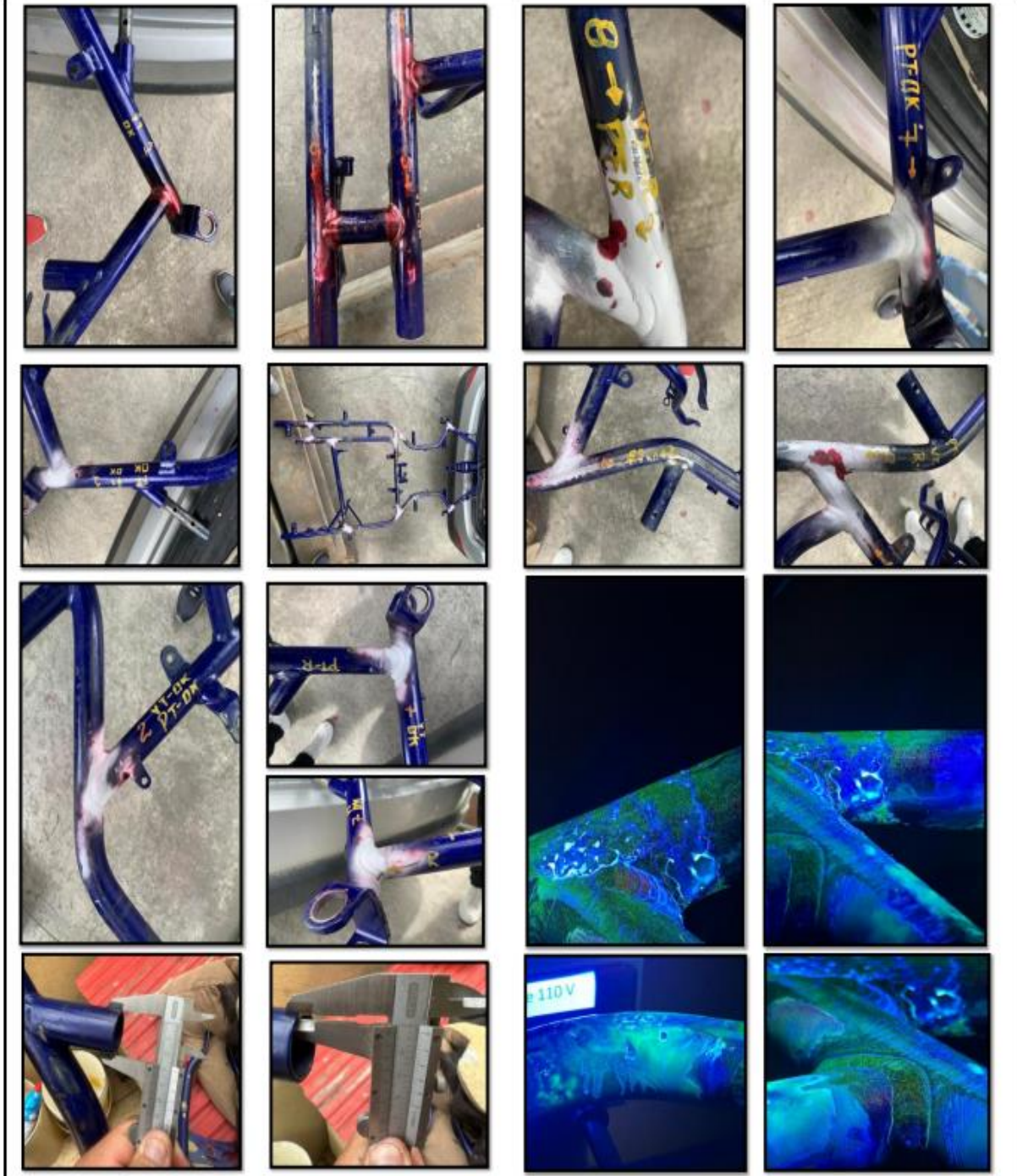
Elaboración: Erick Sacta – Erick Naranjo	Fecha: 26/06/2025	Firma: Erick Sacta – Erick Naranjo
Revisión:	Fecha: 26/06/2025	Firma:
Aprobación:	Fecha: 26/06/2025	Firma:


