



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO DE UNA JUNTA EMPERNADA MEDIANTE
SIMULACIÓN COMPUTACIONAL PARA VALIDAR EL
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL A TRACCIÓN”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

LUIS ANGEL TORRES VIVANCO

ALDO JEFFERSON LLIGUIN APO

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO DE UNA JUNTA EMPERNADA MEDIANTE
SIMULACIÓN COMPUTACIONAL PARA VALIDAR EL
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL A TRACCIÓN”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: LUIS ANGEL TORRES VIVANCO

ALDO JEFFERSON LLIGUIN APO

DIRECTOR: ING. EDWIN RODOLFO POZO SAFLA

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Luis Angel Torres Vivanco; Aldo Jefferson Lliguin Apo.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Luis Angel Torres Vivanco y Aldo Jefferson Lliguin Apo, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 26 de junio 2024



Luis Angel Torres Vivanco
070516379-8



Aldo Jefferson Lliguin Apo
180473979-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UNA JUNTA EMPERNADA MEDIANTE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL PARA VALIDAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL A TRACCIÓN**, realizado por los señores: **LUIS ANGEL TORRES VIVANCO y ALDO JEFFERSON LLIGUIN APO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Juan Carlos Rocha H. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-06-26
Ing. Edwin Rodolfo Pozo S. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-26
Ing. Jorge Sebastián Buñay G ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-26

DEDICATORIA

Agradecer a mis padres, Isabel María y Luis Enrique ya que este título es de ellos, por ser el pilar fundamental en mi vida, por todo su amor incondicional, en haberme apoyado durante todo el transcurso de aprendizaje, por todo el esfuerzo y sacrificio que han realizado para poder llegar a obtener el título, enseñándome lo que es la vida. A mis hermanos, Patricio, Mariana y Anthony siempre motivándome, dando fuerzas para cumplir todas mis metas, dándome consejos para que no fracase, guiándome de diferentes maneras. A mis primos Miguel y Dennis que estuvo siempre apoyándome para que obtenga la ingeniería, dándome su apoyo incondicional, estando en las buenas y en las malas. A toda mi familia abuelitos, tíos, primos, cuñada por darme su tiempo, sus consejos y valores para crecer. A mis amigos más cercanos Alisson, Hugo, Jordy, Guido, Jonathan, Marcela que siempre estuvieron presentes a lo largo de este tiempo. Y por último quiero destacar mi valentía por haber cruzado esta travesía de lo que es la universidad, por entender y comprender que soy el pilar fundamental de mis acciones, siendo el mejor, nunca rindiéndome, cayéndome mil veces, pero sabiendo levantarse, con este lema que lo llevo siempre presente “Si no puedo, lo estudio y lo resuelvo” por qué en esta vida todo tiene una solución.

Luis Angel Torres Vivanco

Dedico este trabajo a mis padres quienes me han brindado su amor incondicional, apoyo inquebrantable y sabias enseñanzas a lo largo de mi vida. A mi familia, comprensión durante este arduo proceso. A mis amigos, por su amistad sincera y momentos de distracción que han hecho más llevadera esta travesía académica. A mis profesores y mentores, por su guía experta y por compartir su invaluable conocimiento conmigo. A todas las personas que de alguna manera contribuyeron a este logro, gracias por ser parte de este importante capítulo en mi vida.

Aldo Jefferson Lliguin Apo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres Isabel María y Luis Enrique por ese apoyo incondicional, todo ese esfuerzo realizado para obtener la ingeniería, siempre inculcándome con buenos valores y estar pendientes en los momentos difíciles de la vida. Agradezco a mis hermanos Patricio, Mariana y Anthony por darme esa fuerza que necesitaba para llegar al objetivo. Agradezco a mis primos Miguel y Dennis por enseñarme a no darme por vencido y obtener lo que quiero. Agradecer a toda mi familia por estar siempre presentes. Agradecer a mis amigos estando presentes cada día, en las fiestas, en la enfermedad, por estar incondicionalmente.

Agradecer al Ing. Edwin Pozo por guiarme, darme sus consejos para seguir dando batalla, compartiéndome sus conocimientos para seguir superándome, de igual manera para el Ing. Javier Solís, Ing. Angel Quevedo y todos los ingenieros que compartieron sus conocimientos, experiencias vividas que ayudaron para mi formación.

Agradecer a todos los compañeros y amigos más cercanos de la universidad que me ayudaron a enfrentar la carrera, compartiendo momentos y experiencias que siempre las voy a recordar con mucho aprecio.

Luis

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a Ing. Edwin Pozo, por su dedicación, orientación y paciencia a lo largo de este proceso. Sus comentarios y sugerencias han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo. No puedo pasar por alto el apoyo invaluable de mis padres, Widman y Ercira, cuyo amor, sacrificio y apoyo incondicional han sido la fuerza motriz detrás de mi éxito académico. También agradezco a mi familia y amigos por su constante ánimo y comprensión.

Aldo

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Delimitación	2
1.2.1 <i>Delimitación espacial</i>	2
1.2.2 <i>Delimitación sectorial</i>	3
1.3 Formulación del problema.....	3
1.4 Alcance.....	3
1.5 Justificación.....	4
1.6 Objetivos.....	4
1.6.1 <i>Objetivo General:</i>	4
1.6.2 <i>Objetivos Específicos:</i>	4

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1 Juntas Empernadas ámbito automotriz	6
2.1.1 <i>Juntas Soldadas</i>	6

2.1.2	<i>Juntas Empernadas</i>	6
2.1.2.1	<i>Tipos de pernos</i>	7
2.1.2.2	<i>Tipos de Rosca</i>	7
2.2	Influencia de la junta empernada en el Chasis del Vehículo	7
2.2.1	<i>Integridad Estructural del Chasis</i>	8
2.2.2	<i>Estabilidad y Maniobrabilidad</i>	8
2.2.3	<i>Transmisión de Cargas</i>	8
2.2.4	<i>Comportamiento Bajo Estrés y Fatiga</i>	8
2.3	Ensayos de Tracción y Destrucción: Aspectos Técnicos y Metodológicos	9
2.3.1	<i>Conceptualización básica de la resistencia de materiales</i>	9
2.3.1.1	<i>Deformación</i>	9
2.3.1.2	<i>Rigidez</i>	9
2.3.1.3	<i>Elasticidad y linealidad</i>	10
2.3.2	<i>Fundamentos Teóricos de Ensayos de Tracción y Deformación</i>	10
2.3.2.1	<i>Ensayo de tracción</i>	11
2.3.2.2	<i>Análisis de carga Cortante en juntas empernadas</i>	12
2.3.2.3	<i>Comportamiento Elástico y Plástico de Materiales en Tracción</i>	14
2.3.2.4	<i>Análisis de Curvas Esfuerzo-Deformación</i>	15
2.4	Espectrometría por chispa de emisión “Análisis de Bruker”	17
2.5	Microscopia Electrónica de Barrido “SEM”	18
2.6	Dureza Brinell	19
2.7	Diseño Avanzado de Juntas Empernadas Utilizando SolidWorks	20
2.7.1	<i>Simulación Computacional de Juntas Empernadas: Métodos y Consideraciones Técnicas con el uso de ANSYS</i>	21
2.7.2	<i>Análisis de Elementos Finitos en Simulaciones de Juntas Empernadas</i>	21
2.7.3	<i>Comparación de Resultados con Datos Experimentales</i>	22

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	23
3.1	Dimensionamiento de la Estructural	23
3.2	Fases de simulación	24
3.2.1	<i>Fase 1: Levantamiento de información (Toma de medidas).....</i>	27
3.3	Fase 2: Modelado CAD.	29
3.4	Análisis Ansys	38
3.4.1	<i>Configuración del Modelo en ANSYS</i>	38
3.4.2	<i>Definición de Materiales y Propiedades.</i>	39
3.4.3	<i>Espectrometría por chispa de emisión “Análisis de Bruker”</i>	40
3.4.4	<i>Microscopia Electrónica de Barrido “SEM”</i>	42
3.4.4.1	<i>Preparación de Muestras</i>	42
3.4.4.2	<i>Cortadora de Disco</i>	43
3.4.5	<i>Montador de Porbetas</i>	44
3.4.6	<i>Máquina Desbastadora</i>	47
3.4.6.1	<i>Máquina Pulidora.....</i>	49
3.4.6.2	<i>Ataque con Nital</i>	51
3.4.6.3	<i>Procedimiento de Microscopia Electrónica de Barrido “SEM”</i>	51
3.4.6.4	<i>Análisis de Grano para identificación de material</i>	56
3.4.7	<i>Durómetro</i>	57
3.4.7.1	<i>Microscopio de Dureza Brinell</i>	58
3.4.8	<i>Identificación de Materiales:.....</i>	61
3.4.8.1	<i>Junta Empernada, chasis.....</i>	61
3.4.9	<i>Definición en ANSYS</i>	62
3.4.9.1	<i>Definición del material en el software.....</i>	62
3.4.10	<i>Detalles específicos del modelo 3D de la junta empernada en el chasis de la camioneta Mazda en ANSYS.....</i>	64

3.4.11	<i>Uso de geometría simplificada y detalles sobre la discretización de elementos finitos.</i>	65
3.4.11.1	<i>Condiciones de Frontera y Cargas Aplicadas</i>	65
3.4.11.2	<i>Importación de geometría al Ansys</i>	68
3.4.11.3	<i>Designación de material</i>	69
3.4.11.4	<i>Generación de Mallado</i>	70
3.4.11.5	<i>Mejoramiento de Mallado</i>	71
3.4.11.6	<i>Análisis Estático</i>	73
3.4.11.7	<i>Análisis Dinámico</i>	75
3.5	Ensayo a tracción Maquina Universal	76
3.5.1	<i>Preparación de la muestra</i>	77
3.5.2	<i>Instalación en la máquina</i>	77
3.5.2.1	<i>Ajustes de parámetros</i>	77
3.5.2.2	<i>Verificación de la alineación</i>	78
3.5.2.3	<i>Inicio del ensayo</i>	78
3.5.2.4	<i>Monitoreo Continuo</i>	78

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	80
4.1	Verificación de resultados	80
4.2	Resultados obtenidos del modelado CAD	81
4.2.1	<i>Transferencia precisa del modelo 3D</i>	81
4.2.2	<i>Detalles específicos del modelo 3D</i>	81
4.2.3	<i>Verificación de integridad del modelo</i>	81
4.3	Análisis de la Espectrometría por chispa de emisión “Análisis de Bruker”	82
4.4	Análisis de la Microscopia Electrónica de Barrido “SEM”	83
4.4.1	<i>Tipo de Grano:</i>	86
4.4.2	<i>Identificación del Material</i>	87

4.4.3	<i>Análisis determinación de dureza</i>	87
4.4.4	<i>Análisis Simulación Ansys</i>	88
4.4.4.1	<i>Análisis estático</i>	88
4.4.4.2	<i>Análisis dinámico</i>	90
4.5	Analisis ensayo Máquina Universal	93
	CONCLUSIONES	95
	RECOMENDACIONES	97
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS 2	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Clasificación de pernos según su resistencia, dureza y tipo de carga	7
Tabla 2-2: Clasificación, tipos de roscas	7
Tabla 3-1: Características generales de Procedimiento	24
Tabla 3-2: Junta Chasis	29
Tabla 3-3: Resumen de operaciones del modelo CAD- Elemento 1	29
Tabla 3-4: Configuración Junta Chasis	32
Tabla 3-5: Junta Chasis	34
Tabla 4-1: Análisis de la Microscopia Electrónica de Barrido “SEM”	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Pieza a ser analizada	8
Ilustración 2-2: Vista Lateral Pieza a ser analizada.....	8
Ilustración 2-3: Ensayo de Tracción.....	9
Ilustración 2-4: Ensayo tracción junta empernada	10
Ilustración 2-5: Resultado referenciales de un ensayo de tracción para un acero.	11
Ilustración 2-6: Unión Atornillada Sometida a carga cortante	12
Ilustración 2-7: Denotación de una unión tipo fricción.....	12
Ilustración 2-8: Líneas de Transmisión de esfuerzos para una junta tipo fricción	13
Ilustración 2-9: Respuesta a un esfuerzo a tracción para una unión tipo rodamiento o giro.....	13
Ilustración 2-10: Respuesta de las líneas de transmisión de esfuerzos en una unión tipo rodamiento o giro.....	13
Ilustración 2-11: Respuesta de las líneas de transmisión de esfuerzos en una unión tipo rodamiento o giro.....	14
Ilustración 2-12: Curva de esfuerzo-deformación idealizada.....	16
Ilustración 2-13: Espectrometría de emisión, espectro de absorción y emisión hidrógeno.....	17
Ilustración 2-14: Componentes principales de un sistema de reflexión	18
Ilustración 2-15: Representación esquemática de un microscopio electrónico de barrido.....	19
Ilustración 3-1: Dimensionamiento, características geométricas.	24
Ilustración 3-2: Travesaño principal de chasis	28
Ilustración 3-3: Junta Chasis	28
Ilustración 3-4: Sistema de análisis junta empernada	29
Ilustración 3-5: Modelado CAD 3D-SolidWorks.....	38
Ilustración 3-6: Modelado CAD 3D, Vista seccionada	38
Ilustración 3-7: Modelado mecanismo sometido a fuerzas	39
Ilustración 3-8: Muestras 30mmx30mm	40
Ilustración 3-9: Funcionamiento Máquina BRUKER 0.2 ION	41
Ilustración 3-10: Operación Máquina BRUKER 0.2 ION	42
Ilustración 3-11: Máquina Cortadora de Disco	43
Ilustración 3-12: Probeta 7mmx7mm	44
Ilustración 3-13: Montador de Probetas	45
Ilustración 3-14: Probetas a ser analizadas.....	47
Ilustración 3-15: Máquina desbastadora.....	47
Ilustración 3-16: Probetas Desbastadas	48

Ilustración 3-17: Máquina Pulidora.....	49
Ilustración 3-18: Probetas Pulidas	50
Ilustración 3-19: Probetas atadas con nital	51
Ilustración 3-20: Máquina Microscopia Electrónica de Barrido “SEM”.....	52
Ilustración 3-21: Resultados enfoque de (x800 y x550).	53
Ilustración 3-22: Resoluciones: x1500 y x400	53
Ilustración 3-23: Composición química en los precipitados intergranulares.....	54
Ilustración 3-24: Composición química en los precipitados intergranulares.....	55
Ilustración 3-25: Análisis Granulometría	56
Ilustración 3-26: Durómetro	57
Ilustración 3-27: Probeta, ensayo dureza.....	58
Ilustración 3-28: Microscopio de Dureza Brinell	59
Ilustración 3-29: Probeta, ensayo dureza.....	60
Ilustración 3-30: Brinell Hardness.....	61
Ilustración 3-31: Definición en Ansys	62
Ilustración 3-32: Adición de nuevo Material.....	64
Ilustración 3-33: Import de Geometría	65
Ilustración 3-34: Condiciones de Contacto.....	66
Ilustración 3-35: Condiciones de contacto	67
Ilustración 3-36: Condiciones de contacto	67
Ilustración 3-37: Importación de geometría al Ansys.....	69
Ilustración 3-38: Designación de material.....	70
Ilustración 3-39: Generación de Mallado	70
Ilustración 3-40: Técnica de mejoramiento de malla	71
Ilustración 3-41: Mejoramiento del Mallado.....	72
Ilustración 3-42: Calidad de mallado 0.95.....	72
Ilustración 3-43: Definición de Cargas y parámetros generales	73
Ilustración 3-44: Restricciones y puntos de anclaje	74
Ilustración 3-45: Condiciones de Contacto.....	74
Ilustración 3-46: Análisis Estático.....	75
Ilustración 3-47: Preparación de Muestra.....	77
Ilustración 3-48: Ensayo Máquina Universal	77
Ilustración 3-49: Monitoreo ensayo tracción.....	78
Ilustración 3-50: Ensayo de tracción	79
Ilustración 4-1: Modelado Cad	82
Ilustración 4-2: Report Bruker.....	83
Ilustración 4-3: Factor de Seguridad	88

Ilustración 4-4: Esfuerzo máximo principal	89
Ilustración 4-5: Deformación total	90
Ilustración 4-6: Factor de Seguridad bajo cargas dinámicas	91
Ilustración 4-7: Esfuerzo máximo principal bajo un análisis dinámico.	92
Ilustración 4-8: Deformación total bajo condiciones dinámicas	93
Ilustración 4-9: Informe de Resultados	94

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: RESULTADOS ANALISIS

ANEXO B: RESULTADOS MICROCOPIA ANÁLISIS SEM

RESUMEN

El proyecto busca simular e identificar el comportamiento de la junta empernada del chasis de una camioneta MAZDA BT50, bajo cargas de tracción. El problema identificado en la falta de información en análisis del comportamiento estructural y resistencia; identificando mediante el diseño, construcción y la evaluación, integrando herramientas de ingeniería asistida por computadora y ensayos experimentales que proporcionen una información completa y aplicable en el contexto de seguridad y durabilidad. El proceso comenzó con una revisión de literatura científica y técnica sobre la integridad estructural del chasis. Se diseñó la junta empernada usando el software CAD SolidWorks, asegurando precisión en la distribución de pernos y adaptándose a la geometría del chasis bajo condiciones de carga. Se realizó espectrometría por chispa de emisión y microscopía electrónica de barrido (SEM) y el estudio de propiedades estructurales dureza Brinell, confirmando que el material de la junta empernada es un tipo de acero dulce con características similares al acero AISI1010. Este material, caracterizado por su bajo contenido de carbono y su resistencia mecánica en el rango de 48 a 55 kg/mm². Las simulaciones computacionales con ANSYS identificaron picos de tensión de 350.27 MPa en puntos críticos, destacando áreas susceptibles a deformación y posible fallo, y validando la resistencia ante cargas de hasta 54.6 kN. El análisis dinámico mostró un esfuerzo máximo principal de 0.2693 MPa con un factor de seguridad de 0.773. El ensayo de tracción en la máquina universal indicó un comportamiento típico de material dúctil y maleable, resistiendo una carga máxima de 53.8 kN y mostrando una resistencia máxima a la tracción de 220 MPa. Finalmente, el análisis comparativo entre simulaciones y datos experimentales validó la precisión del modelo computacional, respaldando su aplicación en el chasis del vehículo.

Palabras clave: <JUNTA SOPORTE PRINCIPAL DEL CHASIS> <CAMIONETA BT50>
<ENSAYO DINÁMICO> <ENSAYO ESTÁTICO> <SOLIDWORKS SOFTWARE>
<ANÁLISIS DE MATERIAL> <MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO>
<ESTRUCTURAS AUTOMOTRICES >

1155-DBRAI-UPT-2024



SUMMARY

The project seeks to simulate and identify the behavior of the bolted joint of the chassis of a MAZDA BT50 van, under tensile loads. The problem identified in the lack of information on structural behavior and strength analysis; identifying through design, construction and evaluation, integrating computer assisted engineering tools and experimental tests that provide complete and applicable information in safety and durability context. The process began with scientific and technical literature review on chassis structural integrity. The bolted joint was designed using SolidWorks CAD software, ensuring accuracy in bolt layout and adapting to the chassis geometry under loading conditions. Spark emission spectrometry and scanning electron microscopy (SEM) and Brinell hardness structural properties study were performed, confirming that the bolted joint material is a mild steel type with characteristics similar to AISI1010 steel. This material, characterized by its low carbon content and mechanical strength in the range of 48 to 55 kg/mm². Computational simulations with ANSYS identified peak stresses of 350.27 MPa at critical points, highlighting areas susceptible to deformation and possible failure, and validating the resistance to loads up to 54.6 kN. Dynamic analysis showed a maximum principal stress of 0.2693 MPa with a factor of safety of 0.773. The tensile test in the universal machine indicated a typical behavior of ductile and malleable material, resisting a maximum load of 53.8 kN and showing a maximum tensile strength of 220 MPa. Finally, the comparative analysis between simulations and experimental data validated the accuracy of the computational model, supporting its application in the vehicle chassis.

Keywords: <MAIN SUPPORT JOINT> <BT50 TRUCK> <DYNAMIC TESTING> <STATIC TESTING> <SOLIDWORKS SOFTWARE> <MATERIAL ANALYSIS> <SCANNING ELECTRON MICROSCOPY> <AUTOMOTRIC STRUCTURES >



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema Mgs

C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

La investigación abordará una serie de ensayos exhaustivos para evaluar la integridad y el rendimiento de las juntas empernadas en el chasis de la camioneta Mazda. En primer lugar, se llevará a cabo un análisis detallado de los materiales utilizados en la junta empernada, que incluirá pruebas de espectrometría, ensayos de dureza, análisis de microestructura y análisis de composición química. Estas pruebas permitirán caracterizar completamente el material, identificar cualquier imperfección o anomalía, y establecer propiedades mecánicas clave como el módulo elástico, el límite de fluencia y la resistencia a la tracción.

Posteriormente, se realizarán ensayos de tracción tanto por simulación computacional como experimental en una máquina universal. En el ámbito de la simulación, se empleará el software ANSYS para modelar la junta empernada y aplicar cargas de tracción simuladas, permitiendo observar la distribución de esfuerzos y deformaciones. Por otro lado, en el ensayo práctico, se aplicarán cargas graduales a la junta empernada en una máquina universal hasta la rotura, registrando datos como la carga máxima soportada, la deformación y el modo de fallo.

Estos ensayos proporcionarán una comparación directa entre los resultados obtenidos en la simulación y los experimentales, validando así la precisión del modelo de simulación y proporcionando una evaluación integral del comportamiento estructural de la junta empernada bajo carga de tracción.

Además, se realizarán análisis post-mortem de las muestras ensayadas para examinar la naturaleza y la extensión de cualquier daño o deformación ocurrida durante el ensayo, lo que proporcionará información adicional sobre el rendimiento del material y la robustez del diseño. Estos datos permitirán identificar áreas de mejora y optimización en el diseño de las juntas empernadas, así como establecer recomendaciones para futuros desarrollos y aplicaciones en la industria automotriz.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

La junta empernada en el contexto de estructuras automotrices ha sido limitada, especialmente en lo que respecta a roll bars, sistemas de sujección. La literatura existente se ha centrado principalmente en aplicaciones más generales, con poca atención específica a las características y desafíos particulares que enfrentan estas juntas en el diseño de roll bars para vehículos. La falta de información detallada sobre el comportamiento estructural y la resistencia a la tracción de estas juntas en un entorno automotriz específico ha creado un vacío en el conocimiento y en el análisis de comportamiento. Además, la escasez de estudios que combinen métodos experimentales con simulaciones computacionales para validar el diseño de estas juntas en roll bars ha subrayado la necesidad de una investigación más integral. La ausencia de datos específicos sobre el rendimiento de las juntas empernadas en roll bars motiva la presente tesis, partiendo de un antecedente que busca llenar esta brecha mediante el diseño, la construcción y la evaluación detallada de estas juntas, integrando herramientas de ingeniería asistida por computadora y ensayos experimentales para proporcionar una comprensión más completa y aplicable en el contexto automotriz.

Las juntas empernadas, que están conformadas por piezas, pernos, arandelas y tuercas ensambladas, son parte de una forma de unión no permanente esencial en la construcción de estructuras metálicas. El perno, elemento central al unir las piezas y formar estas juntas. Wang (2018) destaca la alta ductilidad de las uniones empernadas semirrígidas que son utilizadas en sistemas de estructuras. Acotando además lo señalado por, Gao (2021) advierte sobre la posibilidad de fracturas por fatiga en pernos de baja aleación. La prefabricación de estructuras metálicas impone la necesidad de un ensamblaje preciso y concreto de los elementos, según Alacero (s.f.), para garantizar el comportamiento adecuado de las juntas empernadas diseñadas. Analizando el comportamiento dinámico de juntas empernadas sometidas a esfuerzos de torsión, Liu (2019) emplea el método de elementos finitos y simulaciones de software para analizar el modelo perno/tuerca. Se mantiene un enfoque centrado en el estudio de la relación entre la fuerza de apriete, el par de apriete y aflojamiento, proporcionando valiosa información sobre el comportamiento dinámico de estas juntas.

1.2 Delimitación

1.2.1 *Delimitación espacial*

Análisis, mediante simulación y ensayo de tracción, de la junta empernada que vincula el travesaño principal al chasis de una camioneta MAZDA 4X4 modelo 2016.

1.2.2 Delimitación sectorial

El presente proyecto de integración curricular es referente con el Objetivo 2, 8 del Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025, pues contribuye con la fomentación, atracción de inversiones, así como también con la generación de oportunidades de bienestar para las zonas rurales fortaleciendo la economía del sector.

1.3 Formulación del problema

Las juntas empernadas, conocidas como juntas atornilladas o juntas con pernos, son elementos trascendentales en la construcción, mantenimiento de vehículos y sistemas mecánicos. Estas uniones utilizadas para conectar piezas metálicas o componentes, asegurando la integridad de estructuras y facilitando su desmontaje para mantenimientos o reparaciones.

Las juntas empernadas son un componente esencial en la ingeniería mecánica de manera especial en la automotriz durante décadas. Estas conexiones mantienen ventajas en términos de resistencia, durabilidad y versatilidad, permitiendo la construcción de armazones robustas y seguras para comodidad del usuario. Su uso radica en la variedad de aplicaciones, desde chasis y roll bar hasta maquinaria pesada y sistemas de tuberías.

Actualmente en el Ecuador, se emplea la mayor cantidad de uniones empernadas para sujetar elementos al bastidor, como es el caso de las carrocerías de los autobuses que se encuentran sujetas al chasis. La problemática de usar este tipo de juntas es que no existe un estudio del análisis de tracción en la junta empernada, detallado que permita conocer la selección idóneo del material y pernería adecuada.

1.4 Alcance

El proyecto centrado en el análisis de una junta empernada, se propone llevar a cabo una revisión de la literatura científica y técnica para identificar a fondo diversos tipos de juntas empernadas. Esta exploración detallada permitirá adquirir conocimientos fundamentados que serán esenciales durante la fase de diseño. Utilizando el software CAD SolidWorks, se realizará un diseño preciso de la junta empernada, incorporando dimensiones exactas, materiales y configuraciones específicas de pernos. Seguidamente, se llevarán a cabo simulaciones computacionales para analizar y obtener datos sobre el comportamiento estructural de la junta empernada bajo diversas condiciones de carga a tracción. De manera complementaria, se realizarán ensayos de tracción y destrucción en la junta empernada mediante una máquina universal. Estos ensayos proporcionarán información detallada sobre el comportamiento estructural, permitiendo la evaluación de la resistencia máxima y el modo de falla de la junta empernada en condiciones controladas y reproducibles. Es esencial destacar que el análisis se enfocará en la junta empernada que conecta

el travesaño principal, también conocido como puente, con el chasis de una camioneta MAZDA 4X4 modelo 2016, asegurando así la relevancia práctica y directa de los resultados obtenidos.

1.5 Justificación

Considerando la poca información disponible sobre juntas empernadas que conectan los elementos al chasis, surge la imperante necesidad de adquirir conocimientos fundamentales mediante el diseño y construcción de dichas juntas, focalizando la investigación en el ámbito de la ingeniería automotriz. Específicamente, se explorarán disciplinas como la ingeniería asistida por computadora, con un énfasis en el modelado por software para el análisis estructural de las piezas que también presentará un estudio bajo consideraciones de métodos de elemento finito. Además, se implementarán métodos y ensayos de tracción para investigar el comportamiento del material, abordando aspectos cruciales como la resistencia de materiales y la deformación admisible de las juntas empernadas. Para la ejecución de estos ensayos de tracción, se aprovechará el laboratorio de procesos de destrucción estructural. La elección adecuada de pernos, esenciales en la junta empernada, será determinada mediante una exhaustiva revisión bibliográfica, reconociendo la importancia de este elemento en la unión y fijación de la junta. Con el fin de contribuir al diseño y construcción de juntas empernadas, se llevará a cabo una comparativa entre los datos derivados del análisis estructural por software y los resultados obtenidos de los ensayos de tracción realizados en el laboratorio de destrucción de estructuras, proporcionando así una perspectiva integral y validada para mejorar la comprensión y aplicabilidad de estas juntas en el contexto automotriz, teniendo una proyección para posibles mejoras.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General:

Diseñar una junta empernada mediante simulación computacional para validar el comportamiento estructural a tracción.

1.6.2 Objetivos Específicos:

- Identificar tipos de juntas empernadas a través de una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica; permitiendo adquirir conocimientos fundamentados que servirán como base sólida durante la fase de diseño.
- Utilizar un software CAD (SolidWorks) para el diseño detallado de la junta empernada, incorporando dimensiones precisas, materiales y configuraciones de pernos.
- Realizar simulaciones computacionales para el análisis y obtención de datos frente al comportamiento estructural de la junta empernada bajo diversas condiciones de carga a tracción.

- Realizar ensayos de tracción y destrucción en la junta empernada utilizando una máquina universal; permitiendo obtener datos detallados sobre el comportamiento estructural bajo cargas crecientes, evaluando la resistencia máxima y el modo de falla de la junta empernada en condiciones controladas y reproducibles.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos en la simulación y los datos experimentales del ensayo a tracción y destrucción en la máquina universal, validando la precisión del modelo de simulación y ajustarlo según sea necesario, garantizando una correspondencia fiel con el comportamiento real de la junta empernada bajo condiciones extremas de carga.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El capítulo proporciona una revisión de los fundamentos teóricos de las juntas empernadas en el contexto de la ingeniería automotriz. Busca abordar de manera detallada la definición y características intrínsecas de conexiones esenciales, destacando su papel fundamental en la mecánica estructural de vehículos (parte automotriz) (uniones pernadas). Además, analiza la importancia de las juntas empernadas en diversos componentes automotrices, especialmente en la estabilidad de la barra estabilizadora de vehículos todo terreno 4x4. A través de un análisis, se examinarán diferentes tipologías de juntas, considerando su configuración y funcionalidad en el marco de la ingeniería automotriz. Este capítulo mantiene un enfoque específico en el diseño avanzado de juntas empernadas utilizando herramientas como SolidWorks, detallando técnicas específicas aplicables al contexto de la barra estabilizadora. Finalmente, se establecerá una base sólida para el análisis teórico del comportamiento estructural de estas conexiones (pernadas) explorando factores determinantes, modelos de simulación computacional y ensayos de tracción en máquinas universales, todo ello fundamentado en la literatura científica y técnica especializada en la materia.

2.1 Juntas Empernadas ámbito automotriz

Las uniones o juntas pueden clasificarse según su capacidad para resistir fuerzas en flexión, tracción o corte. En términos de resistencia, se dividen en dos categorías: rígidas y semirrígidas (Andrango Loachamin y Ulcuango Escola, 2023). Otras bibliografías establecen su clasificación en función a los elementos constitutivos, teniendo; juntas soldadas, juntas empernadas.

2.1.1 Juntas Soldadas

La técnica convencional para unir dos piezas de acero implica la fusión superficial de sus caras, pudiendo realizar uniones soldadas a tope, en ángulo, en filete, o una combinación de estas formas, incluyendo la unión de ranura o relleno. El aspecto más crítico de este método reside en la adecuada selección de la configuración de la unión, dependiendo de las cargas y condiciones específicas de aplicación, lo cual determinará la resistencia y durabilidad de la conexión resultante.

