

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**Análisis de fatiga y vibración del sistema de transmisión de mototaxis  
urbanos para aumentar su vida útil en Chiclayo**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**AUTOR**

**Luciana Paloma Larrea Carranza**

**ASESOR**

**Alejandro Segundo Vera Lazaro**

<https://orcid.org/0000-0003-0198-338X>

**Chiclayo, 2025**

**Análisis de fatiga y vibración del sistema de transmisión de  
mototaxis urbanos para aumentar su vida útil en Chiclayo**

PRESENTADA POR

**Luciana Paloma Larrea Carranza**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

APROBADA POR

Luis Alberto Gonzales Bazán  
PRESIDENTE

Lucio Antonio Llontop Mendoza  
SECRETARIO

Alejandro Segundo Vera Lazaro  
VOCAL

## **Dedicatoria**

Dedicado a Anthony William Granda Incio.

Goodbye, goodbye, goodbye  
You were bigger than the whole sky  
You were more than just a short time  
And I've got a lot to pine about  
I've got a lot to live without  
I'm never gonna meet  
What could've been, would've been  
What should've been you  
—Taylor Swift—

## **Agradecimientos**

A Dios, a mis padres, por su apoyo incondicional, a mi hermana Techo, a mi asesor, Dr. Alejandro Vera por su paciencia y asesoramiento durante todo el proceso.

## LARREA CARRANZA LUCIANA PALOMA\_INFORME.pdf

### INFORME DE ORIGINALIDAD



### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>www.coursehero.com</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>moam.info</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>Submitted to Universidad Manuela Beltrán</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>oldri.ues.edu.sv</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>biblioteca.utb.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.esan.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>bibliotecadigital.usb.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

## Índice

Resumen .....	16
Abstract .....	17
I. Introducción .....	18
Planteamiento del problema .....	20
Objetivos .....	21
Objetivo general .....	21
Objetivos específicos.....	21
Justificación.....	21
Social.....	21
Económico.....	21
Tecnológico.....	21
Ambiental.....	22
II. Revisión literaria .....	23
2.1. Antecedentes .....	23
2.2. Bases teóricas .....	25
2.2.1. Mototaxi.....	25
2.2.2. Partes del mototaxi.....	26
2.2.3. Sistema de transmisión .....	27
2.2.4. Transmisión por cadena .....	27
Cadena.....	28
Partes .....	28
Estructura de la cadena de potencia .....	29
2.2.5. Construcción de cadena .....	30
Engranajes .....	30
Relaciones importantes [45].....	31
Catalina.....	31
Piñón.....	31
2.2.6. Construcción de engranajes .....	32
Diámetro del círculo de paso.....	33
Diámetro del círculo de raíz.....	33
Diámetro del círculo exterior .....	33
Altura de los dientes.....	33

Radio del diente.....	33
Ángulo de contacto con el rodillo .....	33
Radio del perfil del diente .....	33
2.2.7. Análisis estático estructural .....	34
2.2.8. Análisis de fatiga .....	34
2.2.9. Análisis modal .....	34
2.2.10. Integridad estructural.....	35
2.2.12. Factores de falla en el sistema de transmisión .....	35
- Estriado .....	36
- Desgaste .....	37
- Picaduras .....	38
- Flujo plástico.....	38
- Rotura de dientes.....	38
- Desgaste .....	39
- Fatiga superficial.....	40
- Rotura.....	40
- Fallos de fabricación e instalación .....	40
- Calidad de materiales e inadecuada selección .....	40
- Tensión.....	40
- Picadura.....	40
2.2.13. Criterios de fatiga.....	41
2.2.14. Materiales compuestos .....	44
2.2.15. SolidWorks 2024.....	44
2.2.16. Granta Edupack.....	45
2.2.17. ANSYS Workbench .....	45
III. Materiales y métodos .....	46
Diseño metodológico.....	46
3.1. Formulación de hipótesis .....	46
3.2. Tipo y nivel de investigación .....	47
Tipo de investigación .....	47
Nivel de investigación.....	47
Población y muestra .....	47
3.3. Operación de variables.....	48
Variable independiente.....	48