Anexo 3.- Modelo de registro para el reporte de inspección


SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD		REPORTE DE INSPECCION DE ESTRUCTURAS SOLDADAS		ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS NDT																																														
 N.S. INSPECCION DE SOLDADURA	CLIENTE:	ERICK FERNANDO SACTA CARDENAS - ERICK ALEXANDER NARANJO MORA	TUTOR:	ING. JUAN PABLO SINCHI RIVAS, MSc.	SIN LOGO																																													
	PROYECTO:	PROPUESTA DE UN PROCESO DE EVALUACION ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA PARA LA COMPARACION DE CHASIS TUBULARES DE KARTING, BASADO EN LINEAMIENTOS DE NORMAS ISO																																																
	REG. No.:	1	UBICACION:	CUENCA																																														
	FECHA:	26/5/2025	PAGINA:	1 DE 5																																														
REQUERIMIENTO																																																		
INSPECCION VISUAL DE ELEMENTOS SOLDADOS: A petición de los clientes, se requiere la inspección técnica de las uniones soldadas aplicando los requerimientos de la norma ISO 17837 para inspección visual, ISO 3452-1 para líquidos penetrantes, con el objetivo de garantizar la sanidad y seguridad de las uniones soldadas que conforman el chasis. Para el efecto VISUAL se usarán herramientas manuales, metrológicas avalados por las normas.																																																		
DATOS GENERALES																																																		
INSPECTOR:	ING. ALVARO NARANJO	INSPECTOR VISUAL: NIVEL II	CERTIFICACION: AD - NDT - 4306	PRACTICA RECOMENDADA:																																														
		INSPECTOR TINTES PENETRANTES: NIVEL II	CERTIFICACION: AD - NDT - 8192	ASNT - NDT - SNT - TC - 1A - 2020																																														
INSPECCION VISUAL (VT):	A CRITERIO DEL CLIENTE	TINTES PENETRANTES (PT):	A CRITERIO DEL CLIENTE	PARTICULAS MAGNETICAS (MT):	A CRITERIO DEL CLIENTE																																													
				ULTRADONIDO (UT):	N/A																																													
PLANO ESTRUCTURAL No.		RESPONSABLE:	SIN DETALLE	PLANO DEL CONSTRUCTOR No.	N/A																																													
				RESPONSABLE:	N/A																																													
UBICACION																																																		
PROVINCIA:	AZUJAY	CANTON:	CUENCA	PARROQUIA:	CUENCA																																													
				COORDENADAS:	-2.886803, -78.989609																																													
DESCRIPCION GENERAL																																																		
NOMENCLATURA : IF falta fusión - P poros - CC concavidad - CR cráter - F fisura - M mordedura C convexidad - SB soldadura baja - O otros																																																		
ESQUEMA DE SOLDADURAS Y JUNTAS																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">TIPO DE JUNTA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B Butt, A tope</td> <td>T en "T"</td> <td>C Corner, Esquina</td> <td>L Lap, Traslape</td> <td>F Flare, Reborde</td> <td>E Edge</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="9">TIPO DE SOLDADURA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 Square-groove</td> <td>2 Single-V-groove</td> <td>3 Double-V-groove</td> <td>4 Single-bevel-groove</td> <td>5 Double-bevel-groove</td> <td>10 Flare-bevel-groove</td> <td>11 Flare-V-groove</td> <td>12 Fillet weld</td> <td>13 Double fillet weld</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						TIPO DE JUNTA						B Butt, A tope	T en "T"	C Corner, Esquina	L Lap, Traslape	F Flare, Reborde	E Edge							TIPO DE SOLDADURA									1 Square-groove	2 Single-V-groove	3 Double-V-groove	4 Single-bevel-groove	5 Double-bevel-groove	10 Flare-bevel-groove	11 Flare-V-groove	12 Fillet weld	13 Double fillet weld									
TIPO DE JUNTA																																																		
B Butt, A tope	T en "T"	C Corner, Esquina	L Lap, Traslape	F Flare, Reborde	E Edge																																													
TIPO DE SOLDADURA																																																		
1 Square-groove	2 Single-V-groove	3 Double-V-groove	4 Single-bevel-groove	5 Double-bevel-groove	10 Flare-bevel-groove	11 Flare-V-groove	12 Fillet weld	13 Double fillet weld																																										
INSPECCION DE JUNTAS SOLDADAS																																																		
ELEMENTO				UBICACION		TIPO DE :		SOLDADOR	DEFECTO	APRUEBA SIN	INSPECTOR	ENSAYOS NDT				OBS.																																		
NIVEL	NOMBRE UNION	ESPESOR mm	DIAMETRO mm	EJE	CANT	JUNTA	SOLD.					VT	PT	MT	UT																																			
0+00	A - 1	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE		S	A. NARANJO	OK	OK	OK																																				
0+00	A - 2	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE		S	A. NARANJO	OK	OK	OK																																				
0+00	A - 3	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE	P	N	A. NARANJO	R	R	OK																																				
0+00	A - 4	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE		S	A. NARANJO	OK	OK	OK																																				
0+00	A - 5	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE		S	A. NARANJO	OK	OK	OK																																				
0+00	A - 6	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE	M	N	A. NARANJO	OK	R	OK																																				
0+00	A - 7	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE	P	N	A. NARANJO	OK	R	R																																				
0+00	A - 8	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE	P - IF	N	A. NARANJO	R	R	OK																																				
0+00	A - 9	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE		S	A. NARANJO	OK	OK	OK																																				
0+00	B - 1	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE		S	A. NARANJO	OK	OK	OK																																				
0+00	B - 2	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE		S	A. NARANJO	OK	OK	OK																																				
0+00	B - 3	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE		S	A. NARANJO	OK	OK	OK																																				
0+00	B - 5	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE	M	N	A. NARANJO	OK	R	OK																																				
0+00	B - 6	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE		S	A. NARANJO	OK	OK	OK																																				
0+00	B - 7	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE		S	A. NARANJO	OK	OK	OK																																				
0+00	B - 8	1,50	30	N/A	1	T	1	SIN DETALLE	P - IF	N	A. NARANJO	R	R	R																																				
TOTAL INSPECCIONADO mm		480	mm	16	juntas																																													
INSPECCIONADO POR:																																																		
NOMBRE:						ING. ALVARO NARANJO																																												
CARGO:						INSPECTOR DE SOLDADURA NNT-TC-1A NIVEL II VT-PT-UT																																												
FIRMA:						 Firmado digitalmente por ALVARO PAUL NARANJO SANANGO (Incluir autenticación con QRcode)																																												
FECHA:																																																		