2.1.2 Juntas Empernadas

La junta empernada, siendo una conexión no permanente que utiliza elementos mecánicos, destaca por la presencia fundamental del perno. Este componente desempeña un papel crucial al unir piezas mecánicas para construir estructuras, equipos y medios de transporte. Este enfoque ofrece ventajas significativas, como rapidez en el proceso, menor costo y requerimientos de mano de obra menos especializada en comparación con las uniones permanentes mediante soldadura.

2.1.2.1 Tipos de pernos

En términos generales, hay una amplia gama de pernos disponibles; no obstante, según las especificaciones de la norma ASTM, los pernos más utilizados en conexiones empernadas son aquellos detallados en la tabla 2-1 proporcionada (Portilla Paucar, 2023).

Tabla 2-1: Clasificación de pernos según su resistencia, dureza y tipo de carga

Tipo de sujetador	Resistencia a tracción	Dureza	Tipo de carga
Pernos A307	100 -60 Ksi	95-69 HRB	Estática
Pernos A325	120 Ksi	34 -25 HRC	Fatiga
Pernos A490			Fatiga

Fuente: (Portilla Paucar, 2023)

Los pernos A307, fabricados con acero de bajo contenido de carbono, son de gran utilidad debido a su baja resistencia. Comparten características equivalentes con el acero A36, siendo ideales para estructuras livianas y aplicaciones con cargas pequeñas y estáticas. Estos pernos presentan una geometría de cabeza y tuerca cuadradas, aunque ocasionalmente adoptan una forma hexagonal para mejorar su estética y facilitar su manipulación (Portilla Paucar, 2023).

Por otro lado, los pernos A325 y A490 son eficaces en juntas empernadas que operan bajo fatiga, son fabricados con acero de mediano contenido de carbono y acero aleado, respectivamente, estos pernos exhiben una resistencia superior en comparación con los pernos convencionales, lo que los convierte en opciones preferidas para situaciones que requieren mayor robustez (Portilla Paucar 2023).

2.1.2.2 Tipos de Rosca

Las roscas, parametrizadas según la norma American National (Unified) para aplicaciones que demandan y constituyen elementos roscados normalizados, exhiben crestas de geometría (cuadrada o redonda). Estas roscas se confeccionan siguiendo la ley de la mano derecha, facilitando una comprensión global del montaje y desmontaje (Portilla Paucar 2023).

La tabla 2-2 destaca dos tipos esenciales de roscas con sus respectivas características fundamentales como se muestra a continuación.

Tabla 2-2: Clasificación, tipos de roscas

Roscas unificadas		Roscas métricas
UNC	Rosca gruesa	Serie de paso grueso
UNF	Rosca fina	Serie de paso fino
UNEF	Rosca extrafina	Serie de paso extrafino

Fuente: (Portilla Paucar, 2023)

2.2 Influencia de la junta empernada en el Chasis del Vehículo

La junta empernada que conecta el travesaño principal, conocido como puente, con el chasis de un vehículo todo terreno desempeña un papel esencial en la integridad estructural y el rendimiento dinámico. Este componente crítico influye significativamente en varios aspectos clave:

2.2.1 Integridad Estructural del Chasis

La junta empernada juega un papel central en la cohesión del chasis. Su diseño y resistencia afectan directamente la capacidad del chasis para resistir tensiones y cargas variables, contribuyendo así a la integridad estructural del vehículo.

2.2.2 Estabilidad y Maniobrabilidad

La conexión entre el puente y el chasis impacta la estabilidad del vehículo, especialmente en terrenos accidentados. Una junta empernada bien diseñada contribuye a la resistencia a la torsión y mejora la maniobrabilidad, garantizando un control efectivo en condiciones todoterreno.

2.2.3 Transmisión de Cargas

La junta empernada trabaja como un punto crítico en la transmisión de cargas entre el puente y el chasis, hace referencia al ejemplo práctico. Mantiene una capacidad para distribuir de manera eficiente las cargas dinámicas y estáticas afecta directamente la respuesta del vehículo ante diferentes escenarios de conducción.

2.2.4 Comportamiento Bajo Estrés y Fatiga

En situaciones todo terreno, donde el vehículo experimenta vibraciones y cargas cíclicas, la junta empernada debe ser capaz de resistir el estrés repetitivo. Su diseño y materiales determinan su capacidad para mantener la integridad estructural a lo largo del tiempo.

A continuación, se denota la ilustración 2-1 y 2-2 que detalla el elemento crítico a considerar en el proyecto o en el análisis: la junta empernada que conecta el travesaño principal al chasis de la camioneta 4x4, su visualización de este componente permitirá una comprensión detallada de su diseño y configuración. La imagen proporcionará una representación gráfica que respalda la importancia de este elemento en la estructura del vehículo todo terreno y resalta su influencia en la estabilidad y el rendimiento dinámico.



Ilustración 2-1: Pieza a ser analizada

Fuente: Torres L., Lliguin A., 2024



Ilustración 2-2: Vista Lateral Pieza a ser analizada

Fuente: Torres L., Lliguin A., 2024

En el ámbito de los ensayos de tracción y destrucción, es esencial explorar los aspectos técnicos y metodológicos antes de abordar las juntas empernadas. Estos ensayos revelan las propiedades mecánicas de materiales bajo tensiones extremas, proporcionando una comprensión fundamental del comportamiento estructural. Previo al análisis de las juntas empernadas, es crucial entender los fundamentos técnicos y las metodologías para obtener datos precisos. Este conocimiento subyacente es fundamental para apreciar plenamente el papel crítico de las juntas empernadas en la resistencia de materiales.

2.3 Ensayos de Tracción y Destrucción: Aspectos Técnicos y Metodológicos

El análisis de la resistencia de materiales juega un papel crucial en el diseño de estructuras, para analizar a detalle su comportamiento, es necesario definir los conceptos fundamentales asociados con los materiales. Más allá de ser simplemente denominaciones los conceptos constituyen la base para evaluar la capacidad de los materiales para resistir tensiones y deformaciones. Los elementos de unión son esenciales en la planificación y construcción de estructuras sólidas y seguras. En este análisis bibliográfico, se examinará de cerca los elementos fundamentales, entendiendo la complejidad de la respuesta de los materiales ante las fuerzas que actúan sobre ellos.

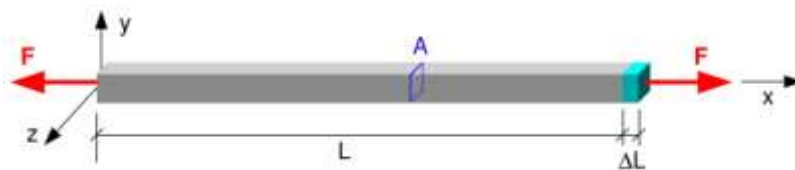


Ilustración 2-3: Ensayo de Tracción

Fuente: (Abasolo, 2015)

2.3.1 Conceptualización básica de la resistencia de materiales

2.3.1.1 Deformación

Todo componente estructural sometido a un conjunto de cargas sufre deformaciones como resultado de estas fuerzas, lo que implica que los puntos dentro del cuerpo experimentarán desplazamientos o alteraciones en su posición (Arroba Arroba, 2023).

2.3.1.2 Rigidez

Es la capacidad de un cuerpo para soportar cargas sin sufrir deformaciones significativas; en otras palabras, cuanto más rígido sea un material, menos propenso será a experimentar deformaciones; en la resistencia de materiales, este concepto es esencial, ya que la deformación en un elemento puede afectar negativamente su desempeño en un sistema estructural, volviendo ineficaz su función (Arroba Arroba, 2023).

2.3.1.3 Elasticidad y linealidad

Un cuerpo al ser sometidos a cargas, experimentan deformaciones que, al ser retiradas las cargas, les permiten recuperar su forma original; este fenómeno se conoce como elasticidad. En la práctica, los elementos sufren dos tipos de deformación: la elástica, que desaparece al dejar de aplicar cargas, y la permanente, que persiste en el elemento incluso después de retirar las cargas (Arroba Arroba, 2023).

2.3.2 Fundamentos Teóricos de Ensayos de Tracción y Deformación

Los fundamentos teóricos de los ensayos de tracción y deformación son importantes en la ingeniería de materiales. En el ensayo de tracción, se aplican fuerzas de tensión para evaluar propiedades como resistencia y elongación antes de la fractura, mientras que el ensayo de deformación analiza cambios en la forma del material. Ambos ensayos mantienen la elasticidad y plasticidad además son cruciales para el diseño de estructuras en aplicaciones como construcción, automotriz y aeroespacial; además de proporcionar información clave para la selección adecuada de materiales, garantizando eficiencia y seguridad en diversas áreas de la ingeniería.

El procedimiento de tracción de un material basado en la exposición de una muestra estandarizada a una fuerza de tracción axial progresiva hasta que ocurre su fractura; este método es utilizado para evaluar la capacidad de un material para resistir fuerzas estáticas o aplicadas gradualmente, proporcionando una medida de su resistencia mecánica como se denota en la ilustración 2-4.

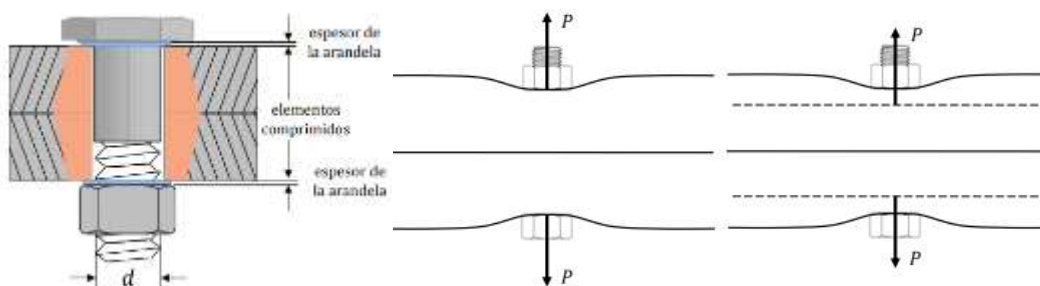


Ilustración 2-4: Ensayo tracción junta empernada

Fuente: (Abasolo, 2015)

La ilustración 2-5 representa un ensayo de tracción en un acero de bajo contenido en carbono, comenzando desde el origen de los ejes con tensión y deformación nulas. La evolución del ensayo es inicialmente lineal, alcanzando finalmente el "Límite Elástico" denotado como esfuerzo y fuerza según normativas. La pendiente de esta línea, conocida como "Módulo de Elasticidad" o "Módulo de Young" (E), se define como $E = \tan \alpha$, reflejando la relación entre incrementos de tensión y deformación. La ilustración 2-5 proporciona una representación visual de las

magnitudes relevantes en el ensayo de tracción, destacando la importancia de estos conceptos en la caracterización de materiales.

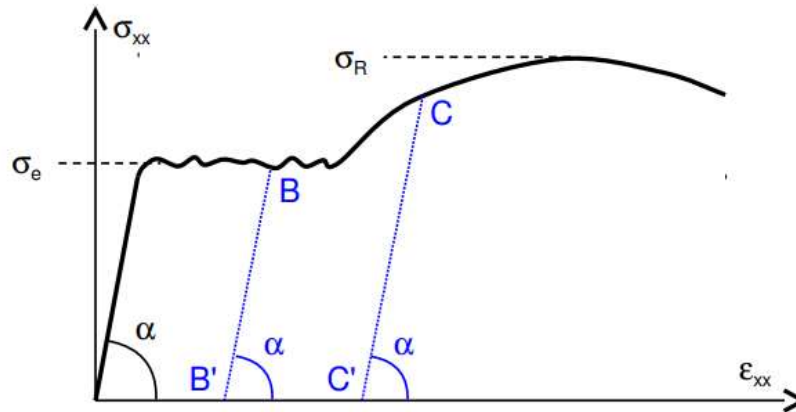


Ilustración 2-5: Resultado referenciales de un ensayo de tracción para un acero.

Fuente: (Abasolo, 2015)

2.3.2.1 Ensayo de tracción

El ensayo de tracción, una prueba de ingeniería, constituye una metodología destructiva en la ciencia de materiales, donde se aplica una tensión controlada a una muestra hasta que experimenta una falla completa. Esta técnica, ampliamente utilizada en pruebas mecánicas, desempeña un papel fundamental en la determinación de la fuerza y resistencia de un material, especialmente en el ámbito industrial (Infinitia, 2020).

El ensayo a tracción y analizando los elementos de unión presentes en ensamblajes sometidos a fuerzas lineales, mediante soldaduras, tornillos o remaches; revela que las uniones soldadas exhiben la mayor resistencia, ya que implican la fusión de los materiales, presentando una destacada capacidad para resistir fallos en comparación con las uniones atornilladas (Andrango Loachamin y Ulcuango Escola, 2023).

Antes de conocer sobre esfuerzo a cargas cortantes es esencial comprender la relevancia crítica de este fenómeno en la integridad estructural puesto que representa uno de los desafíos más significativos en la capacidad de estas conexiones para resistir cargas. En este análisis (aplicación automotriz), nos enfocaremos de manera precisa en los factores clave que influyen en el esfuerzo cortante en juntas empernadas, explorando estrategias innovadoras para optimizar su resistencia y garantizar la estabilidad estructural.

2.3.2.2 Análisis de carga Cortante en juntas empernadas

Cuando nos encontramos frente a una conexión atornillada sometida a fuerzas externas de corte, como se muestra en la ilustración 2-6 la respuesta de dicha unión puede ser clasificada en dos categorías principales, aunque comúnmente se presente como una combinación de ambas: "friction type" y "bearing type"(Abasolo, 2015) .

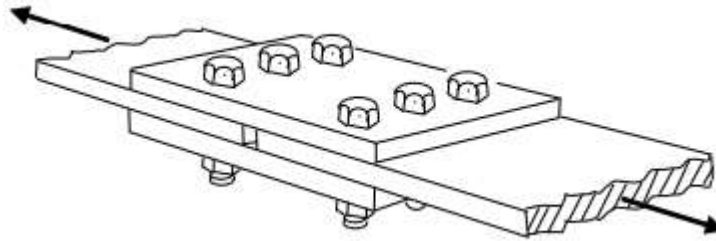


Ilustración 2-6: Unión Atornillada Sometida a carga cortante
Fuente: (Abasolo, 2015)

Antes de adentrarnos en el análisis detallado de las ilustraciones 2-3 y 2-4, es crucial comprender la respuesta característica de una unión del tipo "friction". Estas representaciones visuales ofrecen una perspectiva visual esclarecedora sobre cómo estas uniones gestionan las fuerzas cortantes. En las ilustraciones 2-4, observamos la respuesta de una unión "friction type", donde la fuerza de fricción evita el deslizamiento entre los elementos unidos. Este fenómeno resulta fundamental para comprender la dinámica que se ilustra en la ilustración 2-7, donde las líneas de transmisión de esfuerzos revelan cómo la unión "friction type" permite que los tornillos permanezcan inalterados frente a cargas cortantes externas, actuando como un bloque sólido para transmitir eficientemente las fuerzas a través de la estructura.

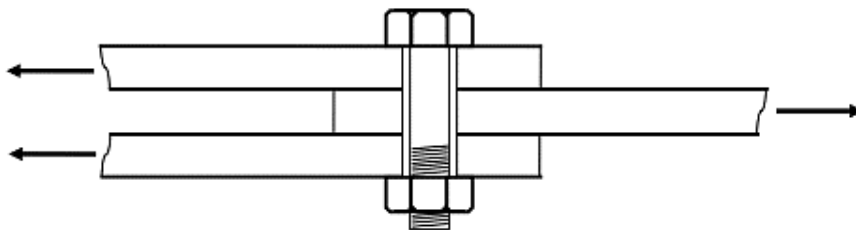


Ilustración 2-7: Denotación de una unión tipo fricción
Fuente: (Abasolo, 2015)

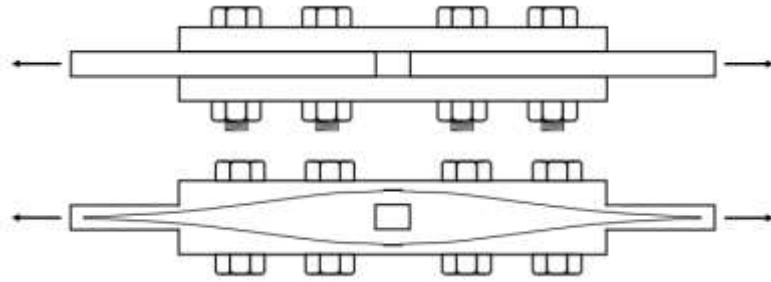


Ilustración 2-8: Líneas de Transmisión de esfuerzos para una junta tipo fricción

Fuente: (Abasolo, 2015)

En el contexto de las conexiones con capacidad de giro o rodamiento, se observa una dinámica única que contrasta con las uniones "friction type". En este tipo de configuraciones, la fuerza de rozamiento no actúa para evitar el deslizamiento entre los elementos conectados, como se ilustra en la ilustración 2-9. En cambio, los tornillos son sometidos a cizalladura por la carga cortante externa P , operando de tal manera que las fuerzas se transmiten a través de ellos. Esta interacción se visualiza de manera clara en la ilustración 2-10, donde los tornillos en las conexiones con capacidad de giro trabajan a cortante, permitiendo una transmisión eficaz de las fuerzas a lo largo de la estructura. La comprensión precisa de estas características es esencial para un diseño y análisis apropiados en aplicaciones estructurales específicas (Abasolo, 2015).

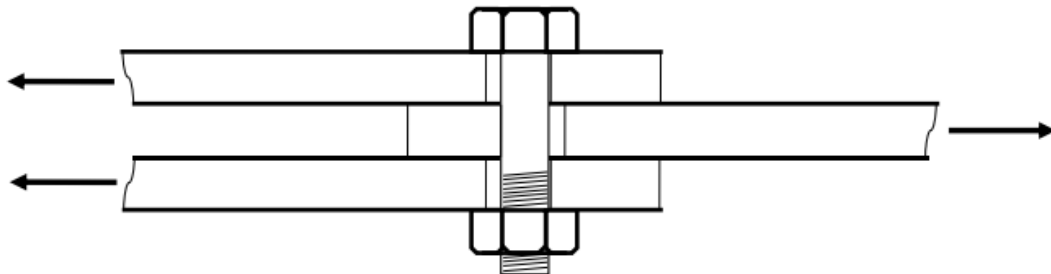


Ilustración 2-9: Respuesta a un esfuerzo a tracción para una unión tipo rodamiento o giro

Fuente: (Abasolo, 2015)

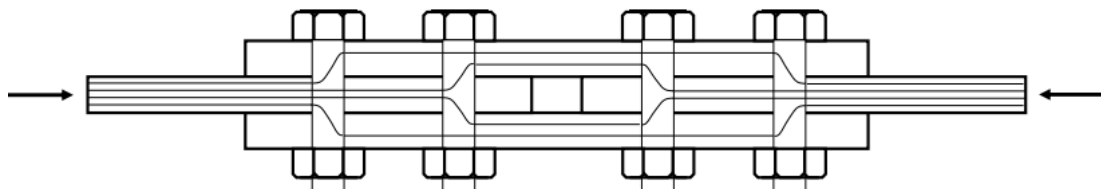


Ilustración 2-10: Respuesta de las líneas de transmisión de esfuerzos en una unión tipo rodamiento o giro

Fuente: (Abasolo, 2015)

Para lograr resistencia a la tracción en conexiones apernadas, se sugiere realizar modificaciones en los extremos de las uniones, como se muestra en la ilustración 2-11.

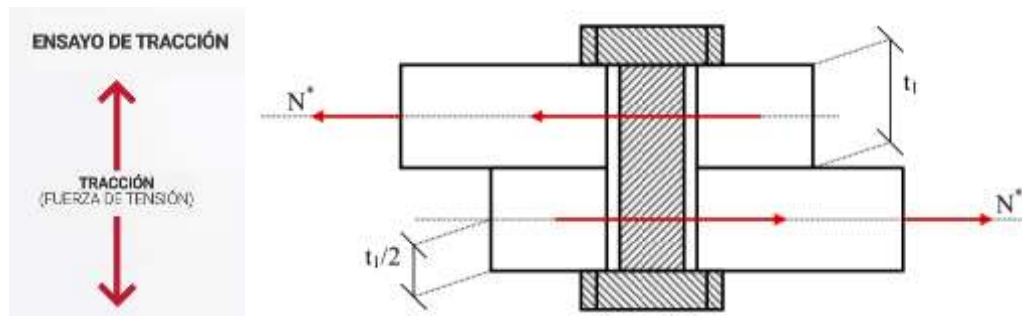


Ilustración 2-11: Respuesta de las líneas de transmisión de esfuerzos en una unión tipo rodamiento o giro

Fuente: (Abasolo, 2015)

2.3.2.3 Comportamiento Elástico y Plástico de Materiales en Tracción

El comportamiento de los materiales bajo fuerzas de tracción, especifica que un cuerpo sometido a una fuerza puede dar lugar a deformaciones elásticas y plásticas. Estas deformaciones son cruciales para evaluar la capacidad de los materiales de recuperar su forma original después de ser sometidos a una carga y su capacidad para soportar cargas permanentes sin fracturarse.

Comportamiento Elástico

Al analizar la fase elástica manteniendo un criterio referente a que los materiales responden linealmente a las fuerzas de tracción, deformándose proporcionalmente a la magnitud de la carga aplicada. Esta deformación es reversible; es decir, cuando se retira la carga, el material vuelve a su forma original sin deformaciones permanentes.

El módulo de elasticidad, una propiedad fundamental de los materiales que describe la relación lineal entre esfuerzo y deformación en la fase elástica.

Comportamiento Plástico

Si las fuerzas de tracción superan un punto crítico, el material puede entrar en la fase plástica. En esta etapa, las deformaciones son no reversibles, y el material experimenta deformaciones permanentes incluso después de retirar la carga. La resistencia a la tracción, que indica la capacidad del material para resistir fuerzas de tracción antes de entrar en la fase plástica, es una propiedad crucial que afecta directamente a la capacidad de las juntas empernadas para soportar cargas de tracción sin fallar o fracturarse.

Curva Esfuerzo Deformación

La relación entre esfuerzo y deformación se representa mediante la curva esfuerzo-deformación. Esta curva representa la respuesta del material a medida que se aplica una carga o fuerza creciente. La fase elástica se refleja en la parte inicial de la curva (fase de inicio), mientras que la fase plástica se evidencia en la parte posterior (final o rotura). Comprender esta curva es de vital importancia para este proyecto técnico puesto que se pretende diseñar juntas empernadas capaces de resistir cargas de tracción sin comprometer la integridad estructural.

En el contexto de las juntas empernadas, el conocimiento del comportamiento elástico y plástico de los materiales permite seleccionar materiales adecuados, determinar la capacidad de carga de las juntas y prevenir fallas catastróficas. La próxima sección explorará cómo este conocimiento influye en la selección de materiales y los tratamientos superficiales para optimizar el rendimiento de las juntas empernadas en aplicaciones automotrices específicas.

2.3.2.4 Análisis de Curvas Esfuerzo-Deformación

El análisis de las curvas esfuerzo-deformación pretende comprender cómo las juntas empernadas responden a cargas de tracción y cómo estas curvas influyen en el diseño y la resistencia estructural (diseño juntas empernadas); el análisis de estas curvas busca garantizar la seguridad y el rendimiento óptimo de la conexión.

Interpretación de la Curva

La curva esfuerzo-deformación proporciona una representación gráfica del comportamiento de un material específico bajo carga. En el caso de las juntas empernadas, esta curva será fundamental para prever cómo la junta responderá a fuerzas de tracción, anticipando el límite elástico, la resistencia máxima y la deformación plástica. La interpretación de esta curva será esencial para determinar el grado de deformación admisible en la junta empernada y, por ende, su capacidad para resistir cargas en el entorno específico de un roll bar en un vehículo automotriz.

Aplicación en el Diseño de la Junta Empernada

El conocimiento derivado de la curva esfuerzo-deformación guiará el diseño de la junta empernada. La identificación de la región elástica ayudará a establecer los límites de carga dentro de los cuales la junta puede experimentar deformaciones reversibles sin comprometer su integridad. Por otro lado, la comprensión de la región plástica permitirá evaluar la capacidad de la junta para absorber deformaciones permanentes sin fallos catastróficos.

Selección de Materiales y Configuraciones de Pernos

El análisis de la curva esfuerzo-deformación influye directamente en la selección de materiales para la junta empernada. La resistencia a la tracción, el límite elástico y la ductilidad son características a considerar y al elegir materiales que se alineen con las demandas específicas del roll bar en el contexto automotriz (puente chasis). Además, esta información refleja la configuración de los pernos, determinando las dimensiones y materiales más adecuados para garantizar un rendimiento óptimo.

Validación Experimental

La curva esfuerzo-deformación derivada de simulaciones computacionales deberá validarse con datos experimentales obtenidos a través de ensayos de tracción en la junta empernada. Esta validación asegurará que el modelo teórico se ajuste a la realidad, proporcionando así una base sólida para la toma de decisiones en el diseño y la aplicación de la junta en un roll bar automotriz.

El análisis de la curva proporciona información valiosa para garantizar la resistencia y seguridad de la junta, guiando la selección de materiales, la configuración de pernos y ofreciendo una base para la validación experimental del modelo propuesto. Este enfoque riguroso contribuirá a la robustez y eficacia de la junta empernada en aplicaciones específicas de chasis automotrices

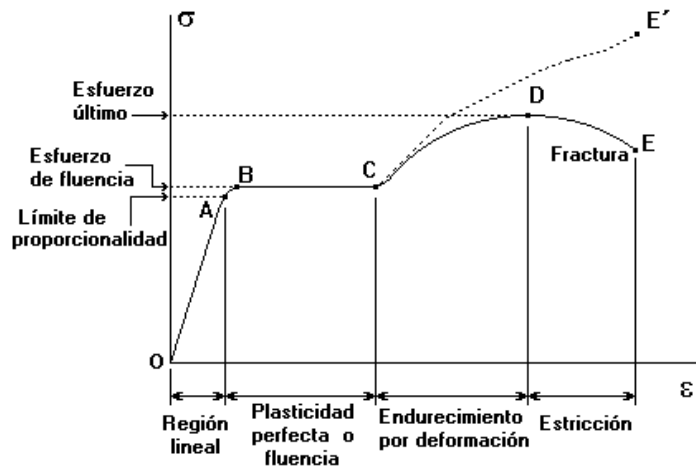


Ilustración 2-12: Curva de esfuerzo-deformación idealizada
Fuente: (Infinitia, 2020)

Selección de Materiales y Tratamientos Superficiales

La elección adecuada de materiales y la aplicación de tratamientos superficiales son aspectos cruciales en el diseño de juntas empernadas para roll bars en vehículos automotrices. Este proceso de selección se fundamenta en el análisis de las propiedades mecánicas de los materiales y tiene

un impacto directo tanto en la simulación por ANSYS como en los ensayos prácticos realizados en la máquina universal.

2.4 Espectrometría por chispa de emisión “Análisis de Bruker”

La espectrometría por chispa y arco marcó un hito en el desarrollo de la ciencia analítica, desplazando gradualmente a los métodos gravimétricos y volumétricos en los años 20. Estos avanzados espectrómetros posibilitan una determinación precisa de elementos metálicos en una amplia variedad de muestras, abarcando desde metales puros hasta complejas aleaciones, suelos ricos en minerales y rocas heterogéneas. En estos dispositivos, la muestra se somete a excitación entre un par de electrodos mediante la aplicación de una corriente eléctrica controlada, lo que induce la atomización y la excitación electrónica de los átomos o iones presentes. Hoy en día, estos métodos se focalizan principalmente en el análisis elemental de muestras sólidas, debido a que las muestras líquidas o gaseosas encuentran un mejor manejo mediante la espectrometría de emisión de plasma.

La espectrometría de emisión es una técnica espectroscópica sofisticada que se centra en el estudio de las longitudes de onda de los fotones liberados por átomos o moléculas cuando experimentan una transición desde un nivel de energía inferior a uno superior. Cada elemento exhibe un conjunto único y característico de longitudes de onda discretas, que surge de su compleja estructura electrónica. Al analizar con precisión estas longitudes de onda específicas, es posible identificar con certeza los elementos presentes en la muestra y, por ende, determinar su composición elemental con gran exactitud (Metalinspec, 2022).

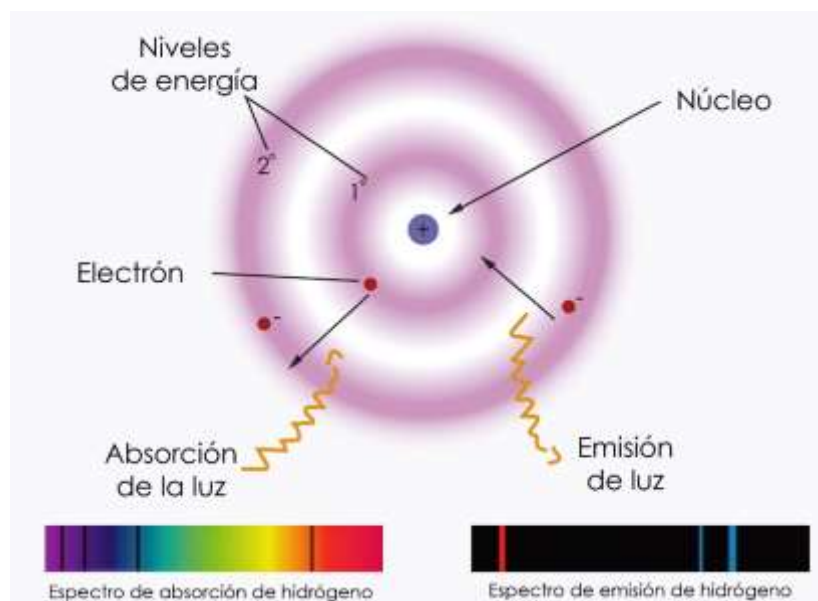


Ilustración 2-13: Espectrometría de emisión, espectro de absorción y emisión hidrógeno
Fuente: (Metalinspec 2022)

2.5 Microscopia Electrónica de Barrido “SEM”

La Microscopia Electrónica de Barrido (SEM, por sus siglas en inglés) representa una de las técnicas más avanzadas en el ámbito de la investigación científica. Su funcionamiento se basa en los principios fundamentales de la óptica, concretamente en el sistema de formación de imágenes utilizado en la microscopía electrónica de barrido, tal como se ilustra en la ilustración 2-14.

Este método revolucionario ilumina el objeto de estudio desde el frente, permitiendo que los haces de luz reflejados por dicho objeto sean capturados. Estos haces de luz reflejados, a su vez, son cruciales para obtener los datos finales necesarios para el análisis y la comprensión del objeto bajo observación. La técnica SEM se destaca por su capacidad para proporcionar imágenes de alta resolución y detalles minuciosos a escalas microscópicas, lo que la convierte en una herramienta invaluable para una amplia gama de disciplinas científicas, desde la biología hasta la nanotecnología.