Variable dependiente.....	49
3.4. Diagrama de flujo.....	51
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	52
3.6. Procedimientos de recolección de datos .....	52
3.7. Plan de procesamiento y análisis de datos .....	52
3.8. Matriz de consistencia.....	53
3.9. Métodos y técnicas de recolección.....	56
IV. Resultados y discusión .....	57
4.1 Diagnóstico del principal factor de falla que afecta la integridad del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo.....	57
4.2 Seleccionar el material adecuado para el aumento de la vida útil del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo.....	60
4.3 Simular el comportamiento del sistema de transmisión bajo diferentes escenarios de carga (estático estructural y fatiga) y según el principal factor de falla. ....	75
4.4 Comparar la vida útil del sistema de la transmisión con el material nuevo respecto al convencional.....	117
4.5 Elaborar un presupuesto para el sistema de transmisión con el nuevo material .....	120
V. Conclusiones .....	121
VI. Recomendaciones.....	122
Anexos.....	135

## Lista de Figuras

Figura 1: Mototaxi.....	26
Figura 2: Espejos retrovisores .....	26
Figura 3: Luces intermitentes .....	27
Figura 4: Llanta .....	27
Figura 5: Cadena del transportador de paso grande .....	28
Figura 6: Cadena de tipo RS60 .....	29
Figura 7: Construcción de la cadena SBR 500.....	30
Figura 8: Partes de un engranaje .....	31
Figura 9: Construcción del engranaje.....	32
Figura 10: Máximo y mínimo espacio del diente.....	33
Figura 11: Sección del diente .....	34
Figura 12: Modos de falla del engranaje .....	36
Figura 13: Diagrama S – Nc.....	41
Figura 14: Representación gráfica de la clasificación de tensiones .....	42
Figura 15: Parábola del criterio de Gerber .....	43
Figura 16: Venta e inmatriculación de Vehículos menores (Abril 2022 - Marzo 2024) .....	57
Figura 17: Sistema de transmisión al final de su vida útil (Catalina 37 T – Piñón 15 – Cadena 428H).....	59
Figura 18: Entorno del software CES EduPack 2020 .....	60
Figura 19: Data Base del software CES EduPack.....	60
Figura 20: Gráfica de Densidad vs Resistencia a la fatiga de todos los materiales .....	61
Figura 21: Gráfica de Límite elástico de todos los materiales .....	61
Figura 22: Gráfica de precio (S/. /kg= de todos los materiales menores a S/. 300 .....	62
Figura 23: AISI 4140 Normalized en CES EduPack .....	63
Figura 24: Material compuesto epoxy aramid fiber en CES EduPack.....	63
Figura 25: Agregar nuevo material a CES EduPack 2020 .....	63
Figura 26: Agregar nuevo material (AISI 5120) en CES EduPack 2020.....	64
Figura 27: Gráfica de Fatiga vs Densidad – Primer material .....	64
Figura 28: Opción Chart/Select.....	67
Figura 29: Selección de la Database y form.....	68
Figura 30: Aplicación de filtro .....	68
Figura 31:Gráfica de Fatiga vs Densidad - Segundo material .....	68
Figura 32: Gráfica de Fatiga vs Densidad - Con materiales seleccionados .....	69
Figura 33: Gráfica de límite de fluencia – Segundo material .....	70
Figura 34: Aumento en la zona superior de la gráfica Límite de fluencia .....	70
Figura 35: Límite de fluencia con los materiales seleccionados .....	71
Figura 36: Precio (S/. /kg).....	71
Figura 37: Precio de los materiales seleccionados .....	72
Figura 38: Resistencia a la compresión.....	72
Figura 39: Trimoto WX150-A .....	75
Figura 40: Sistema de arrastre (Piñón, Catalina, Cadena de rodillos y Contra eje).....	75
Figura 41: Sistema de arrastre del mototaxi WX 150 en el software SolidWorks.....	76
Figura 42: Sujeción en el piñón 15T - Software Ansys Workbench.....	78
Figura 43: Sujeción en la catalina 37T - Software Ansys Workbench .....	78
Figura 44: Sujeción en la catalina 42T - Software Ansys Workbench .....	79
Figura 45: Sujeción en cadena 428H - Software Ansys Workbench .....	79
Figura 46: Carga de 355,41N en el piñón 15T - Software Ansys Workbench .....	79
Figura 47: Carga de 362,34 N en la catalina 37T - Software Ansys Workbench .....	79
Figura 48: Carga de 362,34 N en la catalina 42T - Software Ansys Workbench .....	80