 <p>N.S. INSPECCION DE SOLDADURA</p>	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD		SIN LOGO
	REPORTE DE INSPECCION DE ESTRUCTURAS SOLDADAS		
	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS NDT		
	CONTRATISTA: ERICK FERNANDO SACTA CARDENAS - ERICK ALEXANDER NARANJO MORA	FISCALIZADOR: ING. JUAN PABLO SINCHI RIVAS, MSc.	
	PROYECTO: PROPUESTA DE UN PROCESO DE EVALUACION ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA PARA LA COMPARACION DE CHASIS TUBULARES DE KARTING, BASADO EN LINEAMIENTOS DE NORMAS ISO		
REG. No.: 1	UBICACION: CUENCA		
FECHA: 26/5/2025	PAGINA: 2 DE 5		

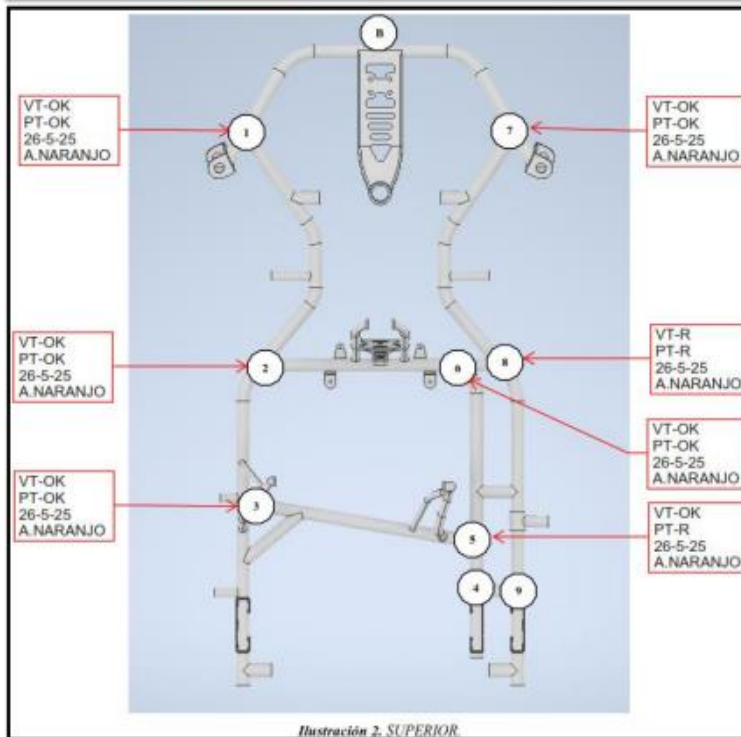
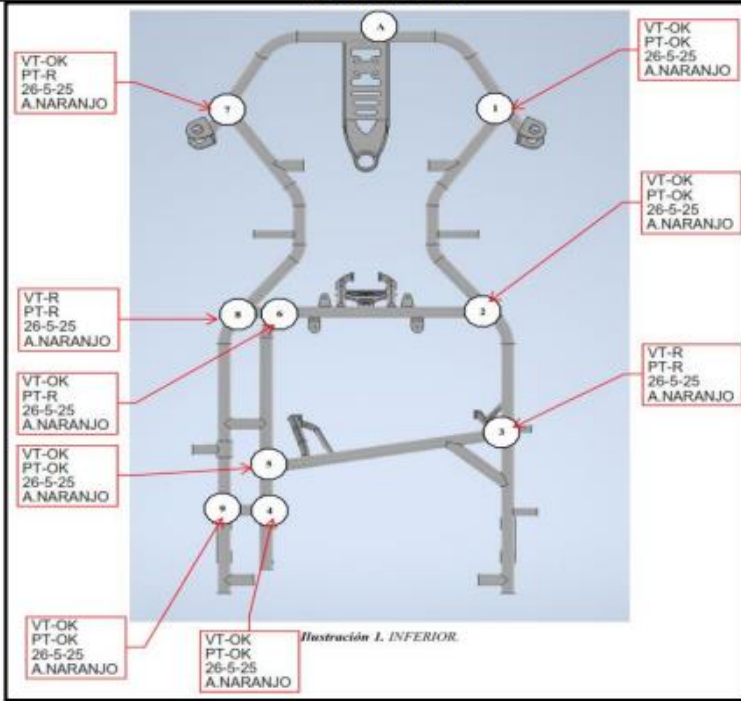
REPORTE FOTOGRAFICO





	INSPECCIONADO POR:	
NOMBRE:	ING. ALVARO NARANJO	
CARGO:	INSPECTOR DE SOLDADURA CERTIFICADO SNT-TC-1A NIVEL II VT-PT-UT	
FIRMA:	 ALVARO PAUL NARANJO NARANJO	
FECHA:		