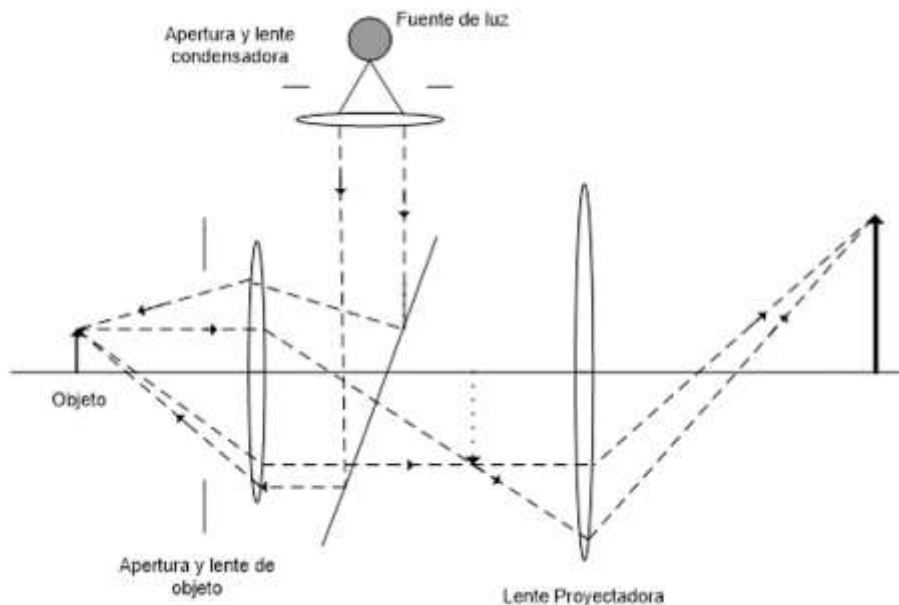


Ilustración 2-14: Componentes principales de un sistema de reflexión

Fuente: (Medina 2014)

En el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), en lugar de emplear haces de luz, se utilizan haces de electrones, que son manipulados por lentes condensadoras y objetivas, todas ellas de naturaleza magnética. Posteriormente, el haz de electrones se escanea a lo largo de la muestra mediante las bobinas de barrido, lo que produce la emisión de diversos tipos de electrones. Un detector registra el número de electrones secundarios de baja energía emitidos por cada punto de la superficie de la muestra. La imagen resultante de la superficie de la muestra se visualiza en un monitor, utilizando la señal procedente del detector de electrones secundarios (retrodispersados) para regular la intensidad del haz de electrones en el monitor.

Los componentes principales de un microscopio electrónico de barrido, como se ilustra en la ilustración 2-15, incluyen un haz fino de electrones con energías de hasta 40 kV, que se enfoca y se escanea sobre la superficie de la muestra. Esta técnica proporciona imágenes detalladas de la muestra a escalas microscópicas, ofreciendo información valiosa para una amplia gama de aplicaciones científicas y tecnológicas.

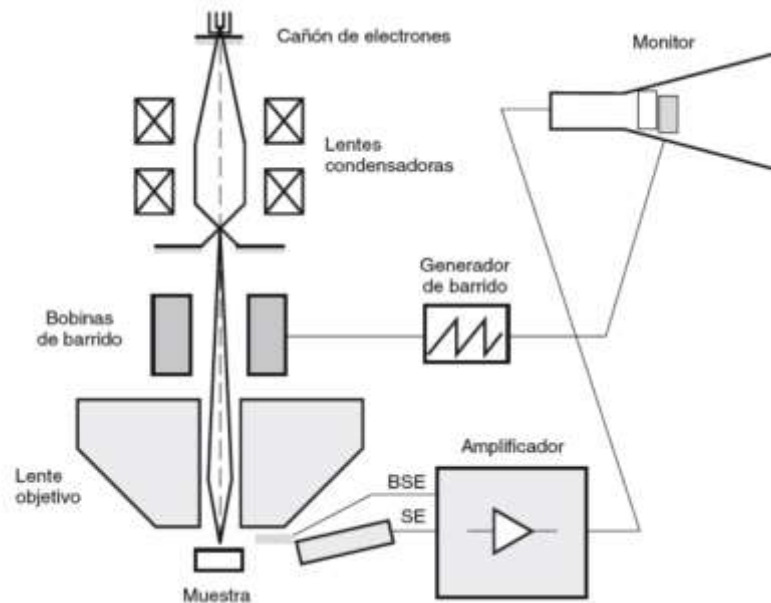


Ilustración 2-15: Representación esquemática de un microscopio electrónico de barrido.

Fuente: (Metalinspec 2022)

2.6 Dureza Brinell

La dureza Brinell es un método de prueba utilizado para medir la resistencia de un material a la deformación plástica causada por la penetración de un indentador esférico bajo una carga específica. Este método lleva el nombre de Johan August Brinell, su inventor. Consiste en presionar una esfera de acero endurecido contra la superficie de la muestra con una carga constante durante un tiempo determinado. Después de retirar la carga, se mide el diámetro de la impresión dejada por la esfera en la muestra, y la dureza Brinell se calcula dividiendo la carga aplicada por el área de la huella.

Las ventajas de la dureza Brinell incluyen su aplicabilidad a una amplia gama de materiales, la confiabilidad de los resultados y su insensibilidad a pequeñas variaciones en la rugosidad de la superficie. Sin embargo, tiene limitaciones como su inadecuación para materiales muy delgados y la posibilidad de introducir subjetividad en los resultados debido a la medición manual del diámetro de la huella.

La dureza Brinell se utiliza en industrias como la metalurgia, la ingeniería mecánica y la fabricación de componentes, para evaluar la idoneidad de los materiales para aplicaciones

específicas y controlar la calidad de los productos acabados. En resumen, la dureza Brinell es un método importante y ampliamente usado para medir la dureza de los materiales en diversas aplicaciones industriales.

La dureza Brinell (HB) se calcula dividiendo la carga aplicada (en kilogramos-fuerza) por la superficie de la huella dejada por el indentador (en milímetros cuadrados). Matemáticamente, se expresa como:

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

Donde:

P= carga aplicada a la esfera en Kg.f 187.5

D= diámetro del indentador esférico 2.5 mm

d= promedio de los dos diámetros obtenidos

HB= presión media de la huella de la esfera en Kg.f/mm² de la superficie que expresa el valor numérico de la dureza

2.7 Diseño Avanzado de Juntas Empernadas Utilizando SolidWorks

En el contexto del diseño avanzado de juntas empernadas, SolidWorks se destaca al ofrecer un enfoque integral centrado en el modelado y el análisis estructural mediante el Método de Elemento Finito (FEM). Es crucial destacar que, en este trabajo, SolidWorks será utilizado específicamente para la fase de modelado. El FEM, siendo una técnica numérica fundamental en ingeniería, se empleará para entender y prever el comportamiento estructural de las juntas empernadas.

El proceso inicia con la creación de un modelo CAD detallado de la junta empernada en SolidWorks. Durante este paso, se aprovechan las capacidades avanzadas de modelado del software para representar con precisión cada componente de la junta y sus interacciones. Posteriormente, se procederá a subdividir este modelo en elementos finitos, aprovechando la capacidad de SolidWorks para generar un mallado eficiente.

Si bien SolidWorks se limitará al modelado, es esencial reconocer la importancia de esta fase para garantizar la precisión y fidelidad del modelo estructural. Posteriormente, para el análisis de tensiones, deformaciones y evaluaciones estructurales, se podría utilizar software complementario especializado en análisis de elementos finitos, en línea con las limitaciones del enfoque adoptado. Este enfoque modular permite aprovechar las fortalezas específicas de

SolidWorks en la creación detallada de modelos, complementándolo con herramientas especializadas para análisis estructurales avanzados.

2.7.1 Simulación Computacional de Juntas Empernadas: Métodos y Consideraciones Técnicas con el uso de ANSYS

En el contexto de la simulación computacional de juntas empernadas, se emplea el Método de los Elementos Finitos (MEF) como una herramienta numérica versátil para la aproximación de soluciones a ecuaciones diferenciales parciales. Este método, cuyos orígenes datan de las décadas de los 40, ha experimentado una evolución significativa a lo largo de los años. La comercialización de computadores digitales en la década de los 50 marcó un hito, propiciando que investigadores como Langefors y Argyris adaptaran el análisis de estructuras a una forma matricial, facilitando su cálculo eficiente por ordenador. Este cambio impulsó el rápido desarrollo del MEF, convirtiéndolo en una herramienta rápida, fiable y potente.

A medida que el MEF se expandió más allá del ámbito del análisis estructural, matemáticos comenzaron a establecer fundamentos analíticos, realizando análisis rigurosos de convergencia, estabilidad y límites de error. En la actualidad, el MEF, con el respaldo de herramientas como ANSYS, permite obtener soluciones numéricas eficaces para cuerpos o estructuras, dividiéndolos en subdominios denominados 'elementos finitos'. Aunque la solución obtenida es aproximada debido a la interpolación de datos entre nodos, la adecuada modelización de los problemas garantiza la convergencia del MEF hacia la solución precisa a medida que se refina el mallado de elementos finitos. Es esencial tener en cuenta esta aproximación y estimar el error introducido en los análisis del MEF para asegurar la fiabilidad de los resultados obtenidos en la simulación de juntas empernadas.

2.7.2 Análisis de Elementos Finitos en Simulaciones de Juntas Empernadas

Las simulaciones de juntas empernadas fundamentadas en el diseño y construcción de juntas para aplicaciones en ingeniería automotriz, el análisis de elementos finitos (AEF) se revela como una herramienta esencial. Dada la limitada información disponible sobre juntas empernadas que conectan elementos al chasis, se plantea la necesidad imperante de adquirir conocimientos fundamentales a través de la simulación computacional. El enfoque se orienta hacia la ingeniería asistida por computadora, destacando el modelado por software, con especial énfasis en el análisis estructural mediante métodos de elemento finito, en consonancia con la evolución histórica del MEF expuesta anteriormente.

La investigación se dirige a la exploración de disciplinas clave, donde el software CAD, específicamente SolidWorks, desempeña un papel crucial en el diseño detallado de la junta

empernada. El análisis estructural mediante simulaciones computacionales permitirá obtener datos significativos sobre el comportamiento estructural de la junta empernada bajo diversas condiciones de carga a tracción. Estos datos serán fundamentales para validar y ajustar el modelo de simulación, asegurando su precisión y correspondencia con el comportamiento real de la junta empernada.

Otro aspecto crucial será el análisis de deformaciones, analizando información sobre como la junta empernada responde a las cargas aplicadas. Además, esto ayudará a evaluar la capacidad de deformación admisible de la junta, garantizando que pueda soportar las condiciones de carga esperadas sin comprometer la integridad estructural del chasis; es importante conocer que ANSYS permitirá estudiar el modo de falla potencial de la junta empernada bajo condiciones extremas, proporcionando información valiosa para mejorar su diseño.

2.7.3 Comparación de Resultados con Datos Experimentales

La fase de comparación de resultados con datos experimentales en la tesis ofrece una validación integral de la junta empernada que constituye el chasis (puente principal). Esta etapa busca analizar la convergencia entre la simulación computacional mediante ANSYS y los ensayos de tracción y destrucción realizados en el laboratorio puesto que la tesis buscará evaluar la coherencia entre los resultados obtenidos de ambas fuentes, asegurando que la simulación refleje el comportamiento real de la junta empernada bajo condiciones extremas de carga. En este proceso, se analizarán detalladamente los datos proporcionados por ANSYS, incluyendo la distribución de tensiones, las deformaciones y los modos de falla anticipados.

Estos resultados se compararán de manera rigurosa con los obtenidos de los ensayos experimentales haciendo énfasis en la distribución de tensiones a lo largo de la junta empernada, identificada mediante ANSYS, además que serán contrastadas con las mediciones reales derivadas de los ensayos de tracción, permitiendo corroborar la precisión del modelo de simulación. Asimismo, se evaluará la capacidad predictiva de ANSYS en términos de deformaciones y modos de falla, comparando estos aspectos con los datos observados durante los ensayos de destrucción.

Esta comparación permitirá ajustar la curva y el material según sea necesario para mejorar su precisión. La consistencia entre los resultados teóricos y experimentales fortalecerá la confiabilidad de la tesis y proporcionará una base sólida para las conclusiones sobre el diseño y comportamiento de la junta empernada en el chasis automotriz (puente principal). Finalmente, este enfoque de comparación integral respaldará la mejora continua del diseño y construcción de juntas empernadas, contribuyendo al avance del conocimiento en el campo de la ingeniería automotriz.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el marco del análisis a tracción de una junta empernada, se emprenderá un enfoque meticuloso utilizando simulaciones y el Método de Elementos Finitos (MEF) para evaluar la resistencia y comportamiento de la conexión, así como también la parametrización. Este estudio específico se llevará a cabo en el chasis de una camioneta MAZDA 4X4 modelo 2016. El proceso de análisis a tracción implica someter la junta empernada a cargas simuladas para comprender cómo responde a fuerzas externas, especialmente aquellas que generan tensiones y deformaciones significativas. La metodología empleada se basará en la aplicación de técnicas de simulación avanzadas mediante el MEF, permitiendo una representación precisa de las condiciones de carga y proporcionando una visión detallada de cómo la junta empernada se comporta bajo tensiones de tracción. Este enfoque no solo proporcionará información valiosa sobre la resistencia de la conexión, sino que también permitirá identificar posibles áreas de mejora en el diseño, contribuyendo así a un análisis exhaustivo y al refinamiento de la junta empernada en el chasis de la camioneta MAZDA 4X4.

3.1 Dimensionamiento de la Estructural

El dimensionamiento estructural de la junta empernada busca garantizar la integridad y seguridad de la conexión en el chasis de la camioneta MAZDA 4X4 modelo 2016.

Este proceso implica determinar las dimensiones y características de los componentes de la junta, tales como los pernos y las placas, para asegurar que puedan soportar las cargas a las que se verá sometida durante su vida útil.

Se considerarán factores como la resistencia de los materiales, las condiciones de carga anticipadas y los parámetros geométricos para calcular dimensiones óptimas. Además, se prestará especial atención a la distribución de las cargas a lo largo de la junta, asegurando que no se produzcan concentraciones de tensiones que puedan comprometer la integridad estructural.

El dimensionamiento estructural no solo busca cumplir con los requisitos de resistencia, sino también optimizar la eficiencia de los componentes, garantizando un diseño seguro y eficaz que cumpla con los estándares y normativas aplicables. Este proceso se realizará de manera meticulosa para asegurar la robustez y durabilidad de la junta empernada en el contexto específico del chasis.



Ilustración 3-1: Dimensionamiento, características geométricas.
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

Las características geométricas de la junta empernada en el chasis de la camioneta MAZDA 4X4 importante en el análisis de su rendimiento estructural. La disposición precisa de los pernos y la distribución de las placas se optimizan para resistir cargas de tracción, minimizar tensiones y lograr una distribución uniforme de fuerzas. Estas consideraciones geométricas son fundamentales para garantizar un diseño seguro y eficiente en el contexto dinámico del chasis.

3.2 Fases de simulación

Para llevar a cabo el análisis computacional se estableció 5 fases que están descritas en la tabla 3-1 donde se detalla el proceso a seguir.

Tabla 3-1: Características generales de Procedimiento

Levantamiento de información (Toma de medidas)	Se realiza el levantamiento de información en función a los parámetros geométricos que constituye la junta empernada, la precisión en la obtención de datos se erige como un elemento fundamental para el desarrollo exitoso del diseño asistido por computador (CAD).
Modelado CAD	En el proceso de modelado CAD con SolidWorks para la junta empernada que forma parte del chasis de la camioneta Mazda, se inicia mediante la importación precisa de

	<p>las medidas recolectadas durante el levantamiento de información. SolidWorks ofrece una interfaz intuitiva que facilita la creación de sólidos y superficies, permitiendo la representación fiel de la geometría de la junta y la disposición de los pernos. La plataforma posibilita la creación de ensamblajes detallados, donde cada componente se ajusta con precisión según las medidas recopiladas. Además, SolidWorks ofrece herramientas específicas para la modelación de roscas y detalles finos, asegurando una representación exacta de los elementos empernados. Este enfoque CAD no solo optimiza el diseño y la manufactura, sino que también proporciona un modelo digital preciso que sirve como referencia central para la construcción y ensamblaje del chasis de la camioneta Mazda.</p>
<p>Simulación y procesamiento (Máquina Universal)</p>	<p>Se establecerán condiciones que repliquen las tensiones y deformaciones a las que estará sometida en condiciones operativas.</p> <p>Se aplicarán cargas progresivas, registrando las respuestas de la junta en términos de esfuerzo y deformación considerando los parámetros del material, obtenidos a través de pruebas previas que serán incorporados para modelar con precisión el comportamiento elástico y plástico de la junta bajo carga. Las restricciones en los puntos de anclaje emularán las condiciones reales de montaje en el chasis de la camioneta Mazda de esta manera la máquina universal permitirá evaluar la resistencia y rigidez de la junta empernada, proporcionando datos cruciales para validar y ajustar el modelo de simulación. Este enfoque</p>

	<p>integral garantiza una comprensión del comportamiento mecánico de la junta en condiciones de tracción (críticas), optimizando su diseño para cumplir con los estándares de rendimiento y seguridad exigidos en aplicaciones automotrices.</p>
<p>Simulación y procesamiento (ANSYS)</p>	<p>Para simular el ensayo a tracción de la junta empernada del chasis utilizando el software ANSYS, se establecerán condiciones que replicarán las cargas y fuerzas realistas a las que la junta estaría expuesta en condiciones operativas. Se aplicarán restricciones en los puntos de anclaje de los pernos, simulando la fijación al chasis de la camioneta Mazda. Los parámetros de material, como módulos de elasticidad y límites de fluencia, se ajustarán según las propiedades del material de la junta empernada. La simulación consideró también las condiciones ambientales y de carga típicas durante la operación del vehículo. Este enfoque permitió evaluar de manera precisa el comportamiento bajo carga, identificar posibles puntos críticos y optimizar el diseño para garantizar la resistencia y durabilidad adecuadas en condiciones de servicio.</p>
<p>Post-procesamiento</p>	<p>El postproceso de la información proveniente de los ensayos en ANSYS y la máquina universal, se llevará a cabo mediante una meticulosa evaluación para verificar el alcance, magnitud y comportamiento de las respuestas de la junta empernada del chasis. Se analizarán detalladamente los resultados de esfuerzo y deformación obtenidos de la simulación en ANSYS, con el objetivo de identificar zonas críticas y patrones de comportamiento bajo carga. Este proceso</p>

	<p>permitirá afinar el modelo y validar su correlación con las condiciones experimentales reales. Simultáneamente, los datos derivados de la máquina universal serán sometidos a un análisis comparativo con los resultados simulados, verificando la coherencia entre la respuesta virtual y la respuesta física de la junta empernada. La magnitud de los esfuerzos y deformaciones registrados se evaluará en relación con los estándares de resistencia y seguridad establecidos, asegurando que el diseño cumpla con los requisitos exigidos para su aplicación en el chasis de la camioneta Mazda. Este enfoque integral de postprocesamiento respaldará la validación rigurosa del comportamiento estructural de la junta empernada, fortaleciendo la confiabilidad y eficacia del diseño en futuras aplicaciones.</p>
--	---

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

3.2.1 Fase 1: Levantamiento de información (Toma de medidas)

Bajo las condiciones geométricas que establecen la pieza se analiza con ayuda de instrumentos de medida de esta manera se obtiene los parámetros geométricos de medida.

Es importante considerar que la figura se compone de dos piezas, es decir; la junta empernada mantiene dos cuerpos unidos por dos pernos M12.

Dentro del levantamiento se analizan las perforaciones presentes en cada elemento. La tabla 3-2, y 3-3 denotan la configuración geométrica de manera general. Para detallar de mejor manera a continuación se presentan 2 ilustraciones que identifican cada elemento.



Ilustración 3-2: Travesaño principal de chasis
 Realizado por: Torres L., Liguin A., 2024

Tabla 3-2: Travesaño principal de chasis

Largo total	331 mm
Ancho total	74 mm
Alto total	1650 mm

Realizado por: Torres L., 2024



Ilustración 3-3: Junta Chasis
 Realizado por: Torres L., Liguin A., 2024

Tabla 3-2: Junta Chasis

Largo total	455 mm
Ancho total	82 mm
Alto total	142.5 mm

Realizado por: Torres L., 2024

De la misma manera a continuación se presenta la ilustración 3-4 que hace mención al sistema en conjunto que contiene la junta empernada.



Ilustración 3-4. Sistema de análisis junta empernada

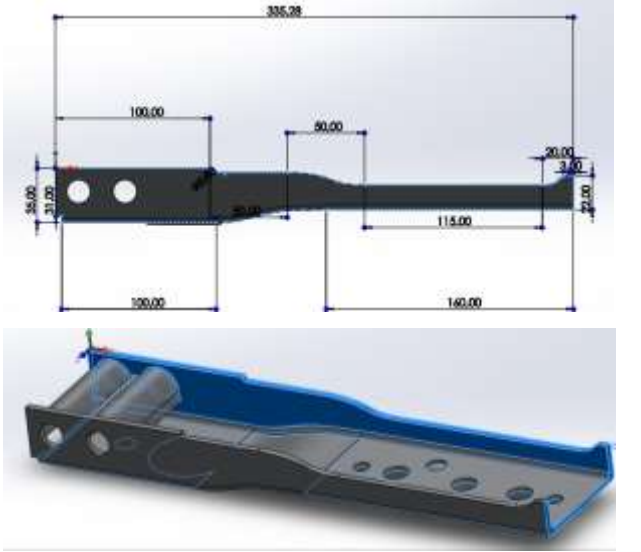

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

3.3 Fase 2: Modelado CAD.

Luego de establecer las condiciones geométricas de cada elemento, se procede con la fase 2, que hace mención al modelado CAD, en la tabla descrita a continuación, se evidencia el proceso de modelado, denotando las operaciones características a tomar en cuenta.

Tabla 3-3: Resumen de operaciones del modelo CAD- Travesaño Principal de chasis.

Operaciones y Descripción	Ilustraciones
---------------------------	---------------

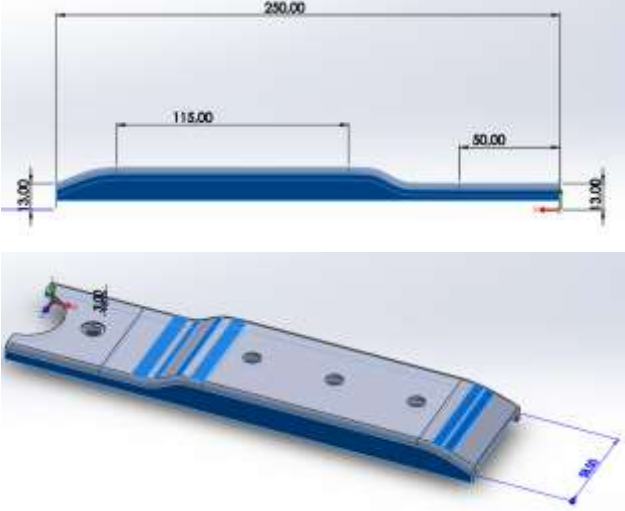


<p>Creación de Croquis y extrusión – Vista Lateral: mediante el uso del Plano Lateral se establecieron condiciones geométricas que definen el perfil de la pieza; se aplicaron acotaciones precisas para resaltar detalles simétricos, facilitando su réplica en su lado opuesto. Este enfoque garantizó una representación precisa y eficiente del costado de la pieza que constituye parte del travesaño principal</p>	
<p>Extrusión: Considerando el espesor de la placa se establece la extrusión de la base de la pieza la cual mantiene perforaciones y agujeros que sirven de puntos de sujeción</p>	
<p>Simetría de Operaciones: Considerando la operación inicial de la cara lateral y creando una línea o plano medio utilizando esta como referencia para replicar la cara mediante una simetría de operaciones.</p>	
<p>Redondeo de Superficie: Se establecen redondeos en las aristas del elemento, buscando suavizar las aristas de un elemento modelado, proporcionando un aspecto más realista y funcional.</p>	
<p>Recortar superficie- Extruir Corte-Extrusión: En base al modelo y a las condiciones geométricas se establecen los cortes en las caras laterales por donde pasan los pernos de la junta, esta operación permite la creación de aberturas o recortes,</p>	

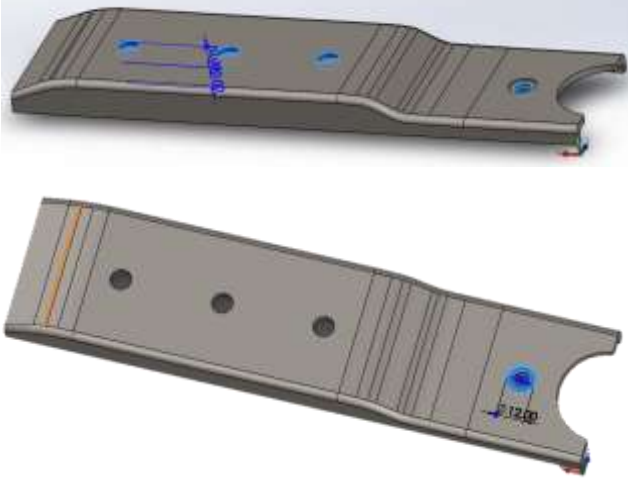
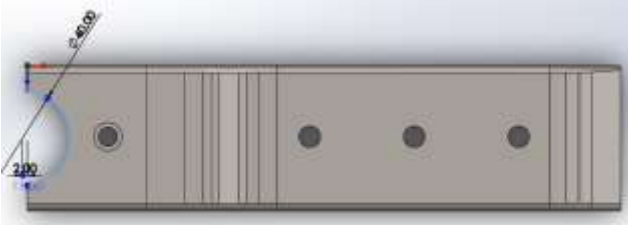

<p>asegurando la integración precisa de elementos de fijación y garantizando una representación detallada y funcional del diseño.</p>	
<p>Recortar-Extruir Corte: Considerando el modelo y las condiciones geométricas se establecen cortes en la base generando agujeros de sujeción, se elimina material en las zonas seleccionadas, creando aberturas o recortes según las especificaciones del diseño.</p>	
<p>Resultado-Final Se refleja un diseño integral con múltiples operaciones, incluyendo redondeos para suavizar aristas, simetría para mantener consistencia y la operación "Recortar Superficie-Extrusión" para adaptarse a las condiciones geométricas, como la ubicación de pernos en una junta. Estas modificaciones contribuyen a una representación detallada y precisa, garantizando la funcionalidad y estética deseada en el diseño final.</p>	

Realizado por: Aguas C., 2023

De manera similar se realiza el análisis y configuración de los parámetros utilizados para la generación de la junta del chasis, el proceso se detalla en la tabla (3-4) mostrada a continuación.

Tabla 3-4: Configuración Junta Chasis

Operaciones y Descripción	Ilustraciones
<p>Creación de Croquis y extrusión – Vista Lateral: mediante el uso del Plano Lateral se establecieron condiciones geométricas que definen el perfil de la pieza; se aplicaron acotaciones precisas para resaltar detalles simétricos, facilitando su réplica en su lado opuesto. Este enfoque garantizó una representación precisa y eficiente del costado de la pieza que constituye parte de la junta del chasis</p>	
<p>Extrusión: Considerando el espesor de la placa se establece la extrusión de la base de la pieza la cual mantiene perforaciones y agujeros que sirven de puntos de sujeción</p>	
<p>Simetría de Operaciones: Considerando la operación inicial de la cara lateral y creando una línea o plano medio utilizando esta como referencia para replicar la cara mediante una simetría de operaciones.</p>	
<p>Redondeo de Superficie: Se establecen redondeos en las aristas del elemento, buscando suavizar las aristas de un elemento modelado, proporcionando un aspecto más realista y funcional.</p>	

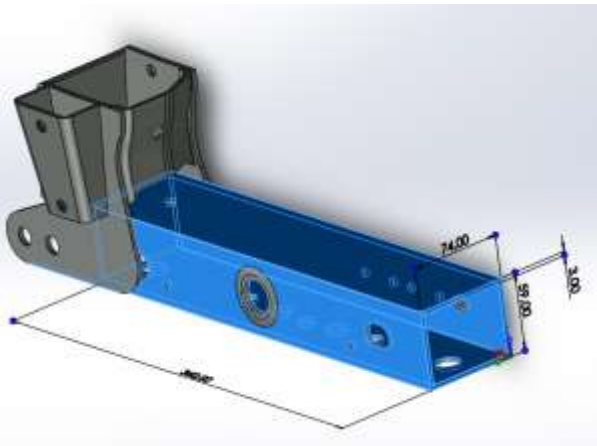
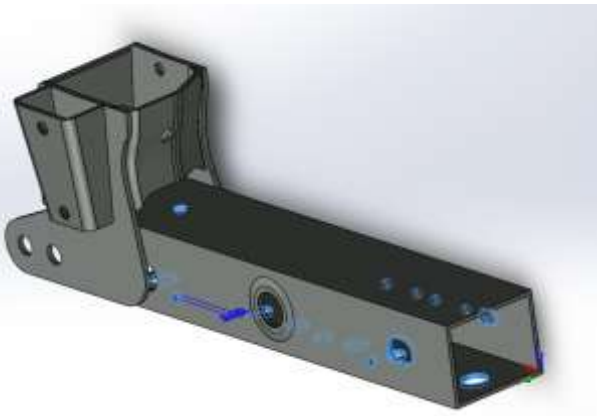
<p>Recortar superficie- Extruir Corte-Extrusión: En base al modelo y a las condiciones geométricas se establecen los cortes en las caras laterales por donde pasan los pernos de sujeción, esta operación permite la creación de aberturas o recortes, asegurando la integración precisa del modelamiento de la pieza, en la ilustración se evidencia el proceso de corte para la generación de agujeros.</p>	
<p>Recortar-Extruir Corte: Considerando el modelo y las condiciones geométricas se establece un corte adicional, se elimina material en las zonas seleccionadas, creando abertura que constituye la pieza.</p>	
<p>Resultado-Final de la junta del chasis Se refleja un diseño integral con múltiples operaciones, incluyendo redondeos para suavizar aristas, simetría para mantener consistencia y la operación "Recortar Superficie-Extrusión" para adaptarse a las condiciones geométricas. Estas modificaciones contribuyen a una representación detallada y precisa, garantizando la funcionalidad y estética deseada en el diseño final que hace juego con la junta del chasis que constituyen el elemento.</p>	

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024


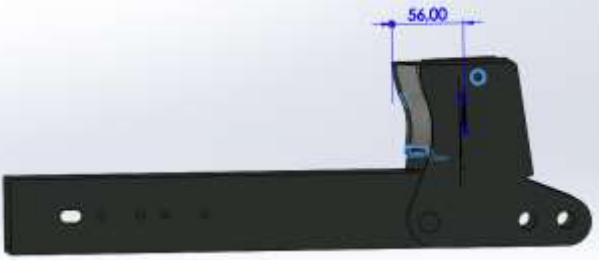

A continuación, se llevará a cabo un procedimiento análogo al empleado en las dos fases precedentes, en el que se describirá de manera detallada y simplificada el proceso relativo al


segundo elemento que conforma la junta empernada. De manera análoga, se procederá con el análisis y la configuración detallada de los parámetros involucrados en la producción de la pieza 2. La metodología utilizada para este proceso se encuentra documentada en la tabla (3-5), la cual se presenta a continuación, proporcionando una guía detallada para asegurar un resultado fiable desde su fase de modelado.