Figura 49: Carga de 1000 - 12000N en la cadena 428H - Software Ansys Workbench.....	80
Figura 50: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elemento .....	80
Figura 51: Calidad de elemento en el piñón 15T .....	80
Figura 52: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect Ratio .....	81
Figura 53: Aspect Ratio en piñón 15T .....	81
Figura 54: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness .....	81
Figura 55: Skewness en el piñón 15T .....	81
Figura 56: Mallado en el piñón 15T.....	82
Figura 57 : Esfuerzos (Pa) en el piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	82
Figura 58: Máximos esfuerzos en el diente del piñón – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up.....	83
Figura 59: Desplazamientos (m) en el piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up.....	83
Figura 60: Desplazamientos máximos en el diente del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	83
Figura 61: Deformaciones unitarias en el piñón 15T 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up.....	84
Figura 62: Deformaciones unitarias máximas en el piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	84
Figura 63: Factor de seguridad del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up.....	84
Figura 64: Vida del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up.....	85
Figura 65: Daño del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	85
Figura 66: Factor de seguridad en fatiga del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	85
Figura 67: Deformación total en el piñón 15T - 1/2" - Modo 1 – AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	87
Figura 68: Deformación total en el piñón 15T - 1/2" – Modo 7 – AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	87
Figura 69: Deformación total de en el piñón 15T - Modo 15 – AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	87
Figura 70 : Esfuerzos (Pa) en la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	88
Figura 71: Máximos esfuerzos en el diente de la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	88
Figura 72: Desplazamientos (m) en la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up.....	88
Figura 73: Desplazamientos máximos en el diente de la catalina 37T - 1/2" – Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	89
Figura 74: Deformaciones unitarias en la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	89
Figura 75: Deformaciones unitarias máximas en la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	89
Figura 76: Factor de seguridad de la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up.....	90

Figura 77: Vida de la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	90
Figura 78: Daño de la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	90
Figura 79: Factor de seguridad en fatiga de la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	91
Figura 80: Deformación total en la catalina 37T - Modo 1 – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	92
Figura 81: Deformación total en la catalina 37T - Modo 7 – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	93
Figura 82: Deformación total de la catalina 37T - Modo 15 - AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	93
Figura 83 : Esfuerzos (Pa) en la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up .....	93
Figura 84: Máximos esfuerzos en el diente de la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up.....	94
Figura 85: Desplazamientos (m) en la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up .....	94
Figura 86: Desplazamientos máximos en el diente de la catalina 42T - 1/2" – Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up .....	95
Figura 87: Deformaciones unitarias en la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up .....	95
Figura 88: Deformaciones unitarias máximas en la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up.....	95
Figura 89: Factor de seguridad de la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up .....	96
Figura 90: Vida de la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up.....	96
Figura 91: Daño de la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up.....	97
Figura 92: Factor de seguridad en fatiga de la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up.....	97
Figura 93: Deformación total en la catalina 42T - Modo 1 – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up .....	98
Figura 94: Deformación total en la catalina 42T - Modo 7 – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up .....	99
Figura 95: Deformación total de la catalina 42T - Modo 15 – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up .....	99
Figura 96 : Esfuerzos (MPa) en el piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed).....	104
Figura 97: Máximos esfuerzos en el diente del piñón – AISI M43 (high speed) .....	105
Figura 98: Desplazamientos (m) en el piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed).....	105
Figura 99: Deformaciones unitarias en el piñón 15T 1/2" – AISI M43 (high speed).....	105
Figura 100: Deformaciones unitarias máximas en el piñón – AISI M43 (high speed).....	106
Figura 101: Factor de seguridad del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed).....	106
Figura 102: Vida del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed).....	106
Figura 103: Daño del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed).....	107
Figura 104: Factor de seguridad en fatiga del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) ...	107
Figura 105: Deformación total en la cadena 428H - Modo 1 – AISI M43 (high speed) .....	108
Figura 106: Deformación total en la cadena 428H - Modo 7 – AISI M43 (high speed) .....	108
Figura 107: Deformación total de la catalina 42T - Modo 15 - AISI M43 (high speed).....	109