 <p>N.S. INSPECCION DE SOLDADURA</p>	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD		SIN LOGO		
	REPORTE DE INSPECCION DE ESTRUCTURAS SOLDADAS				
	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS NDT				
	CONTRATISTA:	CARDENAS - ERICK ALEXANDER		FISCALIZADOR:	ING. JUAN PABLO SINCHI RIVAS, MSc.
	PROYECTO:	PROPUESTA DE UN PROCESO DE EVALUACION ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA PARA LA COMPARACION DE CHASIS TUBULARES DE KARTING, BASADO EN LINEAMIENTOS DE NORMAS ISO			
REG. No.:	1	UBICACIÓN:	CUENCA		
FECHA:	26/5/2025	PAGINA:	3 DE 5		

MAPA DE SOLDADURA



INSPECCIONADO POR:	
ING. ALVARO NARANJO	
NOMBRE:	
CARGO:	INSPECTOR DE SOLDADURA NNT-TC-1A NIVEL II VT-PT-UT
FIRMA:	 <p>ALVARO PAUL NARANJO NARANJO</p>
FECHA:	

 <p>N.S. INSPECCION DE SOLDADURA</p>	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD		SIN LOGO		
	REPORTE DE INSPECCION DE ESTRUCTURAS SOLDADAS				
	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS NDT				
	CONTRATISTA:	CARDENAS - ERICK ALEXANDER NARANJO MORAN		FISCALIZADOR:	ING. JUAN PABLO SINCHI RIVAS, MSc.
	PROYECTO:			PROPUESTA DE UN PROCESO DE EVALUACION ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA PARA LA COMPARACION DE CHASIS TUBULARES DE KARTING, BASADO EN LINEAMIENTOS DE NORMAS ISO	
REG. No.:	1	UBICACION:	CUENCA		
FECHA:	26/5/2025	PAGINA:	4 DE 5		

CERTIFICACIONES



CERTIFICATE

Personnel Certification Record

This Certificate attests that

ÁLVARO PAÚL NARANJO SANANGO

AD - NDT - 4306

Has been requalified on the satisfactory on-going performance evidence according to recommended practice SNT-TC-1A-2020

Visual acuity: Satisfied
Visual Contrast: Customer is NOT colorblind

METHOD	LEVEL	FIRST CERTIFICATION	RECERTIFICATION EXAMINER	RECERTIFICATION	EXPIRATION DATE RECERTIFICATION
Visual Inspection	II	June 03 / 2015 Alberto F. Reyna O. ASNT NDT LEVEL III Nro. 121763	Alberto F. Reyna O. ASNT NDT LEVEL III Nro. 121763	June / 2018 June / 2023	June / 2028



Alberto F. Reyna O, P.E.
ASNT NDT Level III N. 121763
www.asnt.org
areyna@ademinasa.com

Lima / Peru, June / 2023



CERTIFICATE

Personnel Certification Record

This Certificate attests that

ÁLVARO PAÚL NARANJO SANANGO

AD - NDT - 8192

Has been requalified on the satisfactory on-going performance evidence according to recommended practice SNT-TC-1A-2020


Visual acuity: Satisfied
Visual Contrast: Customer is NOT colorblind

METHOD	LEVEL	FIRST CERTIFICATION	RECERTIFICATION EXAMINER	RECERTIFICATION	EXPIRATION DATE RECERTIFICATION
Penetrant Testing	II	June 26 / 2021 Alberto F. Reyna O. ASNT NDT LEVEL III Nro. 121763	Alberto F. Reyna O. ASNT NDT LEVEL III Nro. 121763	June / 2023	June / 2028



Alberto F. Reyna O, P.E.
ASNT NDT Level III N. 121763
www.asnt.org
areyna@ademinasa.com

Lima / Peru, June / 2023

	INSPECCIONADO POR:	
NOMBRE:	ING. ÁLVARO NARANJO	
CARGO:	INSPECTOR DE SOLDADURA CERTIFICADO SNT-TC-1A NIVEL I VT-PT-UT	
FIRMA:	 ALVARO PAUL NARANJO SANANGO	
FECHA:		

 N.S. INSPECCION DE SOLDADURA	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD REPORTE DE INSPECCION DE ESTRUCTURAS SOLDADAS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS NDT		SIN LOGO	
	CONTRATISTA: CARDENAS - ERICK ALEXANDER	FISCALIZADOR: ING. JUAN PABLO SINCHIQUIVA, MSU		
	PROYECTO: PROPIEDAD DE UN PROCESO DE EVALUACION ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA PARA LA COMPARACION DE CHASIS TUBILARES DE KARTING, BASADO EN LINEAMIENTOS DE NORMAS ISO			
	REG. No.: 1	UBICACION: CUENCA		
	FECHA: 26/5/2025	PAGINA: 5 DE 5		

CERTIFICACIONES



CERTIFICATE

Personnel Certification Record

This Certificate attests that

ÁLVARO PAÚL NARANJO SANANGO

AD – NDT - 9192


Has been requalified on the satisfactory on-going performance evidence according to recommended practice SNT-TC-1A-2020