Tabla 3-5: Constitución Elemento 2 Junta del Chasis

Operaciones y Descripción	Ilustraciones
<p>Pieza soldada-Miembro Estructural: El proceso establece el uso de miembros estructurales garantizando una unión robusta y simplificada del elemento. Este método optimiza la construcción del miembro estructural, proporcionando una representación precisa y sólida en el entorno de modelado 3D bajo simples parámetros que definen la junta del chasis</p>	 <p>A 3D CAD model of a blue structural member. The model is a long, rectangular channel with a central circular hole. It has a flange on one end. Dimensions are shown: 74.00 for the length, 52.00 for the width, and 1.00 for the thickness of the flange.</p>
<p>Recortar superficie- Extruir Corte-Extrusión: En base al modelo y a las condiciones geométricas se establecen los cortes en las caras laterales por donde pasan elementos de sujeción, esta operación permite la creación de aberturas o recortes, asegurando la integración precisa del modelamiento de la pieza, en la ilustración se evidencia el proceso de corte para la generación de agujeros.</p>	 <p>A 3D CAD model of the same structural member, but in a grey color. It shows the process of cutting holes into the side surfaces. Blue arrows indicate the direction of the cutting operation, and blue circles represent the resulting holes.</p>

<p>Extrusión de material: Consiste extender una forma bidimensional para formar un objeto tridimensional mediante la adición de material. Se selecciona un un perfil, establecido, en este caso de tipo circular en forma de aro, se especifica el espesor o profundidad a tener, es importante denotar que se realizó un redondeo en el contorno externo</p>	
<p>Extrusión de material-Fotografía base: Implica la incorporación de una fotografía base en el proceso de modelado 3D. Inicialmente, se coloca una imagen que sirve como referencia visual del objeto deseado, se utiliza esta fotografía como guía para crear un croquis que define el contorno y las dimensiones del sólido. La extrusión de material se realiza posteriormente, utilizando el croquis como perfil, para generar el objeto tridimensional. Este enfoque permite una modelación más precisa y detallada al utilizar una imagen de referencia como punto de partida.</p>	
<p>Simetría de Operaciones: Considerando la operación inicial de la cara lateral y creando una línea o plano medio utilizando esta como referencia para replicar la cara mediante una simetría de operaciones.</p>	

<p>Recortar-Extruir Corte:</p> <p>Considerando el modelo y las condiciones geométricas se establecen dos corte que delimita los agujeros de la junta empernada, se elimina material en las zonas seleccionadas, creando abertura que constituye la pieza.</p>	
<p>Barrido de Superficie: Involucra la creación de un sólido tridimensional mediante el desplazamiento de un perfil a lo largo de una trayectoria definida por una superficie. En este contexto, se destaca que la superficie es generada a partir de una curva inicial. La curva actúa como la guía para la creación de una superficie que luego se utiliza como ruta para el barrido. Esta técnica permite modelar de manera precisa y flexible, ya que la forma resultante sigue la trayectoria de la superficie definida por la curva inicial.</p>	
<p>Recortar-Extruir Corte:</p> <p>En base al modelo y las condiciones geométricas se establecen cortes que delimita los agujeros y forman parte constitutiva del elemento, se elimina material en las zonas seleccionadas, bajo la creación de un boceto (croquis).</p>	
<p>Extrusión de material: Se extiende una forma bidimensional para formar un objeto tridimensional mediante la adición de material. Se selecciona un</p>	

<p>perfil, establecido, se especifica el espesor o profundidad.</p>	
<p>Recortar-Extruir Corte: Se establecen cortes que delimita los agujeros y forman parte constitutiva del elemento, se elimina material en las zonas seleccionadas bajo una ilustración como croquis definido previamente.</p>	
<p>Resultado-Final Junta del chasis El resultado final, tras la aplicación de diversas operaciones, es un modelo tridimensional detallado, que refleja con precisión la geometría y características deseadas. Integra procesos como extrusión, fotografía base, y barrido de superficie, logrando construir un componente estructural complejo con dimensiones exactas y formas específicas. Cada operación ha contribuido a la creación de un modelo coherente y funcional, que proporcione datos fiables al momento de desarrollar la simulación.</p>	

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

A continuación, se presenta el ensamble completo que denota una junta empernada compuesta por dos piezas individuales. Este diseño ha sido modelado con precisión en SolidWorks, incorporando dos pernos M12 para asegurar una unión robusta. El ensamblaje no solo destaca la coherencia y funcionalidad de las piezas constitutivas, sino que también demuestra la capacidad del software para generar representaciones digitales precisas que cumplen con los estándares de diseño y fabricación.



Ilustración 3-5: Modelado CAD 3D-SolidWorks

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

Una vez realizado el modelado y dentro del marco metodológico, se llevará a cabo la simulación mediante ANSYS para analizar la junta empernada, sometida a cargas de tracción. La elección de ANSYS se justifica por su eficacia en simulaciones detalladas. Dada la importancia de las juntas en la integridad estructural de vehículos, esta simulación examinará el comportamiento bajo tracción, evaluando tensiones, deformaciones y posibles puntos críticos. Estos resultados ofrecerán valiosas perspectivas para optimizar el diseño y la resistencia de las juntas empernadas en chasis de camionetas Mazda, contribuyendo así al progreso en ingeniería automotriz a continuación se describe el proceso.

3.4 Análisis Ansys

3.4.1 Configuración del Modelo en ANSYS

En la configuración del modelado se aborda una representación tridimensional detallada de la junta empernada en el entorno SolidWorks para su posterior simulación en ANSYS. La geometría del modelo se simplificó estratégicamente para mejorar la eficiencia computacional sin sacrificar la representación precisa del comportamiento estructural. La ilustración 3-6 presenta la configuración de la junta a ser simulada, es importante considerar los parámetros y el tipo de análisis a realizar para simplificar su geometría.



Ilustración 3-6: Modelado CAD 3D, Vista seccionada

A continuación, se detalla el tipo específico de simulación que se busca realizar. Es fundamental resaltar que en este análisis se tiene como objetivo replicar de manera fiel el comportamiento de la junta empernada ante fuerzas de tracción, buscando una simulación que refleje de manera precisa el posicionamiento y respuesta estructural que la pieza exhibirá durante el análisis práctico con la máquina universal. La simulación se enfocará en reproducir las condiciones de carga a las que estará sometida la junta empernada en situaciones prácticas, permitiendo así una comparación efectiva entre los resultados virtuales y los datos experimentales obtenidos en el laboratorio. Este enfoque garantizará que la simulación no solo sea teóricamente precisa, sino que también sea aplicable y relevante para las condiciones reales a las que se enfrentará la junta empernada en el entorno automotriz.



Ilustración 3-7: Modelado mecanismo sometido a fuerzas

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

El punto de partida implica la transferencia del modelo 3D de la junta empernada desde SolidWorks a ANSYS. Se garantiza la integridad de la transferencia, verificando que las geometrías, materiales y propiedades se reproduzcan de manera precisa en el entorno de simulación de ANSYS. La correcta transición del diseño desde SolidWorks es esencial para preservar la fidelidad del modelo original, es importante destacar los detalles específicos del modelo 3D, así como también el proceso de discretización de elementos finitos sobre la junta empernada.

3.4.2 Definición de Materiales y Propiedades.

En esta sección, se abordará la identificación y definición de los materiales utilizados en la junta empernada y el chasis de la camioneta, así como los parámetros de material en ANSYS y su conexión con el comportamiento estructural.

Antes de adentrarnos en el desarrollo de los ensayos prácticos de los materiales, es imperativo contextualizar la importancia de este proceso dentro del marco metodológico. La caracterización precisa de las propiedades de los materiales, utilizados en la junta empernada y el chasis de la

camioneta, es esencial para fundamentar adecuadamente los parámetros de material en ANSYS. Estos ensayos no solo proveen información detallada sobre la composición química y las propiedades mecánicas, además muestran la simulación y que esta sea representativa de la realidad, permitiendo una evaluación rigurosa del comportamiento estructural bajo condiciones específicas de tracción.

En este contexto, los ensayos prácticos muestran los resultados obtenidos a través de la simulación, contribuyendo así a un análisis integral. A continuación, se detallan los ensayos realizados, con la finalidad de establecer el tipo de material (subtema 3.4.3).

Para llevar a cabo una determinación exhaustiva de las propiedades del material, se realizarán tres ensayos fundamentales. En primer lugar, se empleará la espectrometría por chispa de emisión atómica, específicamente el análisis de Bruker, para proporcionar una identificación precisa de la composición química del material. Este método nos permitirá obtener información detallada sobre los elementos presentes en el material. Posteriormente, se recurrirá a la microscopía electrónica de barrido (SEM) para explorar la morfología y la estructura superficial del acero. Este análisis detallado revelará aspectos cruciales de la microestructura, proporcionando información valiosa sobre la calidad y la integridad del material. Por último, se llevará a cabo un análisis de dureza Brinell, que permitirá evaluar la capacidad del material para resistir deformaciones plásticas bajo carga. Estos tres ensayos complementarios aseguran una caracterización completa de las propiedades del material, garantizando la obtención de datos precisos y confiables que respaldarán la definición de parámetros en ANSYS y contribuirán significativamente al análisis estructural de la junta empernada.

3.4.3 Espectrometría por chispa de emisión “Análisis de Bruker”

Para llevar a cabo el análisis de composición química del acero dulce utilizado en la junta empernada y el chasis de la camioneta, se procedió a cortar muestras representativas del chasis, cada una con medidas de 3 cm x 3 cm. Estas muestras se sometieron a diferentes pruebas, entre ellas la Espectrometría por Chispa de Emisión Atómica utilizando el equipo "BRUKER 0.2 ION" como se detalla en la ilustración 3-8.

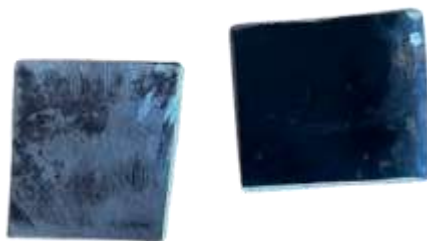


Ilustración 3-8: Muestras 30mmx30mm
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

El funcionamiento de la máquina BRUKER 0.2 ION implica un proceso meticuloso. En la parte inferior, se encuentra un electrodo, mientras que en la parte superior se ubica una punta que cierra el circuito. Al ejecutar el programa, se genera una chispa controlada que calienta la muestra de acero. Este calentamiento provoca la excitación de los electrones en el material, llevándolos a órbitas superiores. Cuando los electrones regresan a su órbita original al enfriarse, emiten fotones con longitudes de onda específicas.

Cada material tiene patrones de onda únicos, y el equipo de BRUKER 0.2 ION está diseñado para leer y analizar estas ondas. El gas argón, conectado a la máquina, desempeña un papel crucial al evitar la oxidación o reducción del material durante el análisis. Al introducir un gas inerte de alta pureza, como el argón con un 99.99% de pureza, se crea un entorno propicio para la generación de chispas y la lectura precisa de las longitudes de onda emitidas. En la ilustración 3-9, se observa el procedimiento seguido en el análisis.



Ilustración 3-9: Funcionamiento Máquina BRUKER 0.2 ION
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

La Espectrometría por Chispa de Emisión, mediante el análisis de Bruker, proporciona datos detallados sobre la composición química del acero dulce, identificando los elementos presentes y sus concentraciones respectivas. Estos resultados son esenciales para respaldar la definición de parámetros de material en la simulación estructural en ANSYS, asegurando un análisis riguroso y preciso de la junta empernada en el contexto automotriz.



Ilustración 3-10: Operación Máquina BRUKER 0.2 ION
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

La aplicación de la Espectrometría por Chispa de Emisión mediante el análisis de Bruker ha arrojado resultados reveladores sobre la composición química del acero dulce en las muestras del chasis. La identificación precisa de elementos y sus concentraciones respectivas proporciona una base sólida para la definición de parámetros en ANSYS, asegurando la representación precisa de las propiedades del material en la simulación estructural. Este análisis no solo contribuye significativamente al entendimiento del comportamiento de la junta emperrada bajo condiciones de tracción, sino que también establece una sólida plataforma para el diseño y la mejora continua de componentes estructurales en el contexto automotriz.

3.4.4 Microscopia Electrónica de Barrido “SEM”

Para obtener una comprensión detallada de la morfología y la estructura superficial del acero dulce utilizado en la junta emperrada y el chasis de la camioneta, se llevará a cabo el análisis mediante Microscopia Electrónica de Barrido (SEM). Este procedimiento se integra en el marco metodológico con el objetivo de caracterizar la microestructura del material y proporcionar información valiosa para la simulación estructural en ANSYS. A continuación, se detalla el procedimiento a seguir.

3.4.4.1 Preparación de Muestras

Se realiza la extracción de muestras representativas del chasis, asegurando su representatividad en términos de la estructura del material. Estas muestras se seccionarán cuidadosamente y se prepararán para su análisis, eliminando cualquier contaminante superficial y recubriendo las muestras con una delgada capa de metal para mejorar la conductividad eléctrica, es así como primer punto se utiliza la cortadora de disco.

3.4.4.2 Cortadora de Disco

La cortadora de disco importante en la obtención de muestras de dimensiones 7 mm x 7 mm, garantizando representatividad y evitando posibles microfracturas. La gestión precisa de la temperatura a través de un sistema de refrigeración por agua desempeña un papel crucial al preservar la integridad estructural de las muestras. Este control riguroso permite un corte seguro y eficiente, asegurando que las muestras obtenidas mantuviesen sus propiedades originales para análisis posteriores. En la Ilustración 3-11 presentada a continuación se observa el procedimiento de la cortadora de disco presente en el laboratorio de la facultad.



Ilustración 3-11: Máquina Cortadora de Disco
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

A continuación, se detalla el proceso a realizar:

Montaje del Disco: Se inicia el proceso montando el disco en la cortadora, asegurándose de que esté correctamente fijado y alineado para garantizar un corte preciso.

Ubicación de la Pieza: La pieza se posiciona en la porta muestra de la cortadora, asegurándose de colocarla de manera que se obtengan secciones representativas.

Ajuste de la Muestra: Se ajusta la muestra utilizando los tornillos del equipo, asegurando una sujeción firme y estable durante el proceso de corte.

Conexión de la Máquina: Se conecta la cortadora a la fuente de alimentación eléctrica (220V).

Puesta en Marcha: Se coloca la cortadora en posición ON, activando así los componentes necesarios para el inicio del proceso de corte.

Inicio de la Refrigeración del Disco: Se inicia el sistema de refrigeración del disco con agua (H₂O) para controlar la temperatura durante el proceso de corte, evitando el sobrecalentamiento del disco.

Ajuste de la Perilla: La perilla se ajusta al nivel medio para establecer la velocidad de corte deseada, permitiendo un equilibrio entre eficiencia y precisión.

Deslizamiento de la Palanca: La palanca se desliza hacia atrás, llevando la muestra al contacto con el disco para iniciar el proceso de corte.

Apagado de la Máquina: Una vez completado el corte, la máquina se apaga, deteniendo todos los componentes en funcionamiento.

Desconexión: Se coloca la cortadora en posición OFF y se procede a desconectarla de la fuente de alimentación.

Este procedimiento asegura un corte preciso y controlado para muestras de alta calidad y análisis posteriores.

La combinación de ajustes cuidadosos y medidas de seguridad garantiza la integridad de las muestras y la eficacia del proceso en la cortadora de disco. A continuación, se muestra el resultado del proceso con la cortadora de disco: las muestras obtenidas de 7 mm x 7 mm ilustración 3-12. Estos resultados son el producto del proceso descrito previamente que abarca desde el montaje del disco hasta el ajuste y la refrigeración controlada.



Ilustración 3-12. Probeta 7mmx7mm
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

3.4.5 Montador de Probetas

El Montador de Probetas es un equipo esencial en la fase de preparación de muestras, específicamente para la elaboración de probetas de baquelita destinadas al estudio de sus propiedades físicas y mecánicas. Su funcionamiento automatizado, controlado mediante

pulsadores de elevación y descenso, garantiza la precisión en el proceso. En este caso, se fabricaron dos probetas de baquelita utilizando este dispositivo. Este paso es fundamental para asegurar la uniformidad y calidad de las probetas que posteriormente serán sometidas a análisis detallados en el estudio de materiales. En la Ilustración 3-13 se detalla la máquina que será empleada para el montaje de probetas



Ilustración 3-13: Montador de Probetas
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

A continuación, se detallan las partes constitutivas de la máquina empleada en el montador de probetas.

- Estructura
- Brazo de Sujeción
- Perilla para Timer de Enfriamiento
- Perilla para Timer de Calentamiento
- Pulsador para Elevación del Pistón
- Pulsador para Descenso del Pistón
- Perilla para Nivel de Fuerza
- Indicador de Presión

Es crucial destacar la importancia de mantener protocolos de seguridad durante la operación.

La instalación debe realizarse en un entorno seco, libre de vibraciones y agentes corrosivos. Abstenerse de desmontar el brazo de sujeción durante el funcionamiento. Se recomienda que el

personal capacitado maneje el equipo y administre la cantidad de resina (baquelita) de manera precisa.

Antes de adentrarnos en el procedimiento, es esencial destacar la importancia de una ejecución precisa y segura para garantizar resultados óptimos y la integridad de la maquinaria.

1. Iniciar el desmontaje del brazo de sujeción girándolo en sentido antihorario con precaución.
2. Conectar el equipo a la fuente de alimentación (110V) y verificar todas las conexiones.
3. Utilizar el pulsador de elevación del pistón para llevarlo al punto muerto superior de manera controlada.
4. Aplicar lubricante con Aceite Hidráulico al pistón para garantizar su funcionalidad y que esta sea suave y eficiente.
5. Colocar la resina (baquelita) con precisión en el espacio designado, asegurándose de seguir las pautas de cantidad recomendada.
6. Montar el brazo de sujeción de manera segura, garantizando la estabilidad de la probeta.
7. Ajustar la perilla de presión hasta alcanzar 2.5 kpsi, manteniendo un control constante.
8. Configurar el temporizador de calentamiento a 8 minutos y el de enfriamiento a 1 minuto, asegurándose de cumplir con los tiempos establecidos.
9. Reducir la presión a cero y aguardar 3 minutos antes de proceder al desmontaje del brazo de sujeción, garantizando la estabilización de la probeta.
10. Extraer la probeta con cuidado, evitando posibles daños.
11. Desconectar el equipo de la fuente de alimentación con seguridad y según los procedimientos establecidos.

En la ilustración 3-14, se presenta las probetas tras el proceso de montaje. Este paso crítico asegura que las muestras estén listas y en condiciones óptimas para someterse a análisis y evaluación, buscando obtener resultados fiables y significativos.



Ilustración 3-14: Probetas a ser analizadas
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

3.4.6 *Máquina Desbastadora*

La desbastadora despliega su función al llevar a cabo el desbaste superficial de las muestras metalográficas mediante la aplicación de papeles abrasivos. Su versatilidad permite la disposición de papeles abrasivos con distintas denominaciones, proporcionando flexibilidad en el proceso de preparación. La estructura de la desbastadora, construida en aluminio fundido, garantiza resistencia y durabilidad. Con un área de trabajo de (300x69) mm dividido en cuatro secciones, cada una destinada a diferentes denominaciones de lijas, la desbastadora ofrece precisión y eficacia como se denota en la ilustración 3-15. Además, cuenta con un sistema de refrigeración y drenaje, asegurando condiciones ideales durante la operación. Todas las partes de la desbastadora están diseñadas con materiales resistentes a la corrosión, asegurando un rendimiento consistente y duradero.

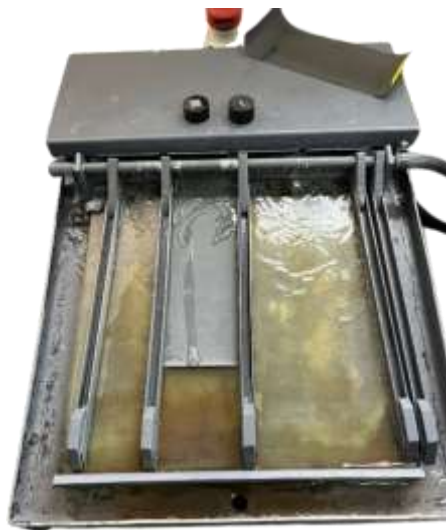


Ilustración 3-15: Máquina desbastadora
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

Es importante detallar las partes de la máquina mencionadas a continuación.

- Tablero de trabajo
- Brazos de sujeción
- Sistema de refrigeración
- Sistema de drenaje

Del mismo modo a continuación se detalle el procedimiento; teniendo como primer punto la verificación de las conexiones de refrigeración y drenaje para garantizar un funcionamiento eficiente. Se establecen cuatro áreas de trabajo utilizando los brazos de sujeción, asegurando la estabilidad de las muestras durante el procedimiento.

A continuación, se colocan y sujetan las lijas correspondientes a cada denominación (250-400-600-800-1000-1200-1500-2000) en las áreas designadas. Para mejorar la calidad del desbaste, se procede a refrigerar, abriendo las llaves para mojar las lijas y proporcionar un ambiente óptimo.

Con las lijas en su lugar, se realiza el lijado de la muestra, aplicando cada una de las denominaciones para obtener un desbaste gradual y controlado. Una vez completado el proceso de lijado, se procede a retirar cuidadosamente las lijas. Es crucial mantener la seguridad durante todo el proceso, y para ello, se verifica el sistema de drenaje para evitar la fuga o escape de agua contaminada. Este enfoque garantiza resultados de alta calidad en la preparación de las muestras metalográficas mediante la desbastadora.

En la ilustración 3-16 se presentan los resultados obtenidos tras el proceso de desbaste realizado con la máquina desbastadora. Estos resultados reflejan la condición superficial de las muestras metalográficas, revelando la eficacia del lijado con diferentes denominaciones de lijas en la obtención de superficies uniformes y preparadas para análisis más detallados.



Ilustración 3-16: Probetas Desbastadas
Realizado por: Torres L., Liguin A., 2024

3.4.6.1 Máquina Pulidora

La etapa subsiguiente implica el uso de la máquina pulidora. Este dispositivo, equipado con un disco único, está diseñado para realizar el pulido preciso de las muestras metalográficas. La singularidad de su disco permite un pulido meticuloso, y su sistema de refrigeración garantiza un control térmico óptimo durante la operación. Este paso es esencial para lograr superficies pulidas y libres de imperfecciones, preparando las muestras para una evaluación más detallada de su estructura metalográfica.

La máquina pulidora de disco único se presenta a continuación en la ilustración 3-17, destacando su idoneidad para el pulido de muestras metalográficas. A continuación, se detallan las partes clave de la máquina.

- Estructura
- Disco
- Perilla de encendido y apagado
- Pulsador para Stop
- Pulsador para velocidad baja
- Pulsador para velocidad alta



Ilustración 3-17: Máquina Pulidora
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

Al operar la máquina pulidora, es crucial garantizar que la muestra esté completamente limpia y libre de partículas superficiales. Se debe utilizar el paño adecuado según el tipo de muestra, y se requiere total seriedad por parte del operador durante la ejecución del procedimiento. Es esencial asegurarse de que el paño pulidor esté completamente adherido al disco y evitar tocar el paño con la palma de la mano mientras la máquina está en pleno funcionamiento, ya que contiene filamentos de metal.

A continuación, se presenta detalladamente el proceso en la máquina pulidora, delineando pasos precisos para lograr un pulido efectivo y obtener resultados de alta calidad en la preparación de las muestras metalográficas.

1. Verificar la tubería de entrada de agua para garantizar un suministro adecuado.
2. Comprobar la adherencia del paño y asegurarse de que coincida con el diámetro del disco.
3. Conectar la alimentación a 220V según las especificaciones del equipo.
4. Encendido de máquina y ajustar la perilla del lado izquierdo para controlar la velocidad de rotación.
5. Aplicar alúmina en el paño para preparar el proceso de pulido.
6. Realizar el pulido del espécimen contra el paño mediante movimientos circulares pequeños.
7. Pulsar el botón STOP para determinar la finalización del pulido.
8. Apagar la máquina de manera segura.
9. Desconectar la máquina y proceder según los procedimientos establecidos

Luego de cumplir los lineamientos requeridos y detallados en el procedimiento se observa en la ilustración 3-18 el procedimiento.



Ilustración 3-18: Probetas Pulidas
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

3.4.6.2 Ataque con Nital

El ataque con nital, también conocido en los ensayos como grabado con ácido nítrico y alcohol, se fundamenta como una técnica fundamental para evidenciar y destacar la microestructura presente en metales y aleaciones metálicas; es ampliamente empleado en los campos de la metalurgia y metalografía.

Este proceso permite examinar con detalle las muestras metalográficas bajo la observación de un microscopio detallando sus características y parámetros constitutivos. El procedimiento implica la aplicación de una solución que combina ácido nítrico con alcohol, revelando patrones microscópicos cruciales para el análisis estructural y continuación, se presenta la ilustración 3-19 donde se observa los resultados luego del ataque con nital.

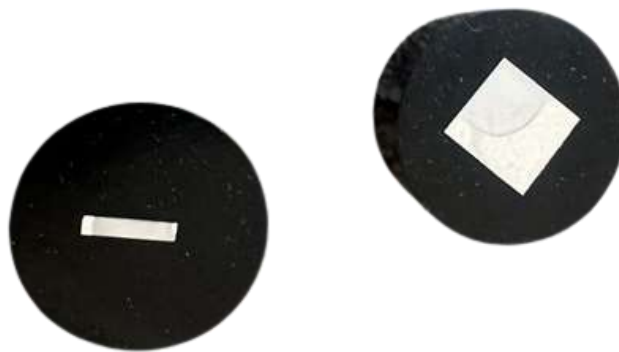


Ilustración 3-19: Probetas atadas con nital
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

3.4.6.3 Procedimiento de Microscopía Electrónica de Barrido “SEM”

Finalmente, se realiza la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) detallada en la ilustración 3-20, una técnica de análisis fundamental en la investigación de materiales. Este paso crucial implica el uso de haz de electrones en lugar de luz visible para explorar la superficie de las muestras, proporcionando imágenes detalladas a una escala microscópica. Antes de llevar a cabo el análisis SEM, las muestras se someten a un proceso de preparación que incluye el recubrimiento con una fina capa de material conductor, como oro o platino, para evitar la acumulación de carga estática.



Ilustración 3-20: Máquina Microscopía Electrónica de Barrido “SEM”

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

El SEM, acrónimo de Microscopía Electrónica de Barrido, opera mediante un haz de electrones que explora la superficie de la muestra, generando señales como electrones retrodispersados, secundarios y rayos X característicos. Esta tecnología ofrece imágenes tridimensionales de alta resolución, revelando detalles microscópicos a una escala más pequeña que la microscopía óptica convencional. Se aplica ampliamente en ciencia de materiales, biología, geología y nanotecnología para estudiar la morfología superficial de materiales como metales, cerámicas y polímeros. La preparación de muestras implica el recubrimiento con material conductor y, en algunos casos, deshidratación para preservar la estructura. Aunque el SEM presenta ventajas, como su versatilidad y capacidad para imágenes 3D, también conlleva desafíos, como la necesidad de alto vacío y una preparación delicada de muestras, junto con costos asociados de mantenimiento.

Los resultados obtenidos tras el análisis mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) revelaron una visualización detallada y tridimensional de la morfología superficial de las muestras. La alta resolución proporcionada por el SEM permitió observar con precisión microestructuras y detalles a una escala diminuta, ofreciendo una comprensión profunda de la topografía de los materiales contenido en la ilustración 3-21 para un enfoque de (x800 y x550).

La aplicación de esta avanzada técnica de microscopía contribuyó significativamente a la caracterización detallada de la muestra, proporcionando información valiosa para el análisis estructural y la comprensión de las propiedades microscópicas de los materiales estudiados.

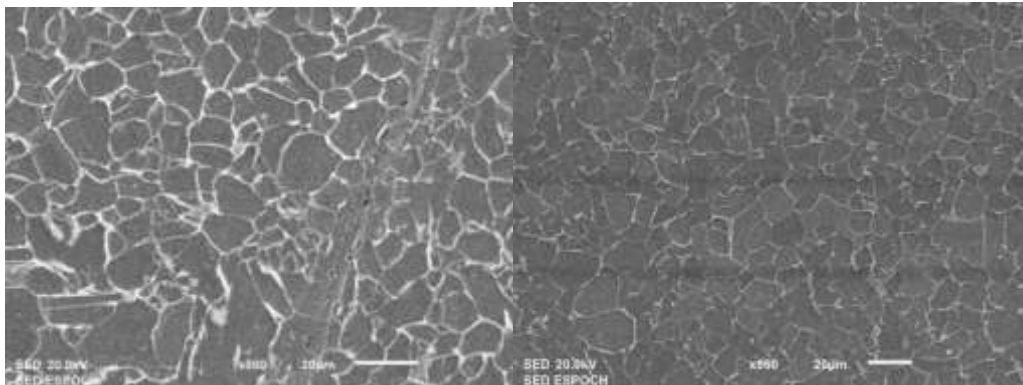


Ilustración 3-21: Resultados enfoque de (x800 y x550).

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

La aplicación de la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) a las muestras de la junta empernada ha proporcionado una visión detallada de la microestructura a dos resoluciones distintas: x1500 y x400. Este enfoque nos permite examinar con precisión la variación en la calidad del grano en la superficie de las muestras como detallan las ilustraciones (3-21) La resolución x1500 ofrece una imagen altamente detallada, revelando características microscópicas finas y proporcionando una visión profunda de la topografía. Por otro lado, la resolución x400 ofrece una perspectiva más amplia, permitiendo la observación de patrones más grandes y facilitando la identificación de tendencias generales en la calidad del grano. Estas dos resoluciones proporcionarán información valiosa sobre la estructura microscópica, permitiendo una evaluación más completa y precisa de la integridad y calidad del material en estudio.