Figura 108: Roller link plate fracturado de la cadena 428H (Eslabón 1).....	140
Figura 109: Roller link plate fracturado de la cadena 428H (Eslabón 2).....	140
Figura 110: Roller link plate fracturado de la cadena 428H (Eslabón 3).....	141
Figura 111: Cadena de rodillos 428H, parte no doblada.....	141
Figura 112: Cadena 438H doblada (1) .....	141
Figura 113: Cadena 438H doblada (2) .....	141
Figura 114: Cadena 438H doblada (3) .....	142
Figura 115: Piñón 14T - 1/2" .....	142
Figura 116: Catalina 37T con dientes fracturados .....	143
Figura 117: Ubicación del material epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up en Densidad vs resistencia a la fatiga.....	143
Figura 118: Ubicación del material epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up en Límite elástico.....	143
Figura 119: Ubicación del material epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up en precio (S./kg) .....	143
Figura 120: Información general y composición del material epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up.....	144
Figura 121: Composición detallada, precio, propiedades físicas, mecánicas, térmicas, eléctricas, impacto y fractura del material epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	144
Figura 122: Propiedades magnéticas, acústicas, permeabilidad, durabilidad, reciclaje, entre otras características del material epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up .....	145
Figura 123: Catálogo de la cadena 428 H o SBS-500M .....	147
Figura 125: Piñón 15T - 1/2" .....	147
Figura 124: Piñón 15T - 1/2" .....	147
Figura 126: Piñón en SolidWorks con características de tabla 25 .....	147
Figura 127: Catalina 35T - 1/2" .....	148
Figura 128: Catalina 37T en SolidWorks con características de tabla 26.....	148
Figura 130: Catalina 42T - 1/2" .....	149
Figura 129: Catalina 42T - 1/2" .....	149
Figura 131: Catalina 42T en SolidWorks con características de tabla 27.....	149
Figura 132: Cadena SBR 500.....	149
Figura 133: Cadena 428H en SolidWorks con características de tabla 28.....	150
Figura 134: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elemento – Catalina 37T .....	150
Figura 135: Calidad de elemento en la catalina 37T .....	150
Figura 136: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect Ratio ...	151
Figura 137: Aspect Ratio en la catalina 37T .....	151
Figura 138: Skewness en la catalina 37T .....	151
Figura 139: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness .....	151
Figura 140: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elemento – Catalina 42T .....	152
Figura 141: Calidad de elemento en la catalina 42T .....	152
Figura 142: Aspect Ratio en la catalina 42T .....	152
Figura 143: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect Ratio – Catalina 42T .....	153
Figura 144: Skewness en la catalina 42T .....	153
Figura 145: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness .....	153
Figura 146: Calidad de elemento en la cadena 428H.....	153