Visual acuity: Satisfied
 Visual Contrast: Customer is NOT colorblind

METHOD	LEVEL	FIRST CERTIFICATION	RE-CERTIFICATION EXAMINER	RE-CERTIFICATION	EXPIRATION DATE RE-CERTIFICATION
Magnetic Particles Testing	II	June 28, 2021 Alberto F. Reyna O. ASNT NOT LEVEL III No. 121763	Alberto F. Reyna O. ASNT NOT LEVEL III No. 121763	June / 2023	June / 2028




 Alberto F. Reyna O., P.E.
 ASNT NOT Level III N. 121763.
www.asnt.org
areyna@edcontmsa.com

Lima / Peru, June / 2023

	INSPECCIONADO POR:	
NOMBRE:	ING. ÁLVARO NARANJO	
CARGO:	INSPECTOR DE SOLDADURA CERTIFICADO SNT-TC-1A NIVEL II VT-PT-UT	
FIRMA:	 ALVARO PAUL NARANJO SANANGO	
FECHA:		

Anexo 4.- Reporte de inspecciones de END: VT - PT - MT

QC WELDING	INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS - MEDIANTE ULTRASONIDO		FECHA DE INSPECCIÓN 12-MAYO-2025	
			REPORTE N°1 NDT-CHASIS	
DATOS DE IDENTIFICACIÓN				
Especificaciones	AWS D1.1 2020	Cliente:	SR. ERICK NARANJO	
Proyecto	PROYECTO DE TITULACIÓN	Localización:	CHAULLABAMBA	
Inspeccionado por:	ING. ALEXANDER CANGA	NDT	INSPECCIÓN VISUAL, TINTAS PENETRANTES, ULTRASONIDO	
Aprobado por:	ING. SANTIAGO CAGUANA	Descripción:	INSPECCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA	
ANTECEDENTES				
<p>Por solicitud del contratante, y como requerimiento técnico dentro de las especificaciones de la estructura metálica se realizó el control de calidad de soldadura, tal como se establece en los estándares de construcción. Aplicando ensayos no destructivos mediante ULTRASONIDO correspondiente a la soldadura de la estructura del chasis</p> <p>El objetivo de la inspección es brindar información del estado real de las soldaduras evaluando en base de las especificaciones y las normas que rigen en el Ecuador para este tipo de ensayos.</p>				
1	DETALLES GENERALES ORDEN NDT (ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS)			
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN		
1	MUESTREO	INSPECCIÓN VISUAL		
2	MUESTREO	TINTAS PENETRANTES (NO SE APLICÓ)		
3	MUESTREO	ULTRASONIDO		
ITEM	ENSAYO NO DESTRUCTIVO	CODIGO DE EJECUCION	ESPECIFICACION ADICIONAL	
1	INSPECCIÓN VISUAL	AWS D1.1 2020	CARGAS ESTATICAS	
1	ULTRASONIDO	AWS D1.1 2020	CARGAS ESTATICAS	
2	TINTAS PENETRANTES	ASTM E165 / ASTM E 1417 / AWS D1.1 2020	CARGAS ESTATICAS	

QC WELDING	INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS - MEDIANTE ULTRASONIDO		FECHA DE INSPECCIÓN 12-MAYO-2025
			REPORTE N°1 NDT-CHASIS
2. ESPECIFICACIONES DE EQUIPO ULTRASONIDO			
Equipo:	SIUI	Modelo:	SYNCSCAN
Palpador:	ADM 2,5-3/8"	Frecuencia:	2,25 MHz
Angulo:	70°	Dimensiones:	35x18mm
2.1 PARAMETROS DE ULTRASONIDO			
TIPO DE INSPECCION	PULSO-ECO	TECNICA DE CALIBRACION	DISTANCIA-SENSIBILIDAD
CONDICION SUPERFICIAL	LISA SIN PINTURA	BLOQUE DE CALIBRACION	IIW-TIPO2-1018
ACOPLANTE	GEL	CODIGO APLICABLE	AWS D1.1 2020
2.3 PARAMETROS DE TINTAS PENETRANTES			
TINTA PENETRANTE	TIPO II	CONDICIÓN SUPERFICIAL	LIBRE DE PINTURA-GRASA
REVELADOR	TIPO II- FORMA E	TIEMPO PENETRANTE	8 min
REMOVEDOR	METODO C	TIEMPO REVELADOR	8 min
2.4 CALIBRES PARA INSPECCION VISUAL			
CALIBRE FILETES		GAUGE FILLETS	
CALIBRE DE MORDEDURAS		CALIBRE UNIVERSAL	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 50%;"> <p style="text-align: center;">Descripción</p> <p>Detector de Fallas configurable, Convencional, Convencional + Phased Array, Convencional + Phased Array + TOFD (1 canal), Convencional + TOFD (1, 2 o 4 canales)</p> <p>Equipo detector de fallas por ultrasonido configurable, marca SIUI, modelo SyncScan, con pantalla gráfica color táctil LCD de 8.4" y resolución de 800 x 600 pixeles.</p> <p style="text-align: center;">Especificaciones técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Tipo: IIW (International Institute of Welding), Tipo 1. ◦ Material: Acero inoxidable de alta resistencia. ◦ Aplicación: Calibración, verificación de equipos ultrasónicos y evaluación de sensibilidad del haz. ◦ Cumplimiento normativo: Compatible con estándares internacionales como ASME, AWS y ASTM. ◦ Peso aproximado: 3.5 kg. ◦ Funciones: Ajuste y calibración de equipos para sensibilidad, resolución y dirección del haz ultrasónico. </div> </div>			
			