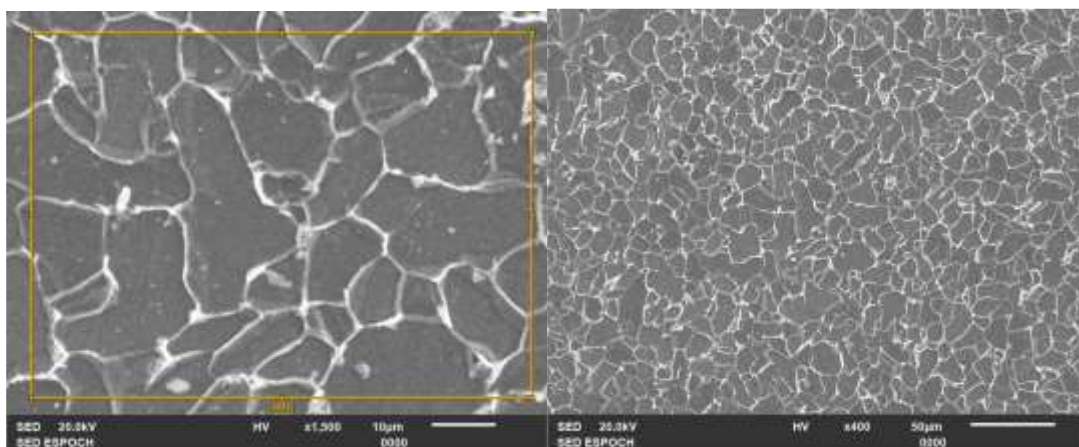


Ilustración 3-22: Resoluciones: x1500 y x400

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

La aplicación de la Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS) en las muestras de las aleaciones ha abierto una ventana a la composición química de los precipitados intergranulares. Este análisis detallado nos permite identificar los elementos presentes en estas áreas críticas de la junta empernada. La información derivada de la EDS ofrece una comprensión profunda de la distribución y concentración de los elementos, arrojando luz sobre la formación y la influencia de estos precipitados en el comportamiento estructural. A través de dos imágenes capturadas durante este análisis, se explorarán las características químicas de los precipitados intergranulares a diferentes magnificaciones, proporcionando una visión completa de la composición elemental y su implicación en la integridad del material. A continuación, se presenta un análisis elementos detectados por EDS en los precipitados intergranulares de las aleaciones, considerando su composición. Teniendo como elemento predominante el acero (Fe).

En la primera imagen reveló una composición química en los precipitados intergranulares. La concentración de masa de ciertos elementos se determinó con un 0.47%, y los resultados atómicos se expresaron como un 100 Atom%. El análisis también arrojó un Sigma de 0.01, lo que indica una alta precisión en las mediciones. El valor Net obtenido fue de 759, y el K ratio se registró en 0.0047117. La línea K utilizada para la adquisición de datos se describe detalladamente, proporcionando una base sólida para la interpretación de los resultados. Estos datos representan la primera visión detallada de la composición química de los precipitados intergranulares, sentando las bases para una comprensión más profunda de su influencia en la integridad estructural.

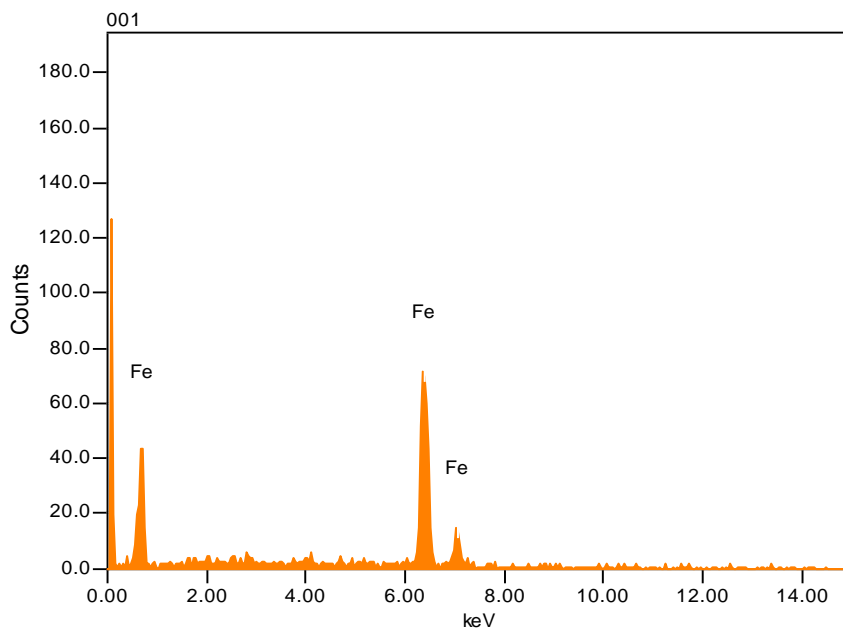


Ilustración 3-23: Composición química en los precipitados intergranulares
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

El análisis mediante Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS) en la segunda imagen permitió identificar la composición química de los precipitados intergranulares. Se observó una concentración de masa del 0.45%, y los resultados atómicos se expresaron como un 100 Atom%. La precisión de las mediciones se reflejó en un Sigma de 0.01. El valor Net obtenido fue de 1110, y el K ratio se registró en 0.0045210. La línea K utilizada para la adquisición de datos se detalla minuciosamente, proporcionando información crucial para la interpretación precisa de los resultados. Estos hallazgos representan una visión adicional de la composición química de los precipitados intergranulares, enriqueciendo nuestra comprensión de su presencia y su impacto en la integridad estructural.

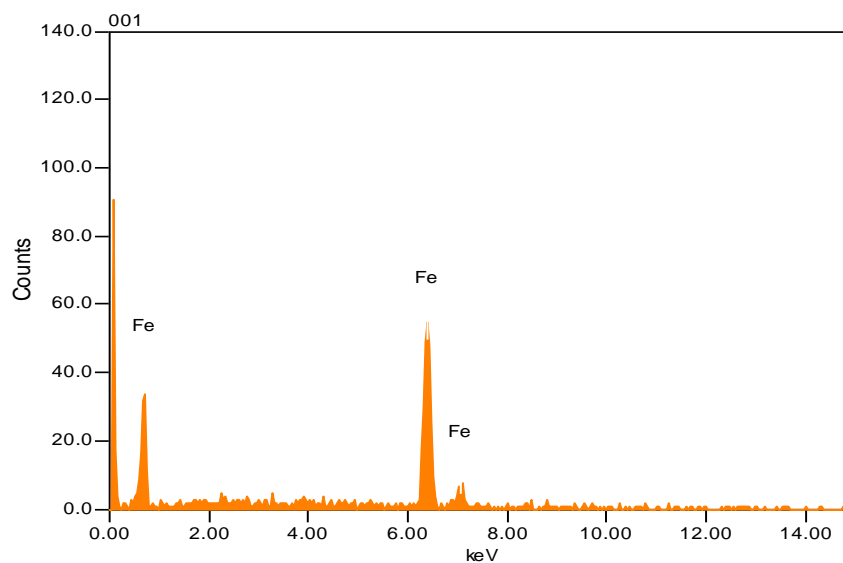


Ilustración 3-24: Composición química en los precipitados intergranulares
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

El material analizado se identifica como un tipo específico de acero, conocido comúnmente como acero dulce, que se deriva principalmente del elemento hierro (Fe). El análisis detallado de las propiedades de este material revela atributos característicos asociados con el acero dulce en primera instancia, que es reconocido por su composición química que incluye bajos niveles de carbono y otros elementos de aleación en proporciones controladas. La microscopía electrónica de barrido (SEM) ha permitido examinar la morfología y estructura superficial del acero, proporcionando una visión detallada de la calidad del grano y la presencia de posibles inclusiones. Además, los ensayos de dureza Brinell evalúan la capacidad del material para resistir deformaciones plásticas bajo carga, proporcionando información sobre su tenacidad y resistencia. La Espectrometría por Chispa de Emisión ha desglosado la composición química del acero, observando la presencia de elementos característicos, como el hierro y el carbono. En conjunto,

estos resultados apuntan a un material de Fe con las características distintivas asociadas al acero dulce, proporcionando propiedades estructurales y mecánicas.

3.4.6.4 Análisis de Grano para identificación de material

El análisis de grano mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) reveló una visualización detallada y tridimensional de la morfología superficial de las muestras. Se observaron microestructuras a una escala menor que la microscopía óptica convencional, permitiendo una evaluación precisa de la calidad del grano.

La aplicación de SEM a las muestras de la junta empernada mostró una variación en la calidad del grano a dos resoluciones distintas: x1500 y x400. La resolución x1500 proporcionó una imagen altamente detallada de características microscópicas finas, mientras que la resolución x400 permitió la identificación de patrones más grandes en la calidad del grano.

Además, el análisis de composición química mediante Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS) reveló la presencia predominante de elementos característicos del acero dulce, haciendo una comparación con la ilustración 3-25 además, se determinó como hierro (Fe) y bajos niveles de carbono. Estos hallazgos respaldan la identificación del material como acero dulce, proporcionando una comprensión integral de sus propiedades estructurales y mecánicas.

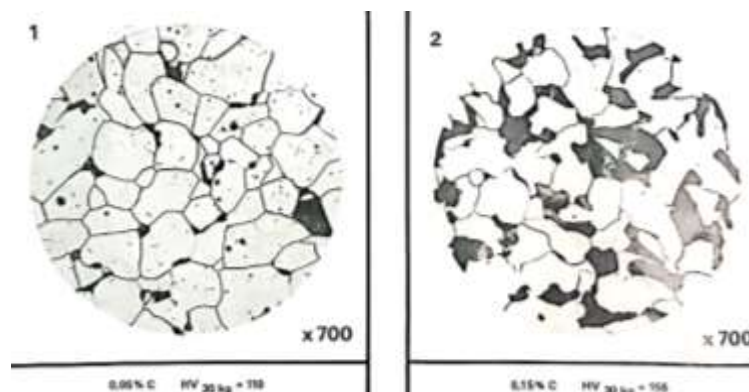


Ilustración 3-25: Análisis Granulometría

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

EL acero Dulce también conocido como acero de bajo carbono, es una aleación caracterizada por su bajo contenido de carbono, que ronda aproximadamente el 0.10% en peso. Esta baja concentración de carbono, junto con un alto porcentaje de hierro que representa casi el 100% de la composición, confiere al acero propiedades mecánicas y de formabilidad excepcionales. Es conocido por su excelente capacidad de conformado en frío, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren una alta ductilidad y facilidad de manipulación, como la fabricación de piezas estampadas, componentes de carrocería automotriz y productos de chapa metálica. Además, el acero dulce, exhibe una buena soldabilidad y maquinabilidad, lo que lo convierte en un material

versátil y ampliamente utilizado en diversas industrias, desde la construcción hasta la fabricación de productos de consumo. Su estructura cristalina de grano fino contribuye a una excelente tenacidad y resistencia a la fatiga, garantizando un rendimiento confiable en una variedad de aplicaciones estructurales y mecánicas.

3.4.7 Durómetro

El proceso de medición de dureza se llevó a cabo utilizando un durómetro, un instrumento designado para determinar los números de dureza Brinell, Rockwell y Vickers en los materiales. Este dispositivo emplea la aplicación de una carga con la ayuda de un indentador seleccionado de acuerdo con el tipo de ensayo. Siguiendo las normativas ASTM E10 para dureza Brinell, ASTM E18 para dureza Rockwell y ASTM E384 para dureza Vickers, se utilizó un indentador esférico con una bola de 2.5 mm, una fuerza de 1839 N, carga de 100 N y una precarga de 10 a 12 segundos para obtener la indentación.

La ilustración 3-26 muestra las diferentes partes del durómetro, que incluyen la estructura, la manija, el volante, el tornillo sin fin, el yunque, el penetrador, el tornillo de fijación, el eje principal, el resorte, la perilla de ajuste, la pantalla de protección, la tapa superior, la palanca, la varilla de empuje, los pesos bastidor, la tapa, el pistón y la perilla de transferencia.



Ilustración 3-26: Durómetro
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

En cuanto a las precauciones de seguridad, se destaca la importancia de realizar la instalación en un lugar seco, libre de vibraciones y agentes corrosivos. Se subraya la necesidad de utilizar el indentador apropiado para cada prueba, evitar muestras excesivamente grandes en el yunque y

manipular la pantalla con las manos limpias para evitar opacar los resultados. El proceso de medición se resume en pasos que incluyen nivelar el equipo, conectar la alimentación (220V), encender el equipo, seleccionar y aplicar la carga, ubicar la muestra, ajustar la fuerza, realizar la prueba y finalmente, apagar y desconectar el durómetro. Estos procedimientos aseguran la precisión y seguridad en la obtención de datos de dureza.

En la ilustración 3-27, los resultados del durómetro se identifican claramente mediante la indicación de los números de dureza Brinell obtenidos. La representación gráfica de estos resultados se encuentra marcada con precisión, permitiendo una fácil interpretación de la resistencia del material de acero dulce. Estos números de dureza Brinell son esenciales para evaluar la capacidad del material para resistir deformaciones plásticas bajo carga, proporcionando información crítica para el análisis estructural y la idoneidad del material en aplicaciones automotrices. La ilustración 3-27 destaca claramente los puntos clave que reflejan la respuesta del acero dulce a las pruebas de dureza, contribuyendo significativamente a la comprensión integral de su rendimiento en condiciones prácticas.

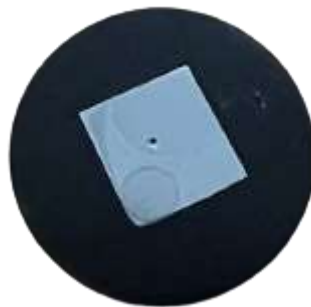


Ilustración 3-27: Probeta, ensayo dureza
Realizado por: Torres L., Liguin A., 2024

3.4.7.1 Microscopio de Dureza Brinell

El microscopio destinado a la medición de la dureza Brinell desempeña un papel crucial al visualizar e identificar los diámetros de las indentaciones creadas por el durómetro. Su modalidad de funcionamiento se basa en la iluminación de luz reflejada, convirtiéndolo en un componente esencial para los laboratorios de metalografía. La seguridad al utilizar este dispositivo es fundamental; evita forzar las perillas de ajuste macrométrico y micrométrico, realiza movimientos suaves y lentos con cualquier elemento del microscopio, y coloca el equipo en un entorno libre de humedad y corrosión. Además, se recomienda no extraer el ocular ni los objetivos a menos que sea necesario reemplazarlos, y asegurarse de que las manos estén limpias y secas antes de usar el microscopio. La ilustración 3-28 define la máquina a ser utilizada.



Ilustración 3-28: Microscopio de Dureza Brinell
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

El proceso de utilización del microscopio se divide en varios pasos. En primer lugar, se conecta el microscopio y se enciende el equipo. Luego, se coloca la muestra en el porta muestras y se procede a enfocar utilizando la perilla de ajuste macrométrico. Se ajustan las dioptrías para obtener una visión clara, y se regula la iluminación según sea necesario. Durante la observación de las indentaciones, se posiciona la muestra en el cuadrante adecuado y se realizan ajustes longitudinales y transversales utilizando las perillas correspondientes. Se leen los diámetros de las indentaciones, se registran los resultados, y se apaga el microscopio. Finalmente, se retira la muestra con cuidado y se desconecta el equipo.

En la ilustración presentada 3-29, se puede observar detalladamente el resultado obtenido mediante la aplicación del último proceso mencionado. Las indentaciones generadas por el durómetro son claramente visibles, y el microscopio "Dureza Brinell" permite una inspección precisa de los diámetros de estas indentaciones. La visualización de estos detalles microscópicos proporciona información crucial sobre la dureza del material, ofreciendo así una comprensión más profunda de sus propiedades mecánicas. Este análisis microscópico contribuye significativamente a la caracterización exhaustiva del material, respaldando la evaluación de su idoneidad para aplicaciones específicas en base a su resistencia y durabilidad.

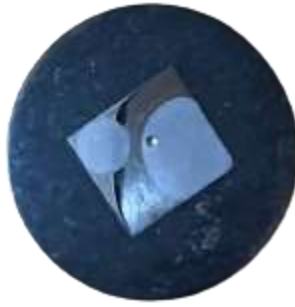


Ilustración 3-29: Probeta, ensayo dureza
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

A continuación, se presenta la ecuación Brinell que permite calcular la dureza (HB) del material bajo los parámetros específicos utilizados en el proceso. Esta ecuación es fundamental para cuantificar la resistencia del material a la penetración y proporciona un valor numérico que refleja su capacidad para soportar cargas externas. La expresión matemática para la dureza Brinell (HB) se calcula dividiendo la carga aplicada (en kilogramos) por el área de la indentación resultante (en milímetros cuadrados). La aplicación de esta fórmula ofrece una medida cuantitativa precisa que contribuye a la caracterización integral de las propiedades mecánicas del material, facilitando así su clasificación y comparación con estándares industriales.

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

Donde:

P= carga aplicada a la esfera en Kg.f 187.5

D= diámetro del indentador esférico 2.5 mm

d= promedio de los dos diámetros obtenidos

HB= presión media de la huella de la esfera en Kg.f/mm² de la superficie que expresa el valor numérico de la dureza

$$d_{prom} = \frac{d1 + d2}{2}$$

$$d_{prom} = \frac{1.29 + 1.27}{2} \text{ mm}$$

$$d^2 = 1.28 \text{ mm}$$

$$BH = \frac{2(187.5)}{\pi(2.5)(2.5 - (\sqrt{(2.5)^2 - (1.28)^2})}$$

$$BH = 135 \text{ Kg. mm}^2$$

Con un valor de dureza Brinell (HB) de 135 Kg/mm², se indica la resistencia superficial del material. Este número es clave para evaluar sus propiedades mecánicas, proporcionando información sobre su capacidad para resistir deformaciones plásticas locales.

La comprobación de la dureza Brinell se realiza mediante una comparación del valor obtenido, en este caso, 135 Kg/mm², (análisis práctico) con los estándares establecidos en una gráfica específica o la ilustración (3-30); garantizando la precisión de los resultados y una evaluación confiable de la dureza superficial del material.

BRINELL HARDNESS NUMBER OF METAL														
Diameter of steel ball D (mm)		0,102F/D ²					Diameter of steel ball D (mm)		0,102F/D ²					
		30	10	5	2,5	1,25			30	10	5	2,5	1,25	
		Test force F, N (kgf)							Test force F, N (kgf)					
5	2,5	1839 (187,5)	612,9 (62,5)	306,5 (31,25)	612,9 (62,5)	306,5 (31,25)	5	2,5	1839 (187,5)	612,9 (62,5)	306,5 (31,25)	612,9 (62,5)	306,5 (31,25)	
Diameter of impression d(mm)		Brinell hardness HBS (W)					Diameter of impression d(mm)		Brinell hardness HBS (W)					
2,485	1,2425	144	48,1	24,1	12	6,02	2,615	1,3075	129	43,1	21,6	10,8	5,39	
2,49	1,245	144	47,9	24	12	5,99	2,62	1,31	129	42,9	21,5	10,7	5,37	
2,495	1,2475	143	47,7	23,9	11,9	5,97	2,625	1,3125	128	42,8	21,4	10,7	5,34	
2,5	1,25	143	47,5	23,8	11,9	5,94	2,63	1,315	128	42,6	21,3	10,6	5,32	
2,505	1,2525	142	47,3	23,7	11,8	5,91	2,635	1,3175	127	42,4	21,2	10,6	5,3	
2,51	1,255	141	47,1	23,6	11,8	5,89	2,64	1,32	127	42,2	21,1	10,5	5,28	
2,515	1,2575	141	45,9	23,5	11,7	5,86	2,645	1,3225	126	42,1	21	10,5	5,26	
5,52	1,26	140	46,7	23,4	11,7	5,84	2,65	1,325	126	41,9	20,9	10,5	5,24	
2,525	1,2625	140	46,5	23,3	11,6	5,81	2,655	1,33	125	41,7	20,9	10,4	5,21	
2,53	1,265	139	46,5	23,2	11,6	5,79	2,66	1,3325	125	41,5	20,8	10,4	5,19	
2,535	1,2675	138	46,3	23,1	11,5	5,76	2,665	1,335	124	41,4	20,7	10,3	5,17	
2,54	1,27	138	46,1	23	11,5	5,74	2,67	1,3375	124	41,2	20,6	10,3	5,15	
2,545	1,2725	137	45,9	22,9	11,4	5,72	2,675	1,34	123	41	20,5	10,3	5,13	
2,55	1,275	137	45,7	22,8	11,4	5,69	2,68	1,3425	123	40,9	20,4	10,2	5,11	
2,555	1,2775	136	45,3	22,7	11,3	5,67	2,68	1,3425	122	40,7	20,3	10,2	5,09	
2,56	1,28	135	45,1	22,6	11,3	5,64	2,69	1,345	122	40,5	20,3	10,1	5,07	
2,565	1,2825	135	45	22,5	11,2	5,62	2,695	1,3475	121	40,4	20,2	10,1	5,05	

Ilustración 3-30: Brinell Hardness

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

3.4.8 Identificación de Materiales:

3.4.8.1 Junta Empernada, chasis

Tras un análisis exhaustivo que incluyó pruebas de materiales, espectrometría y ensayos en la máquina universal, se ha identificado que la junta empernada está compuesta principalmente por acero dulce. Este material se seleccionó por su equilibrio entre resistencia y maleabilidad, características esenciales para componentes sometidos a cargas variables.

3.4.9 Definición en ANSYS

En el entorno de simulación de ANSYS, se establecen los parámetros de material para representar con precisión las propiedades del acero dulce. Esto incluye módulos elásticos, límites de fluencia, resistencia a la tracción y demás características mecánicas específicas del material.

Es importante considerar que para el análisis se realizará un estudio dinámico y estático. Para ello se trabajará con la mismo material y geometría; como se denota en la ilustración 3-31, las condiciones del modelado cambian.

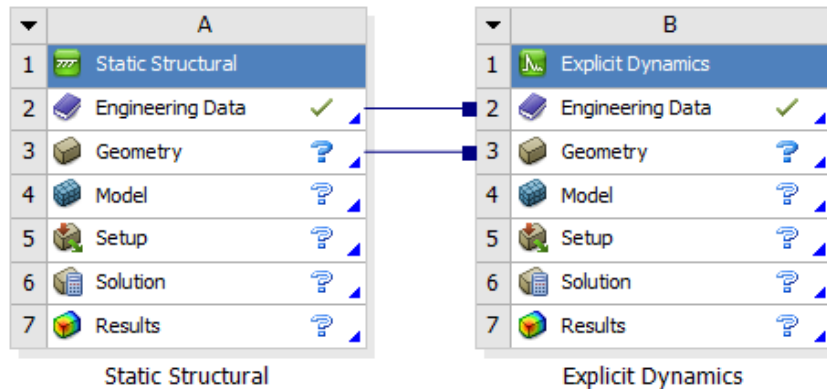


Ilustración 3-31: Definición en Ansys

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

Para la simulación en Ansys, se ha seleccionado el acero dulce debido a su bajo contenido de carbono y alta ductilidad, características ideales para la aplicación específica. Se espera que este material exhiba un comportamiento elástico lineal bajo cargas aplicadas dentro del rango de esfuerzos previstos. Durante el proceso en Ansys, se definirá el material mediante utilizando las propiedades mecánicas y la composición química del acero como se denota la ilustración 3-31, lo que proporcionará una base sólida para el análisis de la estructura en cuestión.

3.4.9.1 Definición del material en el software

Antes de presentar las propiedades específicas de este acero, es importante comprender las características generales de los aceros dulces. Los aceros dulces, también conocidos como aceros al carbono de baja aleación, son ampliamente reconocidos por su ductilidad, facilidad de conformado y maquinabilidad. Estos materiales tienen un contenido de carbono relativamente bajo, generalmente en el rango de 0.05% a 0.30%, lo que los hace adecuados para una variedad de aplicaciones donde se requiere una combinación de resistencia, tenacidad y facilidad de procesamiento. Además, los aceros dulces son conocidos por su capacidad de soldadura y suavidad, convirtiéndolos en una opción popular en la fabricación de componentes estructurales, piezas de maquinaria y otros productos industriales. Basándonos en los ensayos realizados, hemos identificado un material que se ajusta a estas características generales, ofreciendo propiedades mecánicas y físicas deseables para diversas aplicaciones. A continuación, se detallan las

propiedades específicas de este acero dulce identificado en la tabla (3-6), incluyendo su composición química y sus propiedades mecánicas.

Tabla 3-6: Propiedades Mecánicas del Acero Dulce indentificado, bajos características del ACERO AISI 1010

Propiedad	Rango o Valor	Descripción
Composición Química		
Carbono (C)	0.05-0.2%	Contenido de carbono, determina las propiedades mecánicas y de endurecimiento del acero.
Manganeso (Mn)	0.4-0.6%	Elemento de aleación que aumenta la resistencia y la dureza, y contribuye a la formación de inclusiones de manganeso.
Fósforo (P)	<0.04%	Controla la fragilidad del acero y afecta la ductilidad y la maquinabilidad.
Azufre (S)	<0.05%	Puede mejorar la maquinabilidad, pero puede causar fragilidad en concentraciones excesivas.
Propiedades Mecánica		
Resistencia a la tracción	400-500 MPa	La resistencia máxima que puede soportar el material antes de romperse bajo tensión.
Límite elástico	200-300 MPa	El punto en el que el material comienza a deformarse plásticamente de manera permanente.
Dureza Brinell (HB)	125-140	Una medida de la dureza superficial del material, determinada mediante una prueba de indentación.
Ductilidad	Moderada	La capacidad del material para deformarse plásticamente antes de la fractura, moderada para este acero.
Tenacidad	Moderada	La resistencia del material a la fractura por impacto o carga repentina, moderada para este acero.

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

Creación y Definición del Material en ANSYS:

Se accede al entorno de trabajo de ANSYS y se crea un nuevo material o se edita uno existente, introduciendo los datos recopilados sobre la composición química y las propiedades mecánicas del material.

Asignación del Material:

Se asigna el material definido a los componentes o elementos del modelo donde se utilizará, verificando que la asignación se realice correctamente y que el material se aplique a las partes adecuadas del modelo.

Al definir un material para un ensayo dinámico y estático a tracción en ANSYS, se deben ingresar los parámetros adecuados que describan las propiedades del material. En este caso, se podría utilizar un módulo de elasticidad de alrededor de 220 GPa para representar la rigidez del material,

junto con un coeficiente de Poisson de aproximadamente 0.29 para describir la relación entre las deformaciones laterales y longitudinales. En cuanto a la resistencia a la tracción, un valor típico para un acero dulce podría ser de 325 MPa, mientras que el límite elástico podría estar en el rango de 200-250 MPa. Además, se consideraría la densidad del material, que comúnmente es alrededor de 7.85 g/cm³ para el acero, y la dureza Brinell, que podría variar entre 120-140 HB, siendo 135 en nuestro caso para el acero dulce, con características similares del acero AISI 1010. Estos valores proporcionan una base sólida para definir el comportamiento del material en los análisis estáticos y dinámicos a tracción en ANSYS. En la ilustración 3-32 se identifica, las propiedades ingresadas como nuevo material para simular.

En la ilustración 3-32 se identifica la creación del nuevo material bajo las propiedades y características antes descritas.

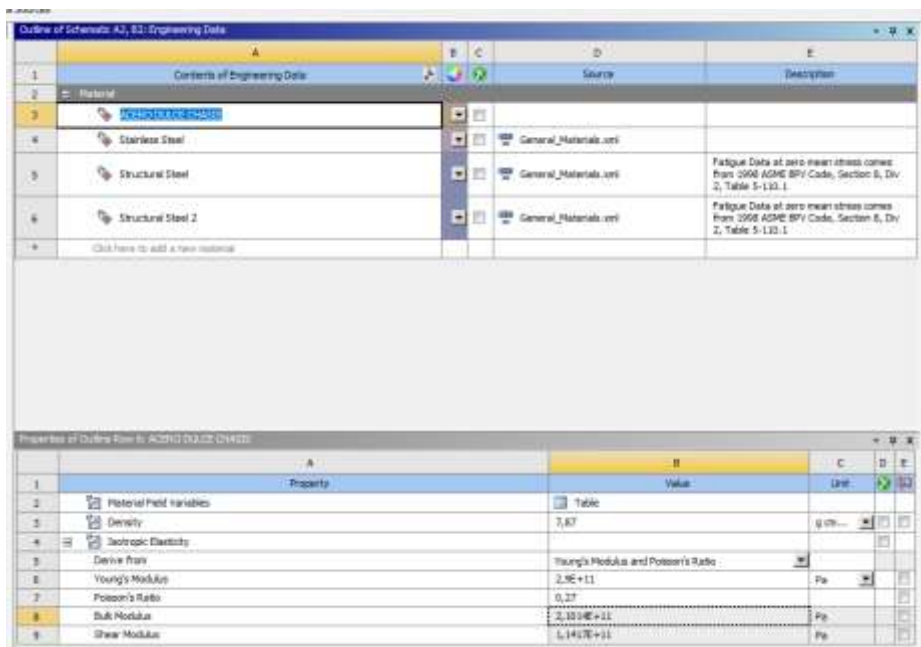


Ilustración 3-32: Adición de nuevo Material
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

3.4.10 Detalles específicos del modelo 3D de la junta emperrada en el chasis de la camioneta Mazda en ANSYS.

En el modelo 3D, se identifican claramente las dos piezas principales que constituyen la junta emperrada. Estas piezas constituyen el puente principal ser, y la pieza soporte que componen parte del (aumentar funcionamiento de la pieza) chasis de la camioneta Mazda. Se registran sus geometrías y propiedades individuales.

En el proceso de simulación en ANSYS, es importante tener en cuenta que se realiza una simplificación de la geometría del modelo. Esta simplificación implica la omisión de ciertas

geometrías y superficies que forman parte del diseño original. La finalidad de esta decisión es lograr una representación más manejable y eficiente para la simulación, al mismo tiempo que se evalúa cuidadosamente la influencia de las áreas excluidas en los resultados finales.

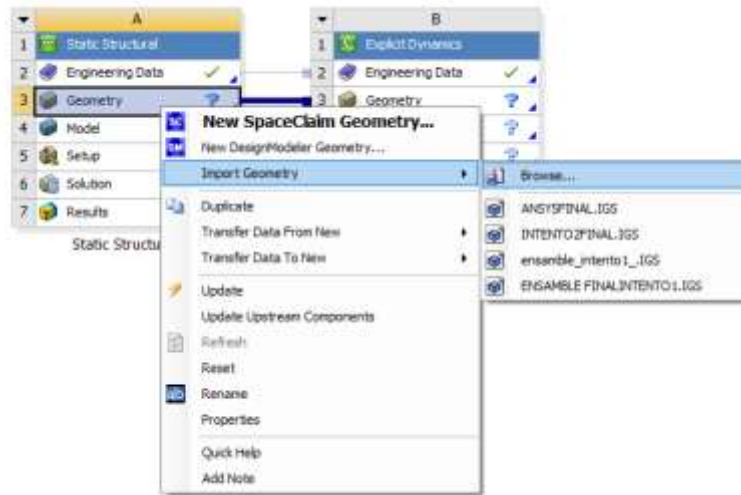


Ilustración 3-33: Import de Geometría
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

La selección de las geometrías a omitir se realiza con un análisis detallado de su funcionalidad y relevancia para los objetivos de la simulación. Se considera si la omisión de ciertas superficies afectará significativamente la precisión y validez de los resultados que se buscan obtener. Este proceso de simplificación no compromete la integridad de la simulación, sino que busca mantener un equilibrio entre la representación fiel de la realidad y la eficiencia computacional.