Figura 147: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elemento - Cadena 428H.....	153
Figura 148: Aspect Ratio en la cadena 428H.....	154
Figura 149: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect Ratio – Cadena 428H.....	154
Figura 150: Calidad de elemento en la cadena 428H.....	154
Figura 151: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness .....	154
Figura 152: Mallado en la catalina 37T .....	155
Figura 153: Mallado en la catalina 42T .....	156
Figura 154: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elemento - Piñón 15T.....	157
Figura 155: Calidad de elemento en el piñón 15T .....	157
Figura 156: Aspect Ratio en el piñón 15T .....	158
Figura 157: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect Ratio - Piñón 15T .....	158
Figura 158: Skewness en el piñón 15T .....	158
Figura 159: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness .....	158
Figura 160: Calidad de elemento en la catalina 37T.....	158
Figura 161: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elemento - Catalina 37T.....	159
Figura 162: Aspect Ratio en la catalina 37T .....	159
Figura 163: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect ratio - Catalina 37T.....	159
Figura 164: Skewness en la catalina 37T .....	159
Figura 165: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness - Catalina 37T .....	160
Figura 166: Calidad de elemento en la catalina 42T.....	160
Figura 167: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elementos - Catalina 42T.....	160
Figura 168: Aspect Ratio en la catalina 42T .....	161
Figura 169: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect Ratio - Catalina 42T.....	161
Figura 170: Skewness en la catalina 37T.....	161
Figura 171: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness - Catalina 42T .....	161
Figura 172: Calidad de elemento en la cadena 428H.....	162
Figura 173: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elemento - Cadena 428H.....	162
Figura 174: Aspect Ratio en la cadena 428H.....	162
Figura 175: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect Ratio - Cadena 428H.....	162
Figura 176: Skewness en la cadena 428H.....	162
Figura 177: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness - Cadena 428H.....	163
Figura 178 : Esfuerzos (Pa) en el piñón 15T - 1/2" – AISI 1045.....	165
Figura 179: Máximos esfuerzos en el diente del piñón 15T - 1/2" – AISI 1045 .....	165
Figura 180: Desplazamientos (m) en el piñón 15T - 1/2" – AISI 1045 .....	165
Figura 181: Desplazamientos máximos en el diente del piñón – AISI 1045 .....	166
Figura 182: Deformaciones unitarias en el piñón 15T 1/2" – AISI 1045 .....	166
Figura 183: Deformaciones unitarias máximas en el piñón – AISI 1045 .....	166