QC WELDING	INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS - MEDIANTE ULTRASONIDO		FECHA DE INSPECCIÓN 12-MAYO-2025								
			REPORTE Nº1 NDT-CHASIS								
3 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO											
3.1 PARAMETROS DE APROBACION MEDIANTE ULTRASONIDO											
Tabla 8.2											
Criterios de aceptación-rechazo con UT (conexiones no tubulares cargadas estáticamente y conexiones no tubulares cargadas cíclicamente en compresión) (ver 8.13.1, 8.13.2(2) y C-8.25.6)											
Clase de severidad de discontinuidad	Tamaño de la soldadura ^a en pulgadas [mm] y ángulo de unidad de búsqueda										
	5/16 a 3/4 [8-20]	> 3/4 a 1-1/2 [20-38]	> 1-1/2 a 2-1/2 [38-65]			> 2-1/2 a 4 [65-100]			> 4 hasta 8 [100-200]		
	70 °	70 °	70 °	60 °	45 °	70 °	60 °	45 °	70 °	60 °	45 °
Clase A	+5 y menor	+2 y menor	-2 y menor	+1 y menor	+3 y menor	-5 y menor	-2 y menor	+0 y menor	-7 y menor	-4 y menor	-1 y menor
Clase B	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1
Clase C	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 a +2	+1 +2	+3 +4	-4 a +2	-1 a +2	+2 +3
Clase D	+8 y mayor	+5 y mayor	+3 y mayor	+6 y mayor	+8 y mayor	+3 y mayor	+3 y mayor	+5 y mayor	+3 y mayor	+3 y mayor	+4 y mayor
Notas:											
1. Las discontinuidades Clase B y C deberán estar separadas por al menos 2L, siendo L la longitud de la discontinuidad más larga, excepto cuando dos o más de dichas discontinuidades no estén separadas por al menos 2L, pero la longitud combinada de las discontinuidades y su distancia de separación sea igual o inferior a la longitud máxima admisible de acuerdo con las disposiciones de la Clase B o C, en cuyo caso la discontinuidad deberá ser considerada una sola discontinuidad aceptable.											
2. Las discontinuidades Clase B y C no deberán comenzar a una distancia inferior a 2L de los extremos de la soldadura que conducen el esfuerzo de tracción primario, siendo L la longitud de discontinuidad.											
3. Las discontinuidades detectadas a "nivel de escaneo" en el área de la cara de la raíz de las juntas soldadas en ranura doble con CJP deberán ser evaluadas utilizando una clasificación de indicación de 4 dB más sensible que la descrita en § 25.6.5, cuando dichas soldaduras están designadas como "soldaduras a tracción" en el plano (restar 4 dB de la clasificación de indicación "d"). Esto no se debe aplicar en caso de que la junta soldada esté ranurada del lado opuesto al metal sólido para eliminar la cara de raíz y se utilice MT para comprobar que se haya eliminado la cara de raíz.											
4. ESW o EGW: Se deberá sospechar que las discontinuidades detectadas a "nivel de escaneo" que excedan de 2 pulg. [50 mm] de longitud sean porosidad vermicular y deberán ser evaluadas con radiografías.											
5. Para los casos en que las indicaciones se mantengan en la pantalla cuando se mueva la unidad de búsqueda, consultar § 13.1.											
Clase A (discontinuidades grandes)						Niveles de escaneo					
Se deberá rechazar cualquier indicación en esta categoría (independientemente de la longitud).						Trayectoria del sonido ^b en pulgadas [mm]					
Clase B (discontinuidades medianas)						Referencia superior a cero, dB					
Toda indicación en esta categoría con una longitud superior a 3/4 pulg. [20 mm] deberá ser rechazada.						a 2-1/2 [65 mm] 14					
Clase C (discontinuidades pequeñas)						> 2-1/2 a 5 [65-125 mm] 19					
Se deberá rechazar toda indicación en esta categoría con una longitud superior a 2 pulg. [50 mm].						> 5 a 10 [125-250 mm] 29					
Clase D (discontinuidades menores)						> 10 hasta 15 [250-380 mm] 39					
Se deberá aceptar toda indicación en esta categoría, independientemente de la longitud o ubicación de la soldadura.						^b Esta columna se refiere a la distancia de la trayectoria del sonido; NO al espesor del material.					
OBSERVACIÓN: Ultrasonido se aplica solamente cuando hay penetración completa y se ejecuta después de que la inspección visual haya sido aprobada											

QC WELDING	INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS - MEDIANTE ULTRASONIDO	FECHA DE INSPECCIÓN 12-MAYO-2025
		REPORTE N°1 NDT-CHASIS