La Ilustración 3-33 ilustra la junta emperrada como una composición básica en el software ANSYS, destacando las áreas específicas que serán objeto de análisis. Esta representación simplificada permite una interpretación clara de las interacciones entre las dos piezas unidas por los pernos, centrándose en aquellas geometrías cruciales para el comportamiento estructural durante las condiciones de carga a tracción.

Es fundamental subrayar que esta simplificación no compromete la robustez del análisis, sino que busca optimizar los recursos computacionales y mejorar la eficiencia del proceso de simulación, garantizando al mismo tiempo resultados precisos y relevantes para los objetivos planteados.

3.4.11 Uso de geometría simplificada y detalles sobre la discretización de elementos finitos.

3.4.11.1 Condiciones de Frontera y Cargas Aplicadas

En esta sección, se abordará en detalle las condiciones de frontera y las cargas aplicadas para el análisis de tracción de la junta emperrada en el chasis de la camioneta Mazda. Las condiciones de frontera son fundamentales para simular de manera precisa el entorno real de la camioneta y

garantizar que el análisis de tracción sea representativo de las condiciones operativas. A continuación, se presenta una explicación concisa de las condiciones límite establecidas:

Restricciones en Puntos de Anclaje

Se establecen restricciones en los puntos de anclaje donde la junta empernada se une al chasis. Estas restricciones simulan conexiones estructurales fijas, reflejando la forma en que la junta está sujeta al chasis en condiciones prácticas.

Condiciones de Contacto Adecuadas

Se modelan condiciones de contacto realistas en las interfaces entre las dos piezas principales y los pernos. Esto implica la definición de interacciones adecuadas entre las superficies, considerando la presencia de elementos como arandelas y tuercas.

En la ilustración 3-34 que se presenta, se puede identificar de manera precisa el tipo de interacción entre los dos elementos que conforman la pieza 1. Estos elementos, claramente soldados entre sí, establecen un contacto que asegura una unión sólida y resistente. Este tipo de conexión busca soportar cargas significativas, es fundamental en numerosas aplicaciones industriales y de ingeniería donde la robustez y la fiabilidad son primordiales.

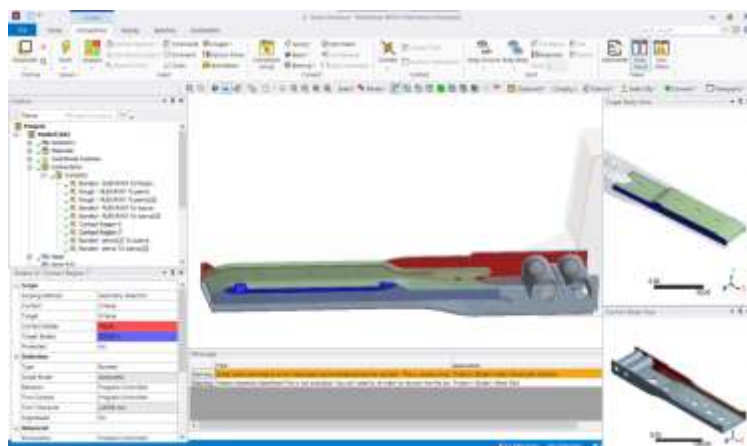


Ilustración 3-34: Condiciones de Contacto
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

La siguiente ilustración 3-35 destaca un contacto friccional, evidente por las características inherentes al mecanismo, lo que implica la presencia de una junta empernada. En esta ocasión, se detalla el tipo de conexión que existe entre la pieza 2 y el perno que conforma la junta. Es esencial tener en cuenta que este mismo tipo de unión está presente con el otro perno del sistema, enfatizando así la consistencia en el diseño y la funcionalidad de la conexión.

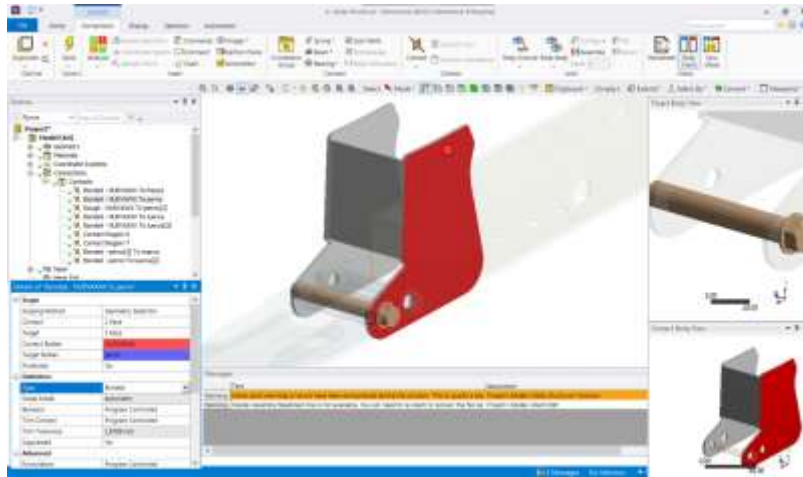


Ilustración 3-35: Condiciones de contacto
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

En la ilustración presentada se puede denotar la composición de la junta empernada considerando el apoyo de la tuerca sobre la pieza 2, manteniendo una conexión de tipo friccional sobre la pieza 2, se debe considerar trabaja de manera similar con la otra junta empernada.

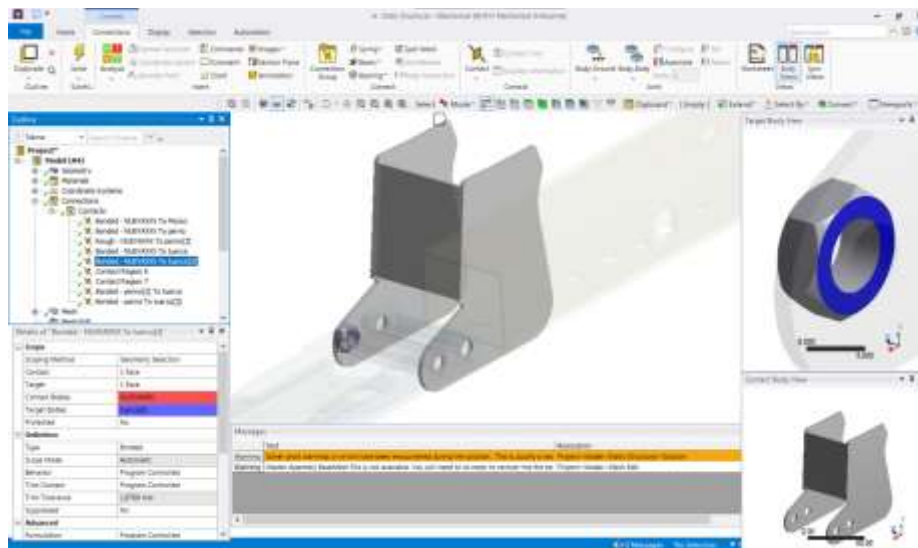


Ilustración 3-36: Condiciones de contacto
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

Libertad de Movimiento Controlada

En áreas específicas donde se anticipa un movimiento o deformación significativa, se ajustan las restricciones para permitir cierta libertad de movimiento. Esta decisión se toma con base en la comprensión detallada de la dinámica esperada en la junta empernada bajo tracción.

Cargas Aplicadas

Las cargas aplicadas juegan un papel crucial en la simulación de tracción de la junta empernada. Se especifican de manera detallada para replicar condiciones prácticas y evaluar el comportamiento estructural bajo carga. Aquí se detallan las cargas de tracción aplicadas en los puntos críticos de la junta empernada:

Cargas Simuladas de Tracción:

En los puntos críticos de la junta empernada, se aplican cargas simuladas que representan las fuerzas de tracción a las que estaría sometida en condiciones reales. Estas fuerzas se determinan considerando factores como el peso del vehículo, tensiones durante el movimiento y otras situaciones prácticas.

Distribución Homogénea:

Se busca una distribución homogénea de las cargas de tracción para imitar de manera efectiva las condiciones de uso del vehículo. Esto implica considerar la geometría de la junta y aplicar las cargas de manera equitativa en los puntos donde se espera que las tensiones sean más significativas.

Variación de Cargas:

Se simula la variación de las cargas en función de situaciones prácticas, (frenado o aceleración brusca); esto asegura que la junta empernada sea analizada en condiciones diversas, permitiendo evaluar su capacidad para resistir tensiones cambiantes.

Cargas en Pernos Específicos:

Las cargas se aplican en los pernos, considerando la distribución de fuerzas y momentos en los puntos críticos de unión.

En conjunto, las condiciones presentadas de frontera y cargas aplicadas permiten una simulación rigurosa y detallada del comportamiento de la junta empernada bajo tracción, asegurando que el análisis refleje con precisión las condiciones operativas de la camioneta y proporcione resultados relevantes para la ingeniería automotriz.

3.4.11.2 Importación de geometría al Ansys

Antes de importar la geometría en ANSYS, asegúrate de que esté en un formato compatible. ANSYS admite varios formatos de archivo, como. (stp, .igs, .sat, .parasolid) entre otros. Si la geometría está en un formato diferente, se puede convertirla usando software de modelado CAD

como SolidWorks, CATIA, o Autodesk Inventor. Para nuestro análisis se ocupará un documento tipo iges, ideal para el análisis y configuración de todas las líneas.

Una vez importada la geometría, se procede a verificar su estado y el reconocimiento de líneas y superficies. Esto implica revisar la geometría en busca de errores como superficies mal definidas, huecos, interferencias.

Se utiliza las herramientas de visualización en ANSYS para examinar la geometría desde diferentes ángulos y zooms para asegurarse de que no haya problemas.

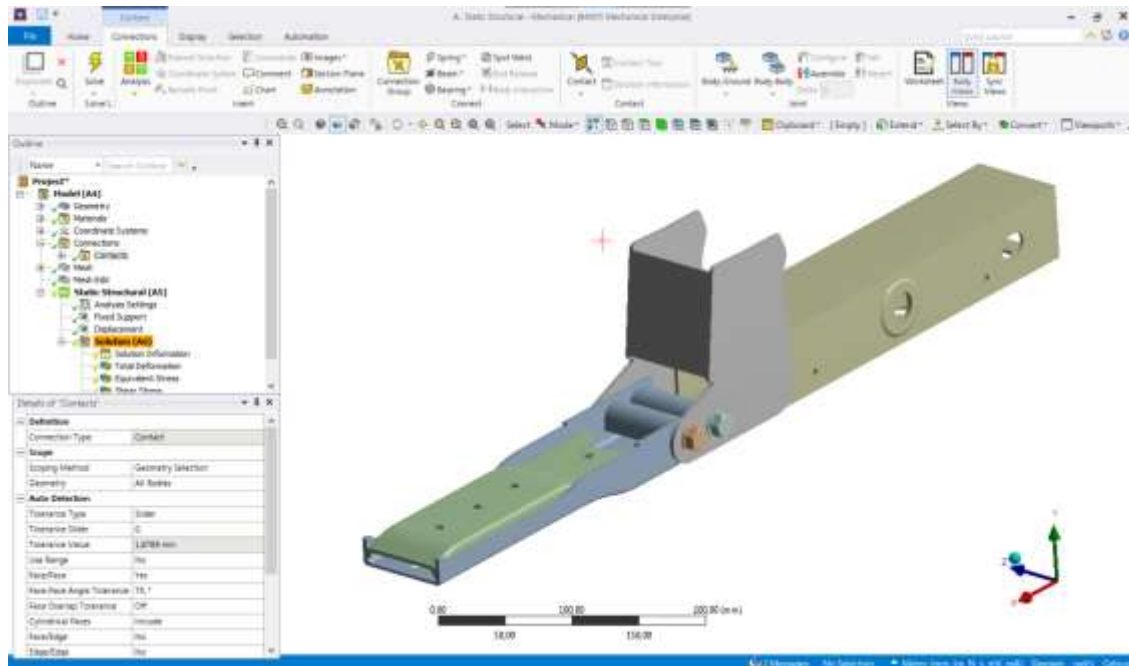


Ilustración 3-37: Importación de geometría al Ansys

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

3.4.11.3 Designación de material

En la etapa de preparación para simular una junta empernada, se designan los materiales específicos para cada componente del ensamblaje. Esta acción implica asignar propiedades mecánicas, como el módulo de elasticidad y la resistencia a la tracción, a cada material respectivo. Al definir con precisión los materiales de las piezas individuales, se facilita una simulación más precisa y confiable del comportamiento estructural de la junta empernada, lo que conduce a una toma de decisiones más informada durante el proceso de diseño y optimización.

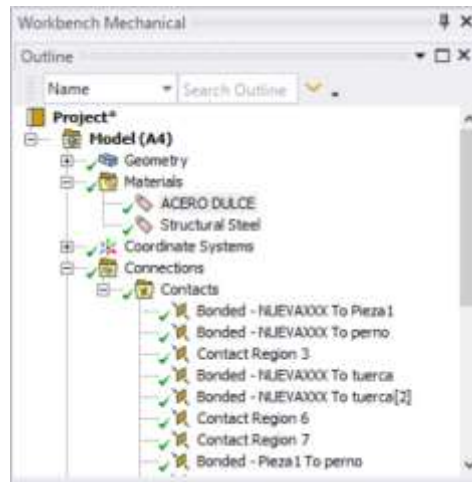


Ilustración 3-38: Designación de material
 Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

3.4.11.4 Generación de Mallado

El proceso de generación del mallado en ANSYS parte con el acceso a las herramientas de mallado disponibles dentro del entorno de trabajo respectivo. Una vez que la geometría ha sido correctamente importada, el usuario procede a seleccionar las partes específicas de la geometría que requieren mallado.

En la ilustración 3-39, se configuran los parámetros de mallado según las necesidades del análisis, como (el tipo de elemento de mallado y la densidad del mallado). Posteriormente, ANSYS aplica algoritmos específicos para generar el mallado, dividiendo la geometría en elementos finitos discretos según las especificaciones proporcionadas. Luego se procede con la revisión corrigiendo cualquier problema identificado. Finalmente, si es necesario, se pueden realizar refinamientos adicionales en el mallado para mejorar su precisión o capturar características específicas del modelo con mayor detalle.

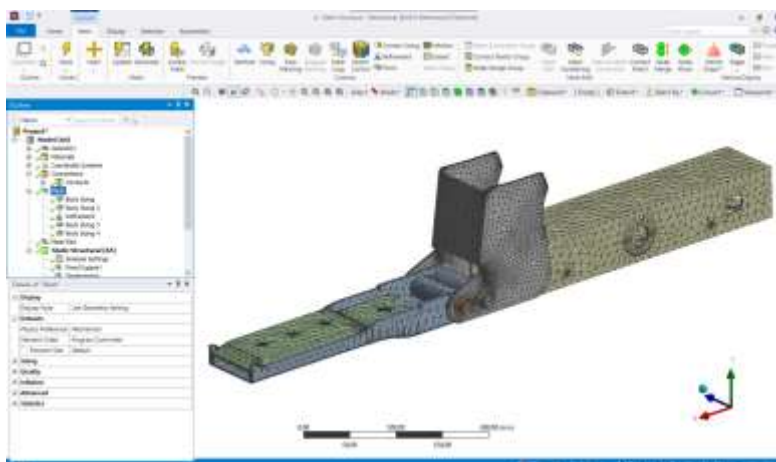


Ilustración 3-39: Generación de Mallado
 Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

3.4.11.5 Mejora de Mallado

El proceso de mejora en el mallado en ANSYS implica varias etapas que pueden ser llevadas a cabo por un usuario. En primer lugar, se procede a evaluar el mallado existente y sus resultados en términos de precisión y eficiencia. A continuación, se seleccionan técnicas de mejora adecuadas, como el refinamiento adaptativo del mallado, el uso de elementos de alta calidad y el mallado estructurado en áreas críticas. Una vez seleccionadas las técnicas apropiadas (Sizing), se implementan en el modelo existente, ajustando los parámetros de mallado según sea necesario. Durante este proceso, se realiza una validación del mallado para asegurar que las mejoras estén produciendo resultados deseables en relación al porcentaje que denota la calidad del mallado. Esto puede implicar pruebas de sensibilidad del mallado y ajustes adicionales según sea necesario. Una vez completadas las mejoras, se verifica que el mallado optimizado satisfaga los requisitos del análisis y se procede con la ejecución del modelo para obtener resultados confiables.

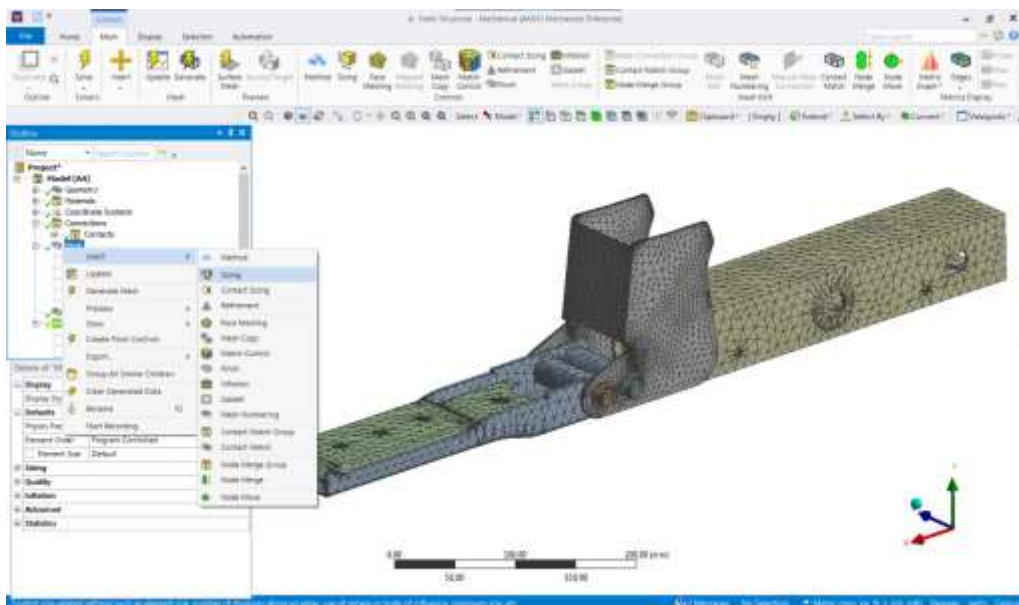


Ilustración 3-40: Técnica de mejoramiento de malla

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

Después de aplicar diversos métodos para mejorar la calidad de la malla y así asegurar resultados más precisos y realistas, se emplearon técnicas que sintetizan la malla según las características de las superficies y cuerpos en cuestión. De este modo, se lograron los resultados mostrados en la ilustración 3-41, donde se aprecian las mallas generadas.

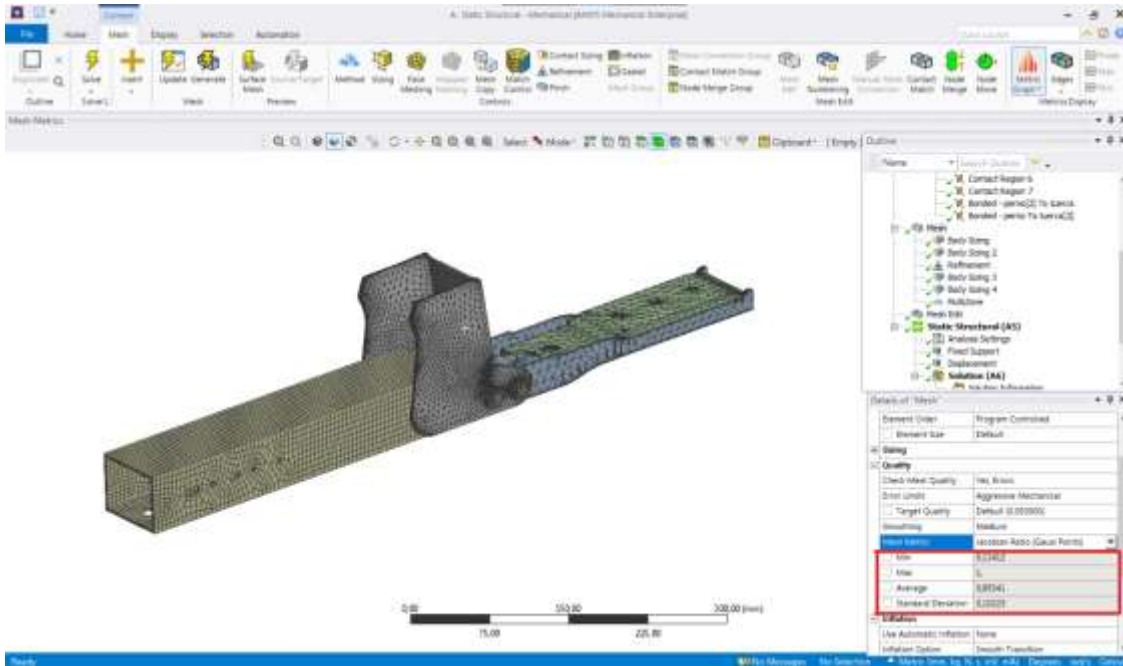


Ilustración 3-41: Mejoramiento del Mallado

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

Se mejoró el mallado en ANSYS utilizando varios métodos, logrando un mallado de calidad de 0.95. Estos métodos incluyeron el refinamiento manual y automático del mallado, el uso de técnicas avanzadas de generación de malla y la optimización topológica. El proceso implicó ajustar parámetros y aplicar criterios de calidad para obtener un mallado preciso y eficiente, adaptado a las necesidades específicas del análisis

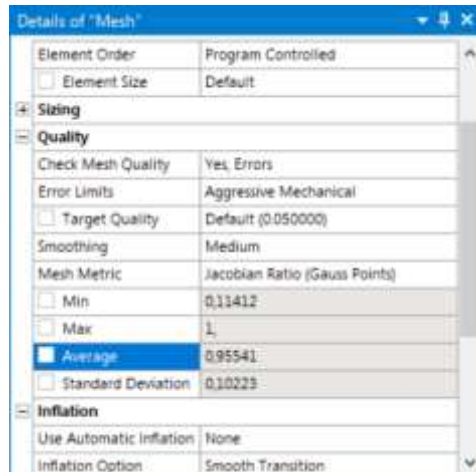


Ilustración 3-42: Calidad de mallado 0.95

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

Es importante considerar que existe gran diferencia cuando se analiza un caso estático de un dinámico. A continuación, se procede con la inserción de cargas.

3.4.11.6 Análisis Estático

Para simular una junta empernada a tracción con un soporte fijo y otro móvil en ANSYS, se requiere primero definir los elementos geométricos y las condiciones de contorno. Se designa un soporte fijo, que probablemente representaría la placa base, y se aplica una restricción de desplazamiento para fijarlo en su lugar, emulando su inmovilidad. Por otro lado, se identifican las cargas de tracción que actuarán sobre el soporte móvil, simulando la fuerza de tracción ejercida sobre la junta empernada. Estas cargas se aplican mediante restricciones de desplazamiento en el lado móvil del modelo, reflejando su movimiento bajo la influencia de la carga de tracción.

Luego de definir las restricciones y las cargas, se procede a realizar el análisis y ejecución del estado estático en ANSYS. Este análisis calculará las deformaciones, tensiones y otras respuestas estructurales del modelo bajo las condiciones de carga especificadas. Los resultados del análisis se utilizan para evaluar la capacidad de carga y la seguridad de la junta empernada (junta del puente principal del chasis del vehículo), determinando si cumple con los requisitos de diseño y si puede soportar las fuerzas de tracción esperadas.

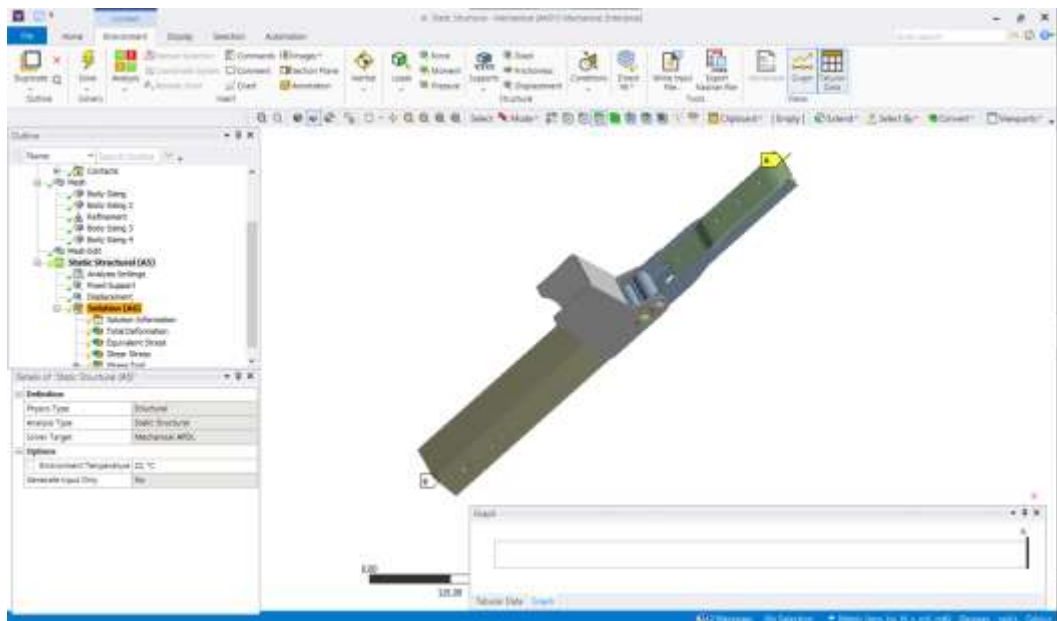


Ilustración 3-43: Definición de Cargas y parámetros generales

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

De manera similar se trabaja con la incorporación de cargas, para ello se sigue el proceso descrito a continuación.

Identificación de las cargas: Se identifica y define todas las cargas externas que actúan sobre el modelo, como fuerzas, momentos, presiones, restricciones, entre otros parámetros a tomar en cuenta.

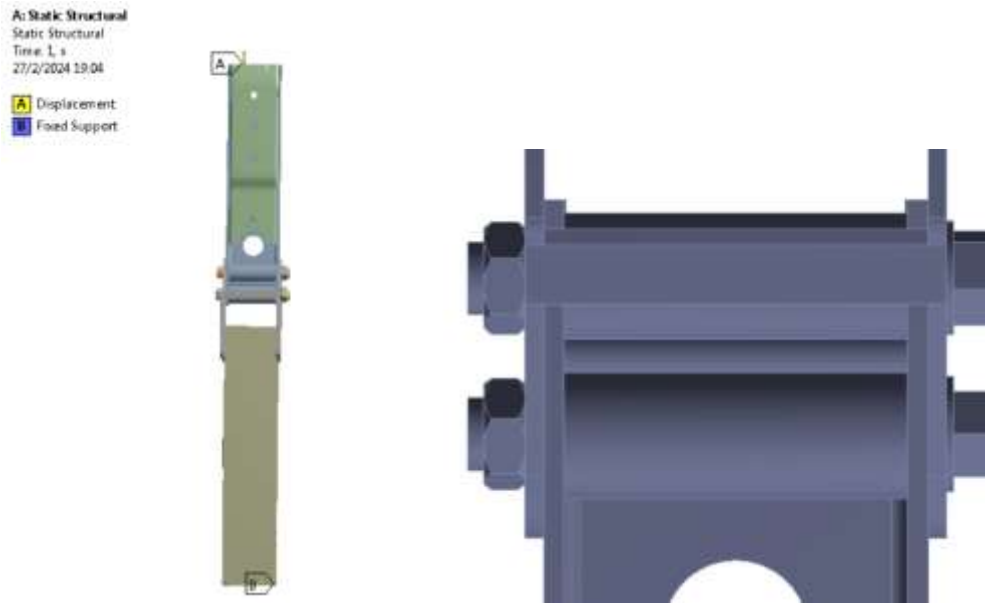


Ilustración 3-44: Restricciones y puntos de anclaje
 Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

Definición de las cargas: Utilizando las herramientas de preprocesamiento de ANSYS, el usuario asigna y define las cargas en las ubicaciones apropiadas de la geometría del modelo.

Aplicación de condiciones de contorno: Se aplican las condiciones de contorno adecuadas para restringir el movimiento del modelo, si es necesario, y para representar el entorno físico en el que opera el modelo.

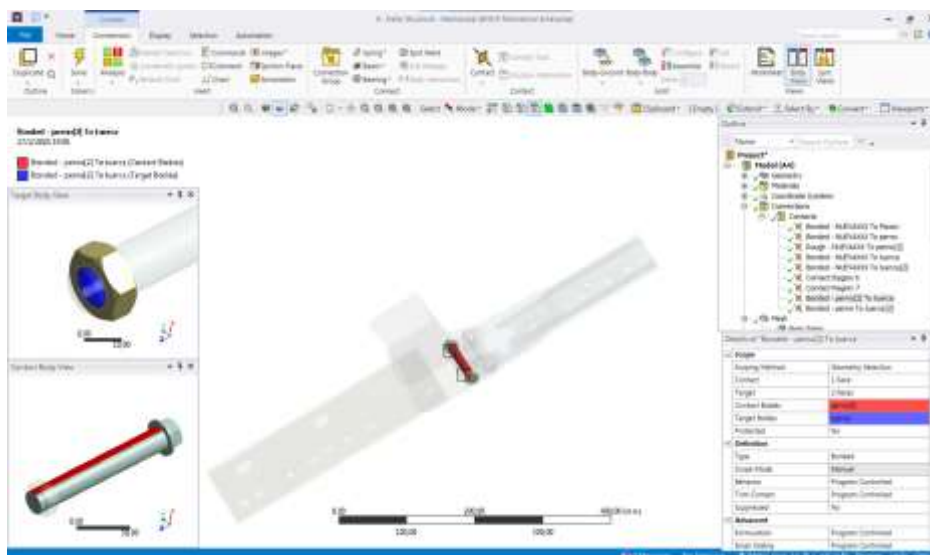


Ilustración 3-45: Condiciones de Contacto
 Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

Verificación de las cargas: Se verifica que las cargas estén correctamente definidas y aplicadas antes de proceder con el análisis.

3.4.11.7 Análisis Dinámico

Para simular una junta emperrada a tracción con un soporte fijo y otro móvil en un análisis dinámico en ANSYS, bajo las mismas condiciones y con un tiempo de simulación de 0.0005 segundos, se procede inicialmente definiendo la geometría del modelo y estableciendo las condiciones de contorno correspondientes, incluyendo el fijado de un lado y la aplicación de cargas en el otro. Se identifican las cargas dinámicas que actuarán sobre la junta emperrada durante el tiempo de simulación, las cuales pueden variar en función del tiempo y pueden incluir fuerzas de impacto o vibraciones.