Figura 184: Factor de seguridad del piñón 15T - 1/2" – AISI 1045 .....	167
Figura 185: Factor de seguridad mínimo del piñón 15T - 1/2" – AISI 1045 .....	167
Figura 186: Vida del piñón 15T - 1/2" – AISI 1045 .....	167
Figura 187: Daño del piñón 15T - 1/2" – AISI 1045 .....	168
Figura 188: Factor de seguridad en fatiga del piñón 15T - 1/2" – AISI 1045.....	168
Figura 189: Factor de seguridad mínimo en fatiga del piñón 15T - 1/2" – AISI 1045 .....	168
Figura 190: Deformación total en el piñón 15T - Modo 1 – AISI 1045 .....	169
Figura 191: Deformación total en el piñón 15T – Modo 7 – AISI 1045.....	169
Figura 192: Deformación total de en el piñón 15T - Modo 15 – AISI 1045 .....	169
Figura 193 : Esfuerzos (Pa) en la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045.....	170
Figura 194: Máximos esfuerzos en el diente de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045 .....	170
Figura 195: Desplazamientos (m) en la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045.....	171
Figura 196: Desplazamientos máximos en el diente de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045..	171
Figura 197: Deformaciones unitarias en la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045.....	171
Figura 198: Deformaciones unitarias máximas en la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045 .....	172
Figura 199: Factor de seguridad de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045 .....	172
Figura 200: Factor de seguridad mínimo en fatiga de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045 ...	172
Figura 201: Vida de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045 .....	173
Figura 202: Daño de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045 .....	173
Figura 203: Factor de seguridad en fatiga de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045 .....	173
Figura 204: Mínimo factor de seguridad en fatiga de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045 ...	174
Figura 205: Deformación total en la catalina 37T - Modo 1 – AISI 1045 .....	174
Figura 206: Deformación total en la catalina 37T - Modo 7 – AISI 1045 .....	174
Figura 207: Deformación total de la catalina 37T - Modo 15 - AISI 1045.....	175
Figura 208 : Esfuerzos (Pa) en la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045.....	175
Figura 209: Máximos esfuerzos en el diente de la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045 .....	175
Figura 210: Desplazamientos (m) en la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045.....	175
Figura 211: Desplazamientos máximos en el diente de la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045..	176
Figura 212: Deformaciones unitarias en la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045.....	176
Figura 213: Deformaciones unitarias máximas en la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045 .....	177
Figura 214: Factor de seguridad de la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045 .....	177
Figura 215: Vida de la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045 .....	177
Figura 216: Daño de la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045 .....	177
Figura 217: Factor de seguridad en fatiga de la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045 .....	178
Figura 218: Mínimo factor de seguridad en fatiga de la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045 ...	178
Figura 219: Deformación total en la catalina 42T - Modo 1 – AISI 1045 .....	178
Figura 220: Deformación total en la catalina 42T - Modo 7 – AISI 1045 .....	179
Figura 221: Deformación total de la catalina 42T - Modo 15 – AISI 1045 .....	179
Figura 222 : Esfuerzos (Pa) en la cadena 428H – AISI 304 .....	179
Figura 223: Máximos esfuerzos en la cadena 428H – AISI 304.....	180
Figura 224: Desplazamientos (mm) en la cadena 428H – AISI 304.....	180
Figura 225: Deformaciones unitarias en la cadena 428H – AISI 304.....	180
Figura 226: Deformaciones unitarias máximas en la cadena 428H – AISI 304 .....	181
Figura 227: Factor de seguridad de la cadena 428H – AISI 304 .....	181
Figura 228: Vida de la cadena 428H – AISI 304 .....	181
Figura 229: Daño de la cadena 428H – AISI 304 .....	182
Figura 230: Factor de seguridad en fatiga de la cadena 428H – AISI 304 .....	182
Figura 231: Factor de seguridad mínimo en fatiga de la cadena 428H – AISI 304 .....	183
Figura 232: Deformación total en la cadena 428H - Modo 1 – AISI 304.....	183
Figura 233: Deformación total en la catalina 42T - Modo 7 – AISI 304.....	183

Figura 234: Deformación total de la catalina 42T - Modo 15 - AISI 304.....	184
--	-----