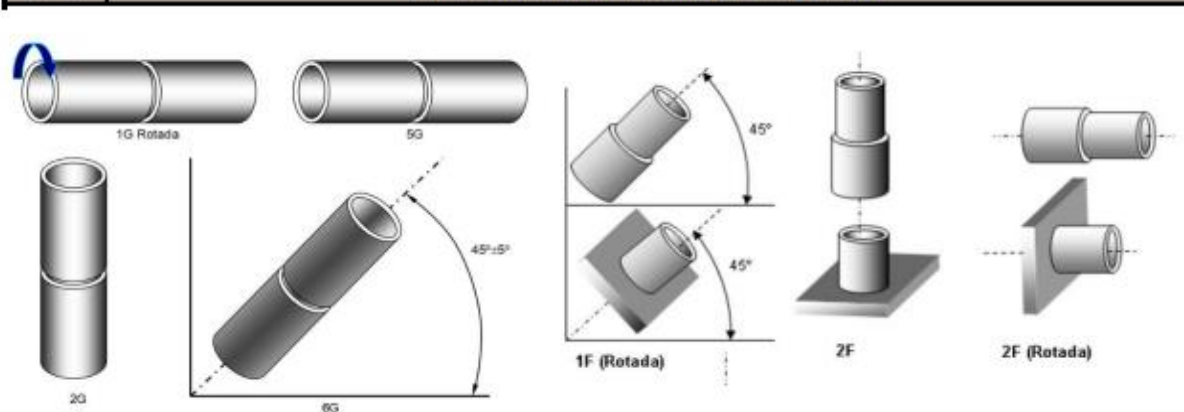
4. ESTRUCTURA DEL CHASIS INSPECCIÓN MEDIANTE ULTRASONIDO



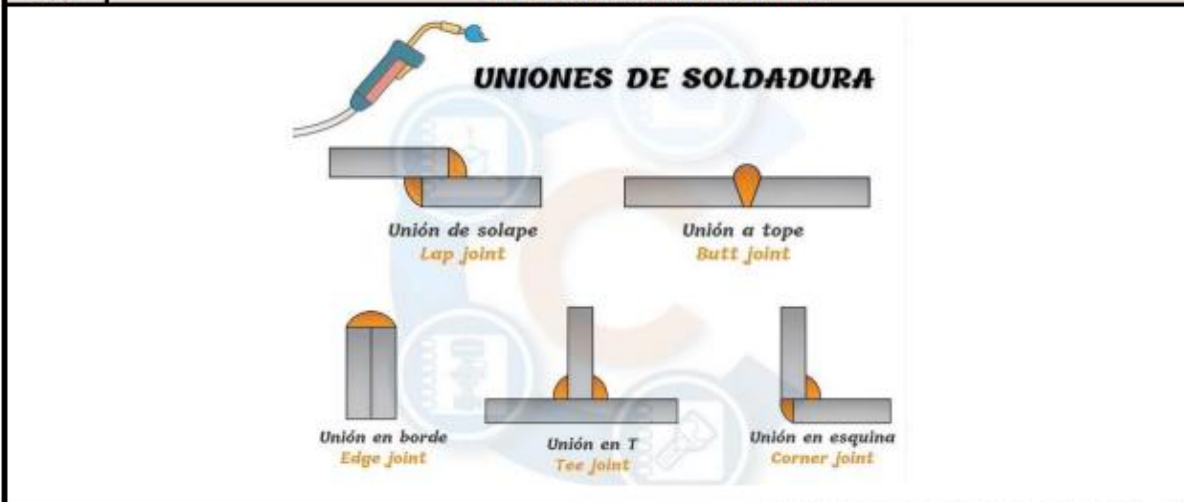
4.1 ESQUEMAS DE SOLDADURA Y JUNTAS


No.	Símbolo	Ilustración	Descripción																					
1			Soldadura a tope de pestañas	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>9</td> <td></td> <td></td> <td>Soldadura con respaldo</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td>Soldadura de filete</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td></td> <td></td> <td>Soldadura de tapón</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td></td> <td></td> <td>Soldadura de puntos</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td></td> <td></td> <td>Soldadura continua o de cordón</td> </tr> </table>	9			Soldadura con respaldo	10			Soldadura de filete	11			Soldadura de tapón	12			Soldadura de puntos	13			Soldadura continua o de cordón
9			Soldadura con respaldo																					
10			Soldadura de filete																					
11			Soldadura de tapón																					
12			Soldadura de puntos																					
13			Soldadura continua o de cordón																					
2			Soldadura a tope de bordes rectos																					
3			Soldadura a tope en V																					
4			Soldadura a tope en media V																					
5			Soldadura a tope en Y																					
6			Soldadura a tope en media Y																					
7			Soldadura a tope en U																					
8			Soldadura a tope en J																					

4.2 POSICIONES EN SOLDADURA TUBERIA



4.3 TIPO DE UNIONES SOLDADAS



	INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS - MEDIANTE ULTRASONIDO	FECHA DE INSPECCIÓN 12-MAYO-2025
		REPORTE Nº1 NDT-CHASIS