Estas cargas se pueden aplicar mediante restricciones de desplazamiento en el lado móvil del modelo (considerando el lado fijo en el extremo posterior) para reflejar su respuesta dinámica. Posteriormente, se configuran los parámetros del análisis dinámico, como el tipo de análisis, el método de integración temporal y los pasos de tiempo, definiendo el tiempo de simulación como 0.0005 segundos (en base a la memoria computacional). Una vez establecidos los parámetros, se ejecuta el análisis dinámico en ANSYS y se calcula las respuestas estructurales de la junta emperrada a lo largo del tiempo especificado. Finalmente, se revisan y analizan los resultados del análisis para comprender la respuesta dinámica de la junta emperrada bajo las cargas aplicadas a lo largo del tiempo (definición temporal de simulación).

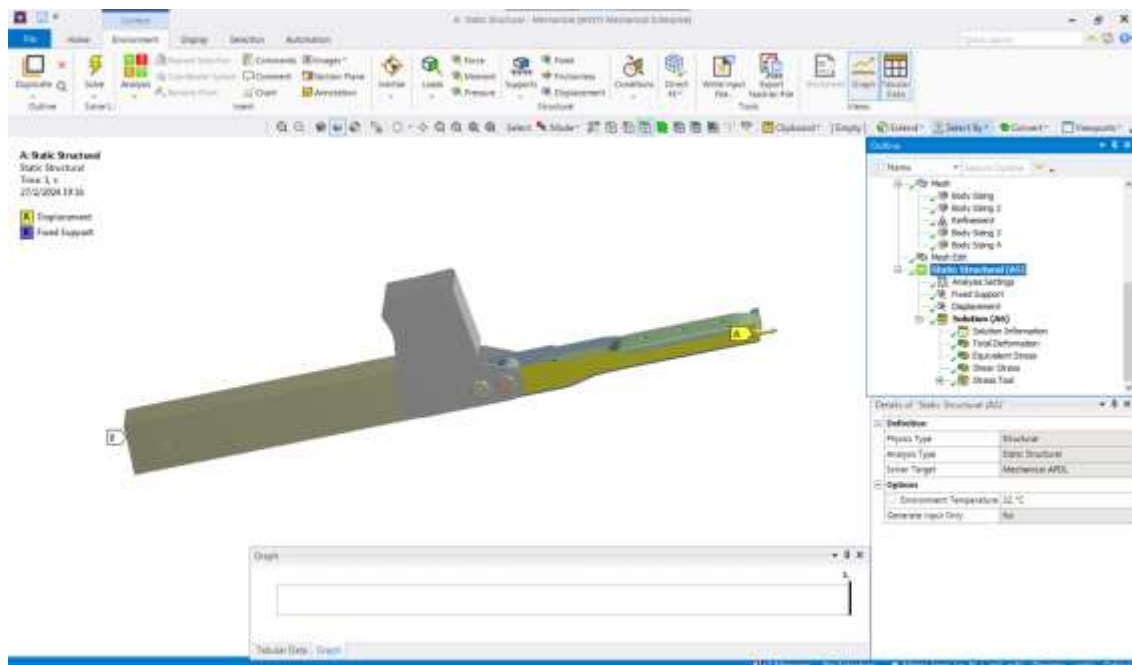


Ilustración 3-46: Análisis Estático
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

Identificación de las cargas dinámicas: Además de las cargas estáticas, se debe identificar y definir las cargas dinámicas, como fuerzas de inercia, amortiguamiento y cargas impulsivas que pueden cambiar con el tiempo.

Definición del comportamiento temporal: Se especifica el comportamiento temporal de las cargas dinámicas, incluyendo la frecuencia, la amplitud, la duración y la forma de onda, si es aplicable.

Aplicación de las cargas dinámicas: Utilizando las herramientas se asigna y define las cargas dinámicas en las ubicaciones apropiadas de la geometría del modelo.

Consideración del efecto del tiempo: Se ajustan los parámetros de análisis para tener en cuenta el comportamiento dinámico del sistema, (selección de un intervalo de tiempo adecuado, el tipo de integración temporal y la precisión requerida para el análisis).

Verificación de las cargas dinámicas: Se verifica que las cargas dinámicas estén correctamente definidas y que el modelo esté preparado para el análisis y simulación.

3.5 Ensayo a tracción Máquina Universal

El ensayo de la junta empernada del chasis es un procedimiento que evalúa la resistencia y la integridad estructural en juntas en aplicaciones automotrices (chasis puente principal). En este ensayo, se somete la junta empernada a una carga gradual y controlada utilizando una máquina universal específicamente configurada para simular las condiciones de carga a las que estará expuesta en el chasis del vehículo.

EL objetivo principal del ensayo de la junta empernada del chasis en la máquina universal es simular las condiciones de carga realistas que experimentará la junta empernada, evaluando su resistencia y comportamiento bajo carga controlada. Al analizar la correlación entre los resultados experimentales y los simulados se proporcionará una base sólida para la toma de decisiones en el diseño (cambio y mejoras del material) y la optimización de futuras juntas empernadas, permitiendo una mejor selección de materiales y configuraciones para lograr un rendimiento óptimo y una mayor eficiencia en el chasis del vehículo.

El proceso de montaje de la junta empernada del chasis en la máquina universal implica una serie de pasos importantes para garantizar la representatividad y la precisión de los resultados del ensayo. A continuación, se describe detalladamente este proceso:

3.5.1 Preparación de la muestra

Antes del montaje en la máquina, se verifica que la junta esté correctamente armada y que los pernos estén instalados según las especificaciones del diseño. Se realizan líneas de referencia de manera transversal a lo largo de la junta para asegurar la alineación precisa durante el ensayo y verificar la deformación. Además, se examinan las superficies de los materiales para eliminar cualquier irregularidad que pueda afectar los resultados del ensayo.



Ilustración 3-47: Preparación de Muestra

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

3.5.2 Instalación en la máquina

La muestra de la junta empernada se coloca en la máquina universal, asegurándose de mantener un lado fijo y otro móvil para simular las condiciones de carga realistas que experimentará en el chasis del vehículo. Se utilizan dispositivos de sujeción apropiadas (mordazas correctamente aseguradas), como denota la ilustración 3-48 para asegurar la muestra de manera segura y evitar desplazamientos durante el ensayo.



Ilustración 3-48: Ensayo Máquina Universal

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

3.5.2.1 Ajustes de parámetros

Se realizan ajustes precisos de los parámetros generales de la máquina universal, como la velocidad de carga y la configuración del equipo de medición. Estos ajustes se realizan de acuerdo con las especificaciones del ensayo y las condiciones de carga esperadas en el chasis del vehículo.

3.5.2.2 Verificación de la alineación

Se verifica la alineación de la muestra en la máquina, asegurando que esté correctamente alineada con los dispositivos de carga y que no haya desviaciones que puedan afectar la precisión de los resultados.

3.5.2.3 Inicio del ensayo

Una vez que la muestra está correctamente instalada y bajo una verificación de alineación, se inicia el ensayo aplicando gradualmente la carga a través de la máquina universal. Se registran continuamente los datos de carga y deformación durante todo el proceso para monitorear el comportamiento de la junta empernada bajo carga.



Ilustración 3-49: Monitoreo ensayo tracción
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

3.5.2.4 Monitoreo Continuo

Durante el ensayo de tracción en la máquina universal, es crucial mantener un monitoreo continuo para garantizar que se alcance la carga máxima permitida de manera segura y controlada. Para lograr esto, la máquina está equipada con sensores de carga y sistemas de medición que registran constantemente la fuerza aplicada a la muestra.

A medida que el ensayo se realiza, estos sistemas proporcionan datos en tiempo real con ayuda del monitor que verifican la aplicación de la carga aplicada y la respuesta de la muestra a tracción. Se establecen umbrales de carga predeterminados que indican cuándo se alcanza la carga máxima permitida.

El monitoreo continuo permite a los operadores de la máquina estar alerta ante cualquier signo de deformación excesiva o fallo inminente de la muestra. En caso de que se detecten anomalías o se alcance la carga máxima permitida, se pueden tomar medidas inmediatas, como detener el ensayo para evitar daños adicionales a la muestra o a la máquina. Este enfoque proactivo garantiza la seguridad tanto del ensayo como de los operadores, al tiempo que permite obtener datos precisos y confiables sobre la capacidad de carga a tracción de la junta empernada.

La rotura del material se produce finalmente bajo una carga final de 53.8 kN, con un espesor de 4.27 mm. Este resultado proporciona datos característicos sobre la resistencia a la tracción del material y su capacidad para soportar cargas extremas como denota la ilustración 3-50; bajo esta caracterización, se puede evaluar la integridad estructural de la junta empernada y tomar decisiones informadas sobre su diseño y aplicación en futuras aplicaciones. La carga final registrada y el espesor del material también pueden compararse con los datos esperados y los estándares de la industria para determinar la eficacia del diseño y la calidad del material utilizado.

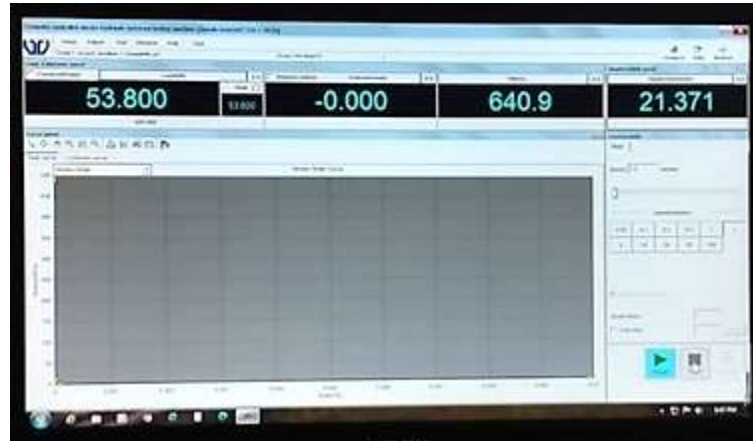


Ilustración 3-50: Ensayo de tracción
Realizado por: Torres L., Liguin A., 2024

A continuación, se presenta un informe detallado de los resultados del ensayo realizado en la máquina WAW600B con la certificación LNM-F-2016500064D

Tras analizar la microestructura y las características del grano presentes en la muestra, se concluye que el material evaluado corresponde a un acero dulce. Esta conclusión se basa en la observación de granos uniformes y bien definidos, típicos de los aceros al carbono de baja aleación. las propiedades microestructurales observadas son consistentes con las características comunes del acero dulce. Esta identificación es fundamental para comprender las propiedades y el comportamiento del material en diversas aplicaciones, lo que contribuirá significativamente a la toma de decisiones en el diseño y la ingeniería de componentes y estructuras fabricadas con este tipo de acero.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Verificación de resultados

En este capítulo, se presentan y analizan los resultados obtenidos tanto del análisis computacional en ANSYS como del ensayo a tracción realizado en la máquina universal. Se interpretan los datos para comprender el comportamiento estructural de la junta empernada en el chasis de la camioneta Mazda, proporcionando una evaluación detallada de su resistencia y capacidad de carga bajo condiciones de tracción.

Los resultados presentados se centran en dos aspectos ideas 1.- la transferencia del modelo 3D de la junta empernada desde SolidWorks a ANSYS y 2.- la caracterización de los materiales utilizados en la junta empernada y el chasis de la camioneta.

En cuanto a la transferencia del modelo 3D, se garantiza la integridad de la transferencia al verificar que las geometrías, materiales y propiedades se reproduzcan de manera precisa en el entorno de simulación de ANSYS. Este proceso es fundamental para preservar el modelado destacando los detalles específicos del modelo 3D, así como el proceso de discretización de elementos finitos sobre la junta empernada. En relación con la caracterización de los materiales, se realizan tres ensayos fundamentales:

- Microscopía electrónica de barrido (SEM)
- Análisis de dureza Brinell
- Espectrometría por chispa de emisión (análisis de Bruker).

Proporcionaron información concisa sobre la composición química, la morfología, la estructura superficial y la capacidad para resistir deformaciones plásticas del material. El análisis de Bruker revela la composición química del acero dulce, identificando los elementos presentes y sus concentraciones respectivas presencia predominante de hierro, definiendo así los parámetros de material en ANSYS y garantizar una representación precisa de las propiedades del material en la simulación estructural.

Por otro lado, la microscopía electrónica de barrido permite explorar la morfología y la estructura superficial del acero dulce. Este análisis detallado proporciona información valiosa sobre la calidad y la integridad del material, contribuyendo significativamente al análisis estructural en ANSYS.

Finalmente, el análisis de dureza Brinell evalúa la capacidad del material para resistir deformaciones plásticas bajo carga (tracción). Este ensayo complementa la caracterización de las

propiedades mecánicas del material e indica datos adicionales para la definición de parámetros en ANSYS.

4.2 Resultados obtenidos del modelado CAD

En resumen, los resultados presentados en esta sección son fundamentales para fundamentar adecuadamente los parámetros de material en ANSYS y contribuir significativamente al análisis integral de la junta empernada en el contexto automotriz.

4.2.1 Transferencia precisa del modelo 3D

Se ha logrado una transferencia precisa del modelo 3D de la junta empernada desde SolidWorks a ANSYS. Esto garantiza que las geometrías, materiales y propiedades se reproduzcan de manera exacta en el entorno de simulación de ANSYS. La fidelidad del modelo original es esencial para realizar análisis estructurales precisos y confiables.

4.2.2 Detalles específicos del modelo 3D

El modelo CAD incluye detalles específicos de la junta empernada, como la disposición de los pernos, la forma de las superficies de contacto y las dimensiones exactas de las piezas. Estos detalles son importantes para comprender cómo se comportará la junta bajo diferentes condiciones de carga y para identificar áreas de posible concentración de tensiones.

4.2.3 Verificación de integridad del modelo

Se ha verificado la integridad del modelo CAD para asegurar que no haya errores o inconsistencias que puedan afectar los resultados de la simulación. Esto incluye la revisión de las conexiones entre las diferentes partes de la junta, la verificación de las tolerancias dimensionales y la evaluación de la simetría y la alineación de los componentes.

Se presentan los resultados obtenidos del diseño y modelado de la pieza de la junta empernada. La figura (4-1) muestra el modelo creado, reflejando las condiciones geométricas y los parámetros generales establecidos para la simulación estructural.

El diseño de la pieza se ha desarrollado con un enfoque meticuloso, garantizando la integridad estructural y la funcionalidad óptima bajo condiciones de carga específicas.

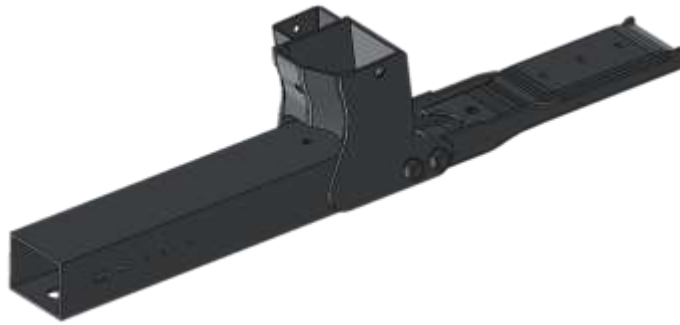


Ilustración 4-1: Modelado Cad
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

4.3 Análisis de la Espectrometría por chispa de emisión “Análisis de Bruker”

El análisis de composición química del acero dulce, realizado mediante la espectrometría por chispa de emisión con el equipo "BRUKER 0.2 ION", ha proporcionado datos fundamentales para comprender las propiedades del material utilizado en la junta empernada y el chasis de la camioneta.

El procedimiento meticuloso de la máquina BRUKER 0.2 ION garantiza la precisión y la fiabilidad de los resultados. Al generar una chispa controlada sobre la muestra de acero, se produce una excitación de los electrones, seguida de la emisión de fotones con longitudes de onda específicas al regresar a su estado original. Estos patrones de onda únicos son analizados por el equipo para identificar los elementos presentes y sus concentraciones respectivas.

Los resultados obtenidos han revelado información detallada sobre la composición química del acero dulce en las muestras del chasis. La identificación precisa de los elementos y sus concentraciones proporciona una base sólida para la definición de parámetros en ANSYS, asegurando la representación precisa de las propiedades del material en la simulación estructural.

Este análisis es crucial para comprender el comportamiento de la junta empernada bajo condiciones de tracción. Además, establece una plataforma sólida para el diseño y la mejora continua de componentes estructurales en el contexto automotriz. Al utilizar estos datos en la simulación estructural en ANSYS, se garantiza un análisis riguroso y preciso de la junta empernada, lo que contribuye significativamente al desarrollo de productos automotrices más seguros y eficientes.

En resumen, la espectrometría por chispa de emisión con el equipo BRUKER 0.2 ION ha proporcionado información valiosa que respalda el diseño como se denota en la ilustración 4-2 y la ingeniería de la junta empernada, permitiendo tomar decisiones informadas sobre los materiales y optimizar su rendimiento en aplicaciones automotrices.




Sample:
 Analysis Time: 29.01.2024 11:28:54 Method: Fe100

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0,111	<0,0100	<0,0050	<0,0100	<0,0100
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
∅	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0050	0,056
	Co [%]	Mg [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]
∅	0,0091	<0,0050	0,011	<0,0030	<0,0050
	W [%]	Fe [%]			
∅	<0,100	99,79			



Ilustración 4-2: Report Bruker
 Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

4.4 Análisis de la Microscopia Electrónica de Barrido “SEM”

Tabla 4-1: Análisis de la Microscopia Electrónica de Barrido “SEM”

Proceso	Resultado
<p>Preparación de Muestras:</p> <p>En este proceso, se extrajeron muestras representativas del chasis, asegurando su fidelidad en términos de la estructura del material. Se realizaron secciones cuidadosas de las muestras y se eliminaron los contaminantes superficiales para garantizar la integridad de los datos. Además, se recubrieron las muestras con una delgada capa de metal para mejorar la conductividad eléctrica, lo que facilitó el análisis posterior mediante SEM.</p>	

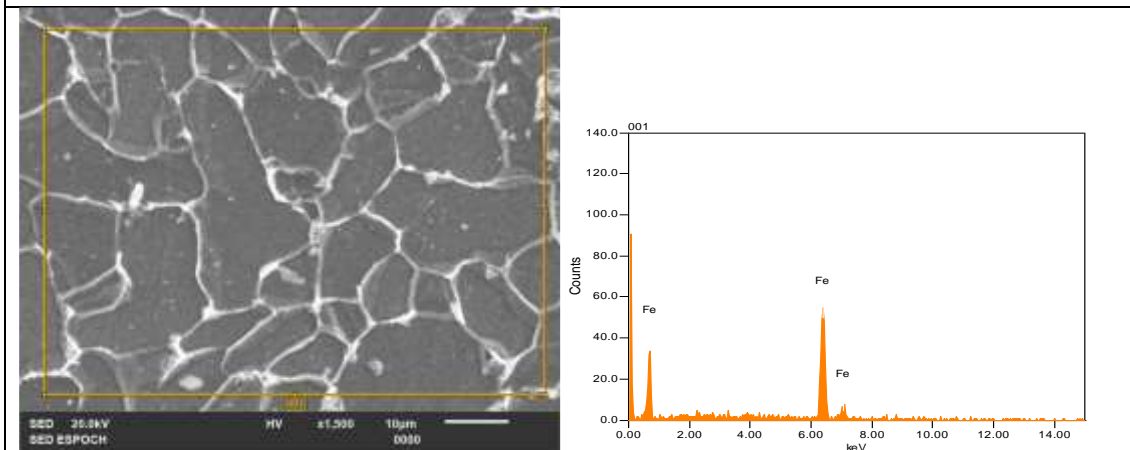
<p>Cortadora de Disco:</p> <p>La cortadora de disco jugó un papel central en la obtención de muestras con dimensiones precisas y en la preservación de la integridad estructural del material. Este equipo permitió realizar cortes controlados y eficientes, asegurando que las muestras obtenidas mantuvieran sus propiedades originales. Se gestionó cuidadosamente la temperatura a través del sistema de refrigeración por agua para evitar el sobrecalentamiento del disco y garantizar un rendimiento óptimo durante el proceso de corte. Además, se llevaron a cabo ajustes cuidadosos y medidas de seguridad para garantizar la calidad de las muestras obtenidas y la seguridad del proceso.</p>	
<p>Resultados del Montador de Probetas:</p> <p>El Montador de Probetas facilitó la fabricación de dos probetas de baquelita con precisión y uniformidad. Utilizando este dispositivo, se garantizó la calidad de las probetas destinadas al estudio de propiedades físicas y mecánicas. La aplicación precisa de la resina y la configuración controlada de los temporizadores contribuyeron a la obtención de probetas homogéneas y listas para su análisis. En la ilustración, se pueden observar las probetas obtenidas después del proceso de montaje, demostrando la eficacia de esta etapa en la preparación de muestras para análisis</p>	
<p>Máquina Desbastadora</p> <p>La Máquina Desbastadora realizó desbaste superficial de muestras metalográficas con eficiencia y precisión. Gracias a su estructura robusta y sistema de refrigeración, se logró un desbaste gradual y controlado utilizando diferentes denominaciones de lijas. La disposición de las áreas de trabajo y la correcta sujeción de las muestras garantizaron resultados consistentes y de alta calidad. Tras el proceso de desbaste, se obtuvieron superficies uniformes y preparadas para análisis detallados, como se muestra en la ilustración. Este paso crucial en la preparación de muestras metalográficas aseguró la obtención de datos confiables y significativos en estudios posteriores de materiales.</p>	

<p>Máquina Pulidora:</p> <p>La máquina pulidora de disco único demostró su eficacia en el pulido preciso de muestras metalográficas. Equipada con un disco especial y un sistema de refrigeración, esta máquina realizó un pulido meticuloso y control térmico óptimo durante la operación. Al seguir el procedimiento detallado, se logró preparar las muestras con superficies pulidas y libres de imperfecciones, listas para una evaluación más detallada de su estructura metalográfica. Es crucial destacar la importancia de la limpieza adecuada de las muestras y el uso correcto del paño pulidor para obtener resultados de alta calidad. La ilustración muestra el proceso en la máquina pulidora, destacando su idoneidad para la preparación de muestras metalográficas.</p>	
<p>Ataque con Nital:</p> <p>El ataque con nital proporcionó parámetros de la microestructura presente en las muestras metalográficas. Esta técnica, que combina ácido nítrico con alcohol, permitió destacar patrones microscópicos cruciales para el análisis estructural y la comprensión de las propiedades de los materiales. Los resultados obtenidos después del ataque con nital revelaron detalles de la microestructura de las muestras, además de información para la caracterización de los materiales. La ilustración muestra los resultados visuales obtenidos después del proceso de ataque con nital, destacando la efectividad de esta técnica en la metalurgia y metalografía.</p>	
<p>La Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) reveló características tridimensionales de la morfología superficial de las muestras. Utilizando un haz de electrones en lugar de luz visible, este análisis mostró imágenes de alta resolución a una escala microscópica. Antes del análisis SEM, las muestras se sometieron a un proceso de preparación que incluyó el recubrimiento con una fina capa de material conductor para evitar la acumulación de carga estática.</p> <p>Los resultados del análisis SEM mostraron una visualización detallada de la microestructura a dos resoluciones distintas: x1500 y x400. La resolución x1500 ofreció una imagen altamente detallada, revelando características microscópicas finas y proporcionando una visión profunda de la topografía. Por otro lado, la resolución x400 ofreció una perspectiva más amplia, permitiendo la observación de patrones más grandes y facilitando la identificación de tendencias generales en la calidad del grano. Estas dos resoluciones proporcionaron</p>	

información valiosa sobre la estructura microscópica, permitiendo una evaluación más completa y precisa de la integridad y calidad del material en estudio.

La aplicación de la Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS) en las muestras reveló información de la composición química de los precipitados intergranulares. Este análisis permitió identificar la distribución y concentración de dichos elementos. Los resultados mostraron una concentración de masa del 0.47% y 0.45% en dos imágenes diferentes, respectivamente, con una alta precisión en las mediciones. La composición química identificada, principalmente compuesta por hierro (Fe), proporcionó una comprensión profunda de la presencia y el impacto de estos precipitados en la integridad estructural del material.

En resumen, tanto el análisis SEM como el análisis mediante EDS proporcionaron una comprensión detallada de la estructura y composición de las muestras de la junta empernada. Estos resultados son fundamentales para evaluar la calidad del material y comprender su comportamiento estructural y mecánico en aplicaciones automotrices



Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

Basándonos en la información proporcionada por el análisis mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS), podemos realizar un análisis del tipo de grano y la identificación del material.

4.4.1 Tipo de Grano:

El análisis SEM reveló una visualización detallada de la microestructura a dos resoluciones distintas: x1500 y x400. A través de estas imágenes, se pudo observar la calidad del grano presente en las muestras de la junta empernada. La resolución x1500 permitió identificar características microscópicas finas, mientras que la resolución x400 proporcionó una visión más amplia de la estructura del grano, facilitando la identificación de patrones generales.

Los resultados indicaron la presencia de una microestructura de grano relativamente uniforme y bien definida, lo que sugiere un proceso de fabricación controlado y una composición química

homogénea del material. Además, se observaron posibles inclusiones o defectos microscópicos que podrían influir en la integridad estructural.

4.4.2 Identificación del Material

El análisis mediante Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS) permitió identificar la composición química de las muestras, principalmente mediante la detección de elementos presentes en los precipitados intergranulares. Los resultados mostraron una concentración significativa de hierro (Fe), lo que sugiere que el material principal es un tipo específico de acero.

El análisis detallado de las propiedades estructurales y composición química reveló atributos característicos asociados al acero dulce. Este tipo de acero, comúnmente conocido por su composición química que incluye bajos niveles de carbono y otros elementos de aleación en proporciones controladas, es ampliamente utilizado en aplicaciones automotrices debido a su tenacidad, resistencia y facilidad de fabricación.

Por lo tanto, en base a los resultados del análisis SEM y EDS, podemos concluir que el material de las muestras de la junta empernada es acero dulce, utilizado a gran escala en la aplicación en el diseño y la ingeniería automotriz.

Se determina que el material en cuestión es acero dulce. Este tipo de acero se caracteriza por tener un bajo porcentaje de carbono, por debajo de 0,1%. Presenta una resistencia mecánica en el rango de 48 a 55 kg/mm² y una dureza Brinell entre 135 y 140 HB. El acero dulce es adecuado para la soldadura siempre que se utilice la técnica correcta. Se utiliza comúnmente en aplicaciones que requieren piezas con resistencia media y buena tenacidad, así como en procesos de deformación en frío, embutición, plegado y en la fabricación de herrajes, como es el caso del chasis que es analizado.

4.4.3 Análisis determinación de dureza

Los resultados obtenidos a través del durómetro y el microscopio de dureza Brinell proporcionan una visión integral de las propiedades mecánicas del material, específicamente el acero dulce evaluado en este estudio. Utilizando el durómetro, se aplicó una carga precisa utilizando un indentador esférico según las normativas ASTM E10 para dureza Brinell, lo que permitió obtener un valor de dureza Brinell de 135 Kg/mm². Este número refleja la resistencia superficial del material a deformaciones plásticas bajo carga, proporcionando una medida cuantitativa de su capacidad para resistir esfuerzos mecánicos.

Por otro lado, el microscopio de dureza Brinell sirvió para visualizar e identificar los diámetros de las indentaciones generadas por el durómetro. Además, se siguieron estrictas precauciones de seguridad para garantizar la precisión de las mediciones y evitar posibles errores. La utilización

de este microscopio permitió calcular la dureza Brinell utilizando una ecuación específica, lo que corroboró el valor obtenido con el durómetro.

En conclusión, los resultados obtenidos con ambos instrumentos proporcionan una evaluación completa de la resistencia y las propiedades mecánicas del acero dulce, determinando y generando una idea del material a ser asignado bajo parámetros prácticos de caracterización.

4.4.4 Análisis Simulación Ansys

4.4.4.1 Análisis estático

Los resultados presentados revelan un análisis meticuloso y dinámico de la junta emperrada en el chasis de la camioneta Mazda, abordando tanto condiciones estáticas como dinámicas para una comprensión completa de su comportamiento bajo diferentes situaciones de carga. Centrándose en la identificación de materiales, la definición precisa de propiedades en el entorno de simulación ANSYS, la representación detallada del modelo 3D y la meticulosa definición de condiciones de frontera y cargas aplicadas, se ha obtenido una visión integral de la resistencia y la integridad estructural de la junta emperrada.

Tras un análisis exhaustivo que incluyó pruebas de materiales, espectrometría y ensayos en la máquina universal, se ha determinado que la junta emperrada está compuesta principalmente por acero dulce. Esta elección se fundamenta en su equilibrio entre resistencia y maleabilidad, características cruciales para componentes sometidos a cargas variables. Además, se ha establecido que el material presenta un factor de seguridad de 0.76489, para un desplazamiento de 5 mm indicando un margen adecuado para las condiciones de carga previstas.

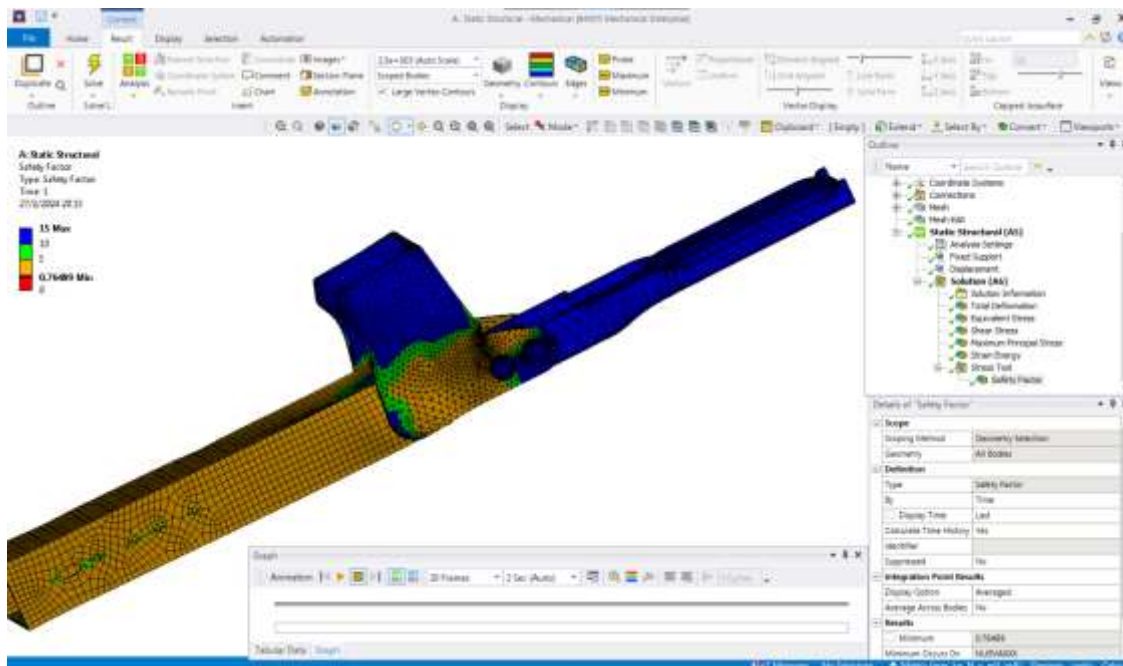


Ilustración 4-3: Factor de Seguridad

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

El esfuerzo máximo principal alcanza los 350.27 MPa, lo que proporciona una compresión profunda de la resistencia del material bajo carga. Estos valores, obtenidos en un análisis dinámico, se asemejan a situaciones reales, lo que refuerza la validez de los resultados obtenidos bajo una fuerza de 54,6KN como carga máxima a soportar.

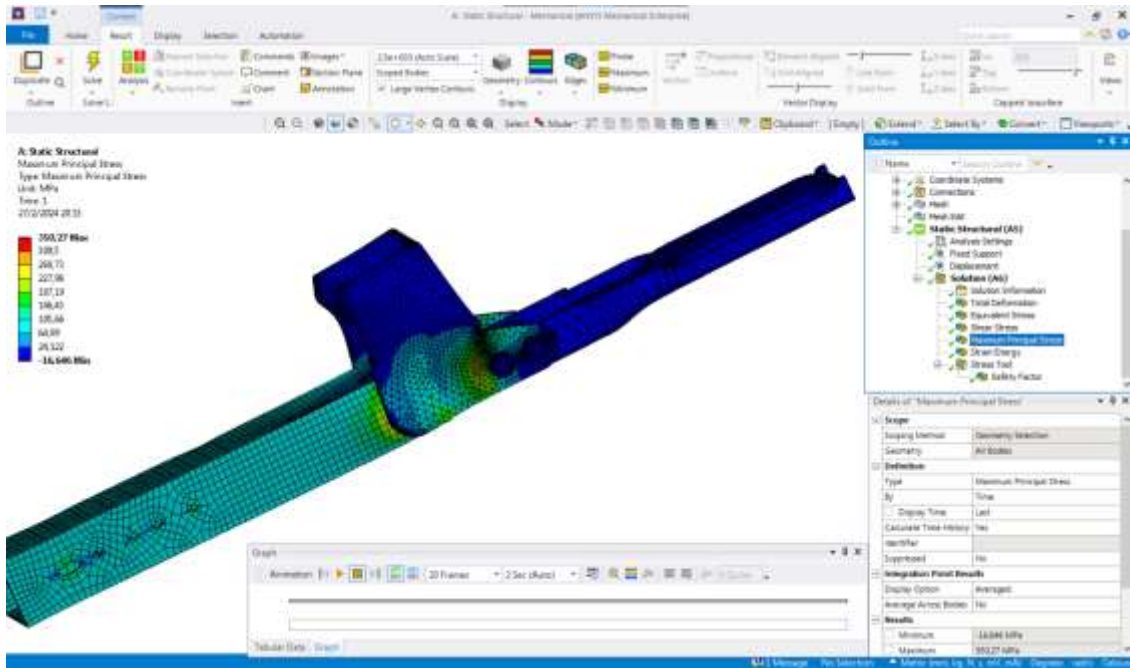


Ilustración 4-4: Esfuerzo máximo principal
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

En el entorno de simulación de ANSYS, se han establecido parámetros de material que representan con precisión las propiedades del acero dulce, incluyendo módulos elásticos, límites de fluencia y resistencia a la tracción. Esta configuración permite realizar un análisis detallado del comportamiento estructural bajo condiciones estáticas y dinámicas, con resultados confiables y representativos.

El modelo 3D en ANSYS identifica claramente las dos piezas principales de la junta emprenada. Se ha determinado que la deformación total de la junta emprenada bajo las condiciones de carga específicas es de 0.015, lo que proporciona información valiosa sobre su capacidad para absorber energía.

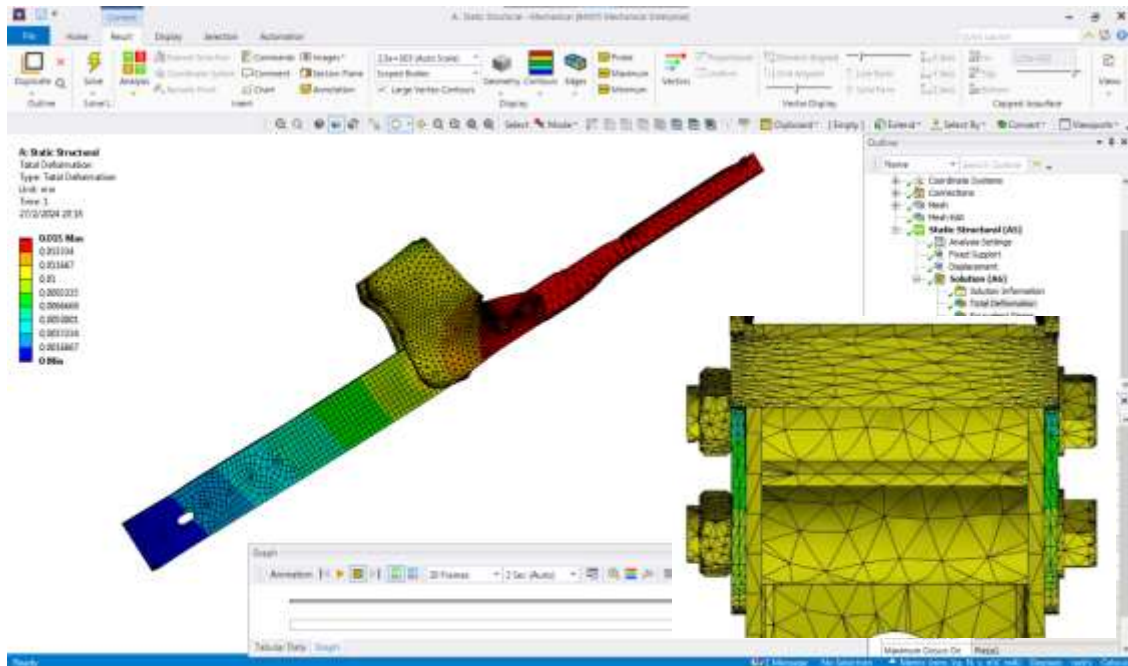


Ilustración 4-5: Deformación total

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

Las condiciones de frontera y cargas aplicadas se han diseñado meticulosamente para simular con precisión el entorno real de la camioneta. Se establecen restricciones en los puntos de anclaje, se modelan condiciones de contacto realistas y se aplican cargas de tracción homogéneas, considerando variaciones prácticas como frenado y aceleración brusca. Este enfoque garantiza una simulación rigurosa y detallada del comportamiento de la junta emperrada bajo tracción, proporcionando información valiosa para la ingeniería automotriz y la optimización del diseño de componentes estructurales.

4.4.4.2 *Análisis dinámico*

El análisis dinámico en simulación realizado en ANSYS para evaluar la junta emperrada en el chasis de la camioneta Mazda representa un enfoque integral para comprender su comportamiento bajo diversas situaciones de carga. Este estudio abarca tanto condiciones estáticas como dinámicas, con el propósito de proporcionar una visión completa de cómo la junta responde a diferentes tipos de fuerzas y movimientos. A través de una cuidadosa identificación de materiales, la definición precisa de propiedades en ANSYS, la representación detallada del modelo 3D y la meticulosa definición de condiciones de frontera y cargas aplicadas, se obtiene una visión amplia de la resistencia y la integridad estructural de la junta emperrada. Estos resultados proporcionan información valiosa para mejorar el diseño y el rendimiento de la junta en situaciones de uso reales, no solo para la camioneta Mazda en cuestión, sino también para aplicaciones similares en la industria automotriz y más allá.

A continuación, se presenta el análisis bajo características cruciales para componentes sometidos a cargas variables. Además, se ha determinado que el material presenta un factor de seguridad de 0.773 para un desplazamiento de 0,5 mm, lo que indica un margen adecuado para las condiciones de carga previstas. Este análisis detallado proporciona la idea del comportamiento de la junta sometida a cargas dinámicas.

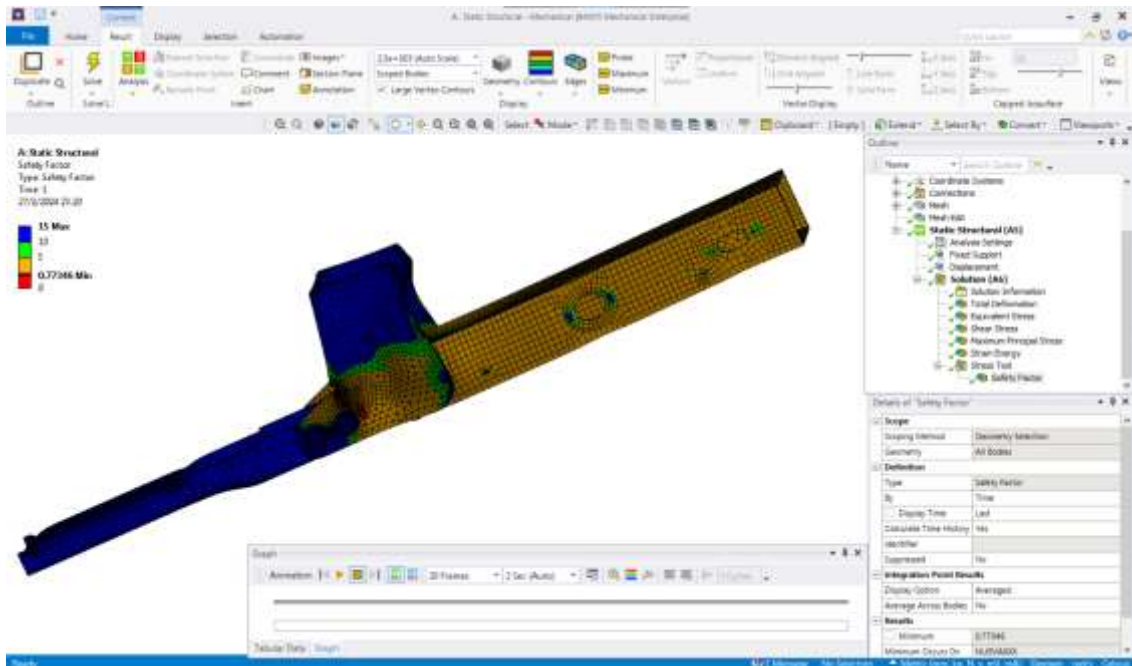


Ilustración 4-6: Factor de Seguridad bajo cargas dinámicas
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

El esfuerzo máximo principal calculado alcanza los 0.2693 MPa, lo que proporciona una comprensión profunda de la resistencia del material bajo carga. Estos valores, obtenidos en un análisis dinámico, se asemejan a situaciones reales, lo que refuerza la validez de los resultados obtenidos.

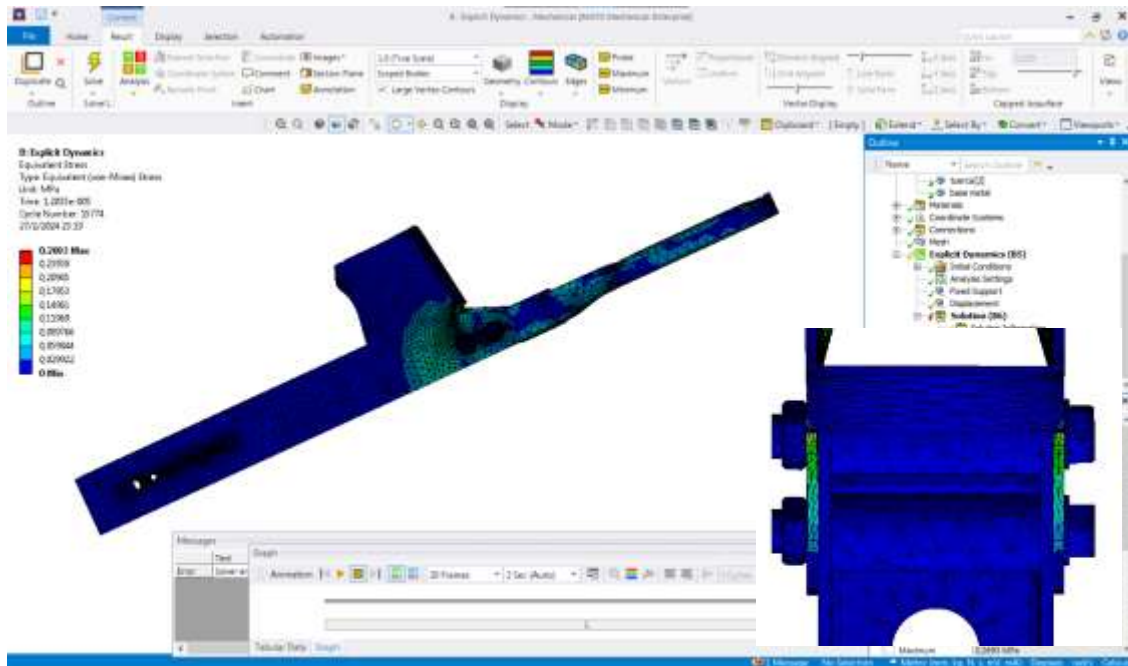


Ilustración 4-7: Esfuerzo máximo principal bajo un análisis dinámico.

Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

En el entorno de simulación de ANSYS, se han establecido parámetros de material que representan con precisión las propiedades del acero dulce, incluyendo módulos elásticos, límites de fluencia y resistencia a la tracción. Esta configuración permite realizar un análisis detallado del comportamiento estructural bajo condiciones dinámicas, con resultados confiables y representativos.

El modelo 3D en ANSYS identifica claramente las dos piezas principales de la junta empernada, simplifica la geometría para una representación exacta y evitar errores en la simulación. A pesar de esta simplificación, se garantiza la integridad del análisis mediante una evaluación de las superficies omitidas, determinando las condiciones de carga específicas en condiciones dinámicas siendo de 0.000027.

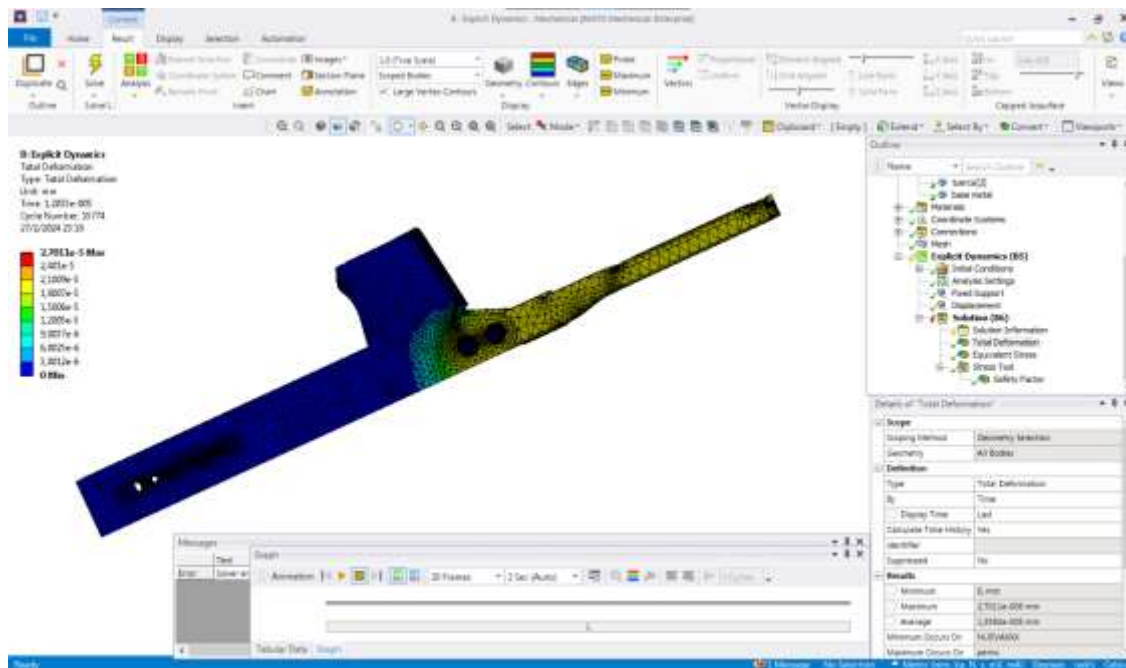


Ilustración 4-8: Deformación total bajo condiciones dinámicas
Realizado por: Torres L., Lliguin A., 2024

ANSYS ofrece una representación precisa del comportamiento de la junta emperrada bajo condiciones reales de tracción en un análisis dinámico. Este enfoque meticuloso proporciona información valiosa para la ingeniería automotriz, permitiendo identificar áreas de mejora en el diseño de componentes estructurales y optimizar su rendimiento en términos de seguridad y eficiencia.

4.5 Análisis ensayo Máquina Universal

El análisis del ensayo a tracción de la junta emperrada del chasis en la máquina universal revela información crucial sobre la resistencia y la integridad estructural de este componente automotriz fundamental. Este procedimiento no solo permite evaluar la capacidad de la junta para soportar cargas variables, sino que también proporciona datos esenciales para validar y calibrar modelos computacionales en software de simulación como ANSYS, lo que contribuye significativamente al proceso de diseño y optimización de futuras juntas emperradas.

La carga final registrada durante el ensayo fue de 53.8 kN, indicando la fuerza máxima que la junta pudo resistir antes de la rotura. Este valor es de gran importancia para entender la resistencia a la tracción del material y su capacidad para soportar cargas extremas en condiciones operativas reales. Además, el espesor del material de la junta emperrada, medido en 4.27 mm, proporciona información adicional sobre las características físicas de la muestra, lo que permite una evaluación más completa de su rendimiento estructural. Al comparar la carga final obtenida con los estándares de la industria y los datos esperados, podemos determinar la eficacia del diseño y la calidad del material utilizado en la fabricación de la junta. Asimismo, la capacidad de la junta

para resistir cargas extremas tiene implicaciones directas en la seguridad y durabilidad del chasis del vehículo, lo que subraya la importancia de estos resultados para la ingeniería automotriz.

En resumen, el análisis detallado de los resultados del ensayo a tracción proporciona una comprensión integral de la capacidad de carga de la junta empernada, lo que permite tomar decisiones informadas sobre su diseño, aplicación y optimización en futuras aplicaciones automotrices.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG-18-02	
N° 1	
SOLICITADO POR:	Luis Torres - Aldo Lliguin
DIRECCION:	ESPOCH Facultad de Mecánica Escuela Ingeniería Automotriz
PROYECTO:	"DISEÑO DE UNA JUNTA EMPERNADA MEDIANTE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL PARA VALIDAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL A TRACCIÓN"
TIPO DE MATERIAL:	ACERO - HCLA
MATERIAL:	JUNTA EMPERNADA DE UN CHASIS DEL TRAVESAÑO PRINCIPAL
FECHA DE ENSAYO:	18-ene-24
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D
CÓD IDENT: M1	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P1
ESPEJOR [mm]	4.27
CARGA MAXIMA [KN]	53.8
OBSERVACIONES:	
	

Aprobado por:


 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Ilustración 4-9: Informe de Resultados

Realizado por: Torres L., 2024

CONCLUSIONES

Después de una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica, se identificaron múltiples tipos de juntas empernadas, lo que subraya la importancia de estos componentes en la integridad estructural del chasis de la camioneta Mazda. Este análisis se basó en una amplia consulta de fuentes especializadas, abarcando investigaciones académicas, informes técnicos de fabricantes y publicaciones relevantes del sector automotriz. Entre los tipos de juntas empernadas identificados se destacan los modelos de unión a solape, los de unión a tope y los de unión a superficie interrumpida, cada uno con características y aplicaciones específicas en el diseño y la construcción de vehículos.

El diseño de la junta empernada para la camioneta Mazda se llevó a cabo utilizando el software CAD SolidWorks. Dado el nivel de complejidad de la pieza y la variedad de operaciones necesarias (modelado), el proceso de modelado se dividió en varias etapas para garantizar la precisión y la eficiencia en cada fase. Se emplearon técnicas de modelado 3D para representar con exactitud las geometrías de la junta y se realizaron más de 20 iteraciones de diseño para perfeccionar la distribución de los pernos y optimizar la resistencia estructural. Durante el proceso de diseño, se tuvo en cuenta las características y requisitos únicos del chasis de la camioneta, así como las condiciones de carga y las expectativas de rendimiento del vehículo. Además, se consideraron las restricciones de espacio y las tolerancias de fabricación garantizando una integración perfecta de la junta en el conjunto del chasis.

Basándonos en el análisis mediante Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS) y el estudio de propiedades estructurales, confirmamos que el material de las muestras de la junta empernada es acero dulce. Este tipo de acero, reconocido por su bajo contenido de carbono (menos del 0.1%), exhibe una resistencia mecánica en el rango de 48 a 55 kg/mm² y una dureza Brinell entre 125 y 140 HB. Además, su tenacidad y facilidad de manufactura lo hacen ideal para aplicaciones automotrices. Su uso común en procesos de deformación en frío, embutición y plegado, así como su compatibilidad con técnicas de soldadura, lo convierten en un material esencial en la industria, incluyendo el análisis del chasis realizado en este estudio.

El análisis exhaustivo realizado sobre la junta empernada del chasis de la camioneta Mazda ha proporcionado una comprensión integral de su diseño, comportamiento estructural y capacidad de resistencia bajo diversas condiciones de carga. A través de simulaciones computacionales con ANSYS, se identificaron picos de tensión de hasta 35.27 MPa en puntos críticos de la junta, destacando áreas susceptibles a la deformación y el posible fallo. La caracterización detallada del material como acero dulce, obtenida mediante ensayos de materiales, espectrometría, dureza y análisis de grano, permitió una representación precisa del comportamiento del material en las

simulaciones. Estos hallazgos no solo respaldan la fiabilidad de los modelos de simulación, sino que también proporcionan una base sólida para el diseño y la optimización de futuras juntas empernadas, asegurando la seguridad, durabilidad y rendimiento óptimo del chasis del vehículo en condiciones prácticas de uso.

El análisis estático reveló un esfuerzo máximo principal de 35.27 MPa, validando la resistencia del acero dulce ante cargas de hasta 54.6 kN. Los parámetros del material en ANSYS garantizaron resultados fiables. A pesar de la simplificación en la geometría, el modelo 3D identificó claramente las partes principales de la junta empernada, evaluando cuidadosamente las áreas más críticas. La deformación total fue de 0.015, demostrando la capacidad del material para absorber energía. Las condiciones de carga simuladas reflejaron el entorno automotriz real, garantizando una evaluación precisa del comportamiento estructural.

El análisis dinámico en ANSYS evaluó la junta empernada en el chasis de la camioneta Mazda, proporcionando una idea del comportamiento bajo cargas a tracción en estado dinámico y estático. Los resultados mostraron un esfuerzo máximo principal de 0.2693 MPa, con un factor de seguridad de 0.773 para un desplazamiento de 0.5 mm. La configuración precisa de los parámetros y de las partes principales de la junta denotaron la deformación total bajo condiciones dinámicas.

Los ensayos de tracción en la máquina universal indicaron que la junta empernada, compuesta de acero dulce 1010 por su comportamiento y propiedades, exhibió un comportamiento típico de un material dúctil y maleable. Resistió una carga máxima de 53.8 kN y mostró una resistencia máxima a la tracción de 220 MPa antes de fracturarse. La simulación en ANSYS destaca la fiabilidad del modelo computacional en la evaluación del comportamiento de la junta empernada. Esta consistencia valida tanto el diseño estructural como la selección del material, fortaleciendo la confianza en la integridad y resistencia de la junta. Estos hallazgos respaldan su aplicación en el chasis de la camioneta Mazda y sugieren su potencial utilidad en otros ámbitos automotrices.

El análisis comparativo de la resistencia de la junta empernada reveló una desviación mínima entre la carga máxima soportada en el análisis estático (54.6 kN) y los ensayos de tracción en la máquina universal (53.8 kN), con una diferencia de 0.8 kN. Esta desviación, calculada en un 1.47%, confirma la fiabilidad y precisión del modelo ANSYS y la consistencia del comportamiento del acero dulce 1010 bajo condiciones de carga estática y dinámica. La validación experimental y numérica de estos resultados destaca la capacidad del material para absorber energía y mantener la integridad estructural, asegurando una evaluación precisa del comportamiento de la junta en aplicaciones automotrices.

RECOMENDACIONES

Para futuros proyectos similares, se recomienda realizar una caracterización exhaustiva del material utilizado en la junta empernada, como el acero dulce 1010, a fin de comprender en profundidad sus propiedades mecánicas y químicas. Este análisis detallado permitirá una mejor evaluación del comportamiento del material bajo diferentes condiciones de carga y garantizará su idoneidad para la aplicación específica en el chasis de la camioneta Mazda. Además.

Para futuros trabajos, se podría considerar el uso de escáner 3D para garantizar el modelado preciso de la pieza desde el inicio del proceso de diseño. Esto permitirá una captura más exacta de las dimensiones y geometría de la junta empernada, lo que contribuirá a una simulación más precisa y fiable. Además, es crucial tomar medidas precisas y detalladas durante la fase de diseño para asegurar la exactitud de los resultados de la simulación. Esto incluye la selección adecuada de materiales y la consideración cuidadosa de factores como la geometría y la resistencia estructural, que pueden influir significativamente en el rendimiento final de la junta empernada. Integrar estas prácticas en el proceso de diseño inicial facilitará la optimización del diseño y ayudará a prevenir posibles problemas o errores durante las etapas posteriores del proyecto.

Se debe priorizar la mejora de la calidad de la malla en las simulaciones estructurales utilizando herramientas como ANSYS, ya que esto puede afectar la precisión de los resultados. Aunque en este proyecto se enfrentaron limitaciones de memoria computacional que impidieron una malla más refinada, es esencial reconocer que la validación continua del diseño a través de simulaciones detalladas sigue siendo fundamental para prevenir fallos potenciales y optimizar el rendimiento del componente. Además, se recomienda complementar las simulaciones con ensayos prácticos en una máquina universal para obtener datos experimentales sobre el comportamiento real del material bajo carga. Estos datos pueden servir como una validación adicional de los modelos y garantizar su fiabilidad. Integrar estas prácticas en futuros proyectos asegurará una evaluación exhaustiva y precisa del diseño de la junta empernada, permitiendo ajustes o modificaciones necesarias antes de la fabricación.

Es esencial mantener registros detallados de todas las etapas del proceso, desde los ensayos hasta las simulaciones y las decisiones de diseño, para facilitar un análisis exhaustivo post-mortem que identifique áreas de mejora y lecciones aprendidas. Se sugiere fortalecer la colaboración interdisciplinaria entre equipos de ingeniería mecánica, de materiales y de simulación, aprovechando al máximo el conocimiento y la experiencia de cada disciplina. Además, es importante destacar que los valores obtenidos en las simulaciones fueron muy cercanos a los datos prácticos, lo que subraya la precisión del modelo y la validez de los métodos de análisis utilizados. Para futuros proyectos, se recomienda mejorar las instalaciones y el laboratorio, aprovechando

las máquinas disponibles en la facultad para realizar ensayos prácticos de manera más eficiente y práctica. Esto contribuirá a mejorar la eficiencia, la precisión y la confiabilidad de los procesos de diseño y análisis de juntas empernadas u otros componentes estructurales similares.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ABASOLO, M.** “Uniones Atornilladas”. *OCV Creative Commons License* (España) [en línea], 2015, pag 20-50 S.l. [consulta: 2 enero 2024]. ISSN 2255-2316. Disponible en: https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/50399/mod_resource/content/3/Tema%2015%20%20Uniones%20atornilladas%20%282%29.pdf
2. **ANDRANGO LOACHAMIN, W. A. & ULCUANGO ESCOLA, B. R.** Validación de juntas empernadas sometidas a cargas de torsión, flexión y tensión mediante un software de diseño especializado [en línea]. (Trabajo de titulación). 2018. pag 53-62 bachelorThesis. S.l.: s.n. [consulta: 29 diciembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24834>.
3. **ARROBA ARROBA, H.** Análisis de la resistencia de la superestructura de autobuses interprovinciales relacionado a la ubicación del motor mediante simulación por ordenador del ensayo de vuelco. [en línea]. (Trabajo de titulación). Repositorio Universidad Técnica de Ambato-Ecuador 2018. pag 45-80 [consulta: 29 diciembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/37099>.
4. **ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES APLICACIÓN.** *Ensayo de tracción de materiales.* Aplicación [en línea], [sin fecha]. [consulta: 2 enero 2024]. Disponible en: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-traccion/>.
5. **RAMIREZ CASTRO.** *Curva de esfuerzo-deformación idealizada para materiales dúctiles.* ResearchGate [en línea], [sin fecha]. [consulta: 17 enero 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Curva-de-esfuerzo-deformacion-idealizada-para-materiales-ductiles_fig1_331310495.
6. **INFINITIA, I.** *Ensayo de Tracción ¿Cuál es su aplicación?* Infinitia Research. [blog] España 2020. [consulta: 2 enero 2024]. Disponible en: <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/ensayo-de-traccion-y-su-aplicacion-en-materiales/>.
7. **PORTILLA PAUCAR, J. D.** Diseño de una junta empernada trabajando a fatiga. [en línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador. 2023. págs. 25-58 [Consulta: 29 diciembre 2023]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24865>.
8. **UNIVERSIDAD TECMILENIO.** *Profesional.* [en línea], [sin fecha]. [consulta: 17 enero 2024]. Disponible en: <https://a14121-10751806.cluster211.canvas-user-content.com/courses/14121~4611/files/14121~10751806/course%20files/mn/mn13101/b/tema3.htm>.



ANEXOS
ANEXO A: RESULTADOS ANALISIS

Bruker Analysis Report



Sample:

Analysis Time: 29.01.2024 11:28:54

Method: Fe100

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
Ø	0,111	<0,0100	<0,0050	<0,0100	<0,0100
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
Ø	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0050	0,056
	Co [%]	Mg [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]
Ø	0,0091	<0,0050	0,011	<0,0030	<0,0050
	W [%]	Fe [%]			
Ø	<0,100	99,79			

ANEXO B: RESULTADOS MICROCOPIA ANÁLISIS SEM



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG-18-02	
N° 1	
SOLICITADO POR:	Luis Torres - Aldo Liguin
DIRECCION:	ESPOCH Facultad de Mecánica Escuela Ingeniería Automotriz
PROYECTO:	"DISEÑO DE UNA JUNTA EMPERNADA MEDIANTE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL PARA VALIDAR EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL A TRACCIÓN"
TIPO DE MATERIAL:	ACERO - HCLA
MATERIAL:	JUNTA EMPERNADA DE UN CHASIS DEL TRAVESAÑO PRINCIPAL
FECHA DE ENSAYO:	18-ene-24
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE:	7136
CERTIFICADO:	LNM-F-2016500064D
CÓD IDENT:	M1
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P1
ESPEJOR [mm]	4,27
CARGA MAXIMA [KN]	53,8
OBSERVACIONES:	 Riobamba - Ecuador

Aprobado por:




Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 07/08/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: LUIS ANGEL TORRES VIVANCO ALDO JEFFERSON LLIGUIN APO
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
Título a optar: INGENIERO AUTOMOTRIZ
 Ing. Edwin Rodolfo Pozo S. Director del Trabajo de Titulación  Ing. Jorge Sebastián Buñay G. Asesor del Trabajo de Titulación