### Lista de Gráficas

Gráfico 1: Esfuerzos mínimos, medio y máximos de los engranajes.....	102
Gráfico 2: Desplazamientos mínimos, medio y máximos de los engranajes .....	102
Gráfico 3: Deformaciones unitarias, medio y máximos de los engranajes .....	103
Gráfico 4: Factor de seguridad mínimo y máximo de los engranajes .....	104
Gráfico 5: Esfuerzos en la cadena 428H .....	112
Gráfico 6:Desplazamientos en la cadena 428H.....	112
Gráfico 7: Deformaciones unitarias vs Fuerza .....	113
Gráfico 8: Factor de seguridad de la cadena 428H .....	113
Gráfico 9: Frecuencia natural vs Modos de vibración del piñón 15T con los diferentes materiales .....	114
Gráfico 10: Frecuencia natural vs Modos de vibración de la catalina 37T con los diferentes materiales .....	114
Gráfico 11: Frecuencia natural vs Modos de vibración de la catalina 42T con los diferentes materiales .....	115
Gráfico 12: Frecuencia natural vs Modos de vibración de la cadena 428H con los diferentes materiales .....	116
Gráfico 13: Factor de seguridad en fatiga .....	117
Gráfico 14: Factor de seguridad en fatiga de la cadena 428H .....	118
Gráfico 15: Ciclos de vida vs Carga en la cadena 428H.....	119
Gráfico 16: Días por semana dedicado al servicio de mototaxi.....	137
Gráfico 17: Fallas comunes en el sistema de transmisión.....	137
Gráfico 18: Factores urbanos que afectan la integridad del sistema de transmisión (Sí o No) .....	137
Gráfico 19: Tipos de factores que afectan la integridad del sistema de transmisión .....	138
Gráfico 20: Frecuencia con la que realiza mantenimiento (días).....	138
Gráfico 21: Marcas de mototaxis en Chiclayo .....	138
Gráfico 22: Accesibilidad de repuestos para el sistema de transmisión del mototaxi (Sí o No) .....	139
Gráfico 23: Calidad de los repuestos.....	139
Gráfico 24: Costo promedio por reparación.....	139

### Lista de Tablas

Tabla 1: Registro de motocicletas por departamento 2016 - 2021 en Lambayeque .....	57
Tabla 2: Escala de evaluación de conceptos .....	64
Tabla 3: Propiedades de los materiales - 1 .....	65
Tabla 4: Matriz ponderada para la selección del nuevo material -1.....	66
Tabla 5: Propiedades de los materiales – 2 .....	73
Tabla 6: Matriz ponderada para la selección del nuevo material– 2.....	74
Tabla 7: Características de la Trimoto WX150 – A.....	75
Tabla 8: Cargas para engranaje aplicadas en la simulación .....	78
Tabla 9: Fuerza aplicada en la cadena 428H.....	78
Tabla 10: Datos de mallado para la simulación del piñón 15T - 1/2" .....	81
Tabla 11: Particiones de masa del piñón 15T .....	86
Tabla 12: Particiones de masa de la catalina 37T .....	92
Tabla 13: Particiones de masa de la catalina 42T .....	98
Tabla 14: Resultados del análisis estático estructural de los engranajes con diferentes cargas con el material AISI 1045 .....	100

Tabla 15: Resultados del análisis de fatiga de los engranajes con diferentes cargas con el material AISI 1045 .....	100
Tabla 16: Resultados del análisis estático estructural de los engranajes con diferentes cargas con los materiales AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up .....	101
Tabla 17: Resultados del análisis de fatiga de los engranajes con diferentes cargas con el material AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up.....	101
Tabla 18: Particiones de masa de la cadena 428H con AISI M43 .....	107
Tabla 19: Resultados del análisis estático estructural de la cadena 428H con diferentes cargas con el material AISI 304 .....	109
Tabla 20: Resultados del análisis de fatiga de la cadena 428H con diferentes cargas con el material AISI 304 .....	110
Tabla 21: Resultados del análisis estático estructural de la cadena 428H con diferentes cargas con el material AISI M43 (high speed).....	111
Tabla 22: Resultados del análisis de fatiga de la cadena 428H con diferentes cargas con el material AISI M43 (High Speed) .....	111
Tabla 23: Resumen de materiales.....	120
Tabla 24: Masa de cada componente utilizado según el material .....	120
Tabla 25: Costo total de los materiales .....	120
Tabla 26: Presupuesto total del sistema de arrastre.....	121
Tabla 27: Medidas del Piñón 37T – 1/2" en mm .....	147
Tabla 28: Medidas de la Catalina 37T – 1/2" en mm.....	148
Tabla 29: Medidas del Piñón 37T – 1/2" en mm .....	149
Tabla 30: Medidas de la cadena SBR 500 en mm.....	150
Tabla 31: Datos de mallado para la simulación de la catalina 37T - 1/2" .....	155
Tabla 32: Datos de mallado para la simulación de la catalina 42T - 1/2".....	156
Tabla 33: Datos de mallado para la simulación de la cadena 428H.....	156
Tabla 34: Mallado de la cadena 428H.....	157
Tabla 35: Mallado para el análisis modal del piñón 15T .....	163
Tabla 36: Mallado para el análisis modal de la catalina 37T .....	163
Tabla 37: Mallado para el análisis modal de la catalina 42T .....	164
Tabla 38: Datos de mallado para el análisis modal de la cadena 428H .....	164
Tabla 39: Modos y frecuencias de cada material - piñón 15T .....	184
Tabla 40: Modos y frecuencias de cada material – Catalina 37T .....	184
Tabla 41: Modos y frecuencias de cada material – catalina 42T .....	185
Tabla 42: Modos y frecuencias de cada material – cadena 428H .....	186

## Resumen

Mototaxistas a menudo acuden a talleres mecánicos para revisar sus vehículos, concentrándose en el sistema de transmisión, esto implica gastos en tiempo y dinero en repuestos que podrían ser recurrentes. Dado que la mayoría de estos vehículos se fabrican en el extranjero bajo condiciones rigurosas, y considerando que Perú tiene una infraestructura vial deficiente, el sistema de transmisión puede fallar debido a que no opera en las condiciones para las que fue diseñado. Identificar la pieza principal que falla podría ser crucial para mejorar la seguridad, reducir el mantenimiento y minimizar el impacto ambiental. Por tanto, la presente tesis tiene como objetivo analizar mediante fatiga y vibración el sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo para aumentar su vida útil. Para ello, primero se diagnosticó el principal factor de falla que afecta la integridad del sistema de transmisión mediante entrevistas, este fue la fractura en la cadena y en los engranajes fue el desgaste de los dientes, luego se seleccionaron los materiales para cada pieza utilizando el software Granta Edupack y matrices ponderadas, después se simuló el comportamiento del sistema de transmisión bajo diferentes escenarios de carga en ANSYS Workbench, obteniendo estos valores (esfuerzos, desplazamientos, deformaciones unitarias, factor de seguridad, vida, daño, frecuencia natural y desplazamiento total) se compararon los materiales convencionales con los nuevos, teniendo como mejores el AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber, y finalmente se elaboró un presupuesto de todo el sistema de transmisión, teniendo un valor de S/. 1316,86.

**Palabras clave:** Mototaxi, Sistema de transmisión, Mejora del material, Vida útil.

## Abstract

Mototaxi drivers frequently take their vehicles to repair shops for maintenance, often focusing on the transmission system. This results in recurrent costs in both time and money for replacement parts. Considering that most of these vehicles are manufactured abroad under rigorous conditions, and given Peru's deficient road infrastructure, the transmission system is prone to failure because it does not operate in the conditions for which it was designed. Identifying the specific part that fails could be crucial for improving vehicle safety, reducing maintenance costs, and minimizing environmental impact. Therefore, this thesis aims to analyze the transmission system of urban mototaxis in Chiclayo using fatigue and vibration analysis to increase its service life. To achieve this, the primary cause of failure affecting the integrity of the transmission system was first diagnosed through interviews. It was found that fracture occurred in the chain, while the gears experienced tooth wear. Subsequently, materials for each component were selected using Granta Edupack software and weighted matrices. The behavior of the transmission system under different load scenarios was then simulated in ANSYS Workbench. Based on the obtained values (stress, displacement, strain, safety factor, life, damage, natural frequency, and total deformation), conventional materials were compared with new alternatives. The best materials identified were AISI M43 (High Speed) and Epoxy HS carbon fiber. Finally, a budget for the entire transmission system was prepared, totaling S/. 1316.86.

**Keywords:** Mototaxi, Transmission system, Material improvement, Useful life.

## I. Introducción

En la actualidad, los mototaxis son vehículos de transporte utilizados con gran frecuencia en