5. REPORTE FOTOGRAFICO INSPECCIÓN MEDIANTE UT



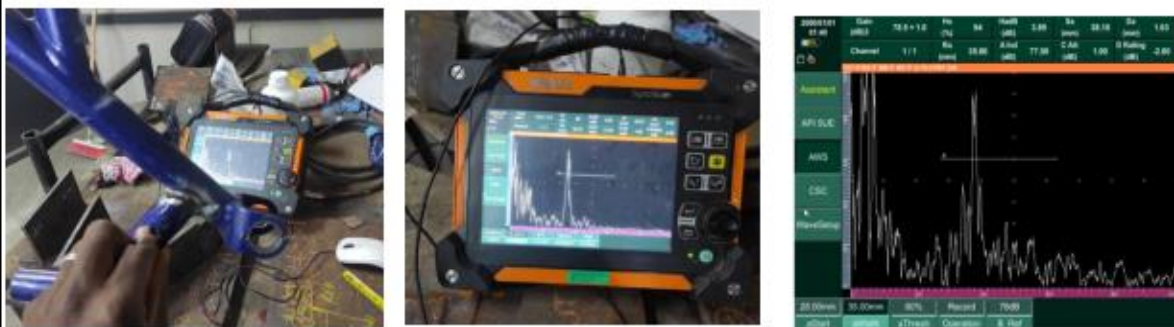
CALIBRACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DEL EQUIPO UT MEDIANTE BLOQUE IIV TIPO 1

INSPECCIÓN UT: CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE ULTRASONIDO






INSPECCIÓN EN JUNTAS SOLDADAS MEDIANTE ULTRASONIDO

INSPECCIÓN UT: INSPECCIÓN JUNTAS SOLDADAS



INSPECCIÓN, DEFECTO DETECTADO EN LA RAIZ. FALTA DE FUSIÓN. **REPARAR**

INSPECCIÓN UT: INSPECCIÓN JUNTAS SOLDADAS

		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS - MEDIANTE ULTRASONIDO			FECHA DE INSPECCIÓN	
					12-MAYO-2025	
6		INFORME DE SOLDADURA				
		REPORTE DE INSPECCION MEDIANTE ULTRASONIDO				
JUNTA	ESTADO DE LA JUNTA	DEFECTO	SOLDADOR	REINSPECCIÓN	ESTADO FINAL	
1	X	FF			REPROBADO	
2	X	FF			REPROBADO	
3	X	FF			REPROBADO	
4	X	FF			REPROBADO	
5	X	FF			REPROBADO	
6	X	FF			REPROBADO	
7	X	FF			REPROBADO	
8	X	FF			REPROBADO	
9	X	FF			REPROBADO	
NOMENCLATURA DE DISCONTINUIDADES			NUMERO DE JUNTAS INSPECCIONAS:		9	
(CP)AGRUPACIÓN DE POROS (M)MORDEDURAS (P)POROS (F)FISURAS (AD)ACUMULACIÓN DE DEFECTOS (FF)FALTA DE FUSIÓN (SB)SOLDADURA BAJA (CC)CONCAVIDAD (C)CONVEXIDAD (CR)CRATER (X) DEFECTOS INTERNOS			JUNTAS REPARADAS:		0	
			JUNTAS ACEPTADAS :		0	
			FECHA DE INSPECCIÓN:		12/5/2025	
7.		OBSERVACIONES				
<p>SE OBSERVA QUE LA SOLDADURA DE FABRICACIÓN EN LOS PUNTOS INSPECCIONADOS NO CUMPLE CON LOS CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO DE LA NORMATIVA DE APLICACIÓN AWS D1-1 2020</p>						
8.		RECOMENDACIONES				
<p>SE RECOMIENDA REALIZAR TODAS LAS REPARACIONES INDICADAS POR FISCALIZACIÓN</p>						
9.		CONCLUSIONES				
<p>SE REALIZO EL CONTROL DE CALIDAD MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LA SOLDADURA DE LA ESTRUCTURA METÁLICA, DEL CHASIS.</p> <p>DENTRO DE LA INSPECCIÓN EN LAS JUNTAS SOLDADAS DEL CHASIS SE DETECTARON DEFECTOS CLASE A. ESTOS PUEDEN SER PRODUCIDOS POR UNA FALTA DE FUSIÓN EN LA RAÍZ. ENTENDIÓ ESTO QUEDA RECHAZA LAS JUNTAS INSPECCIONADAS EN EL CHASIS</p>						
Aprobado por:			Inspeccionado por:			
NOMBRE	Ing. Santiago Caguana CWI			Ing. Alexander Canga		
CARGO	Inspector de soldadura certificado SNT-TC-1A Level II PT-UT-VT-MT			Inspector de soldadura certificado SNT-TC-1A Level II PT-UT-VT-MT		
FIRMA	 LUIS SANTIAGO CAGUANA CORDERO <small>Validar únicamente con FireEye</small>			 ALFREDO ALEXANDER CANGA ORTIZ		
FECHA	12-may-25			12-may-25		

NDT - ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PG-7

Anexo 5.- Reporte de inspección de END: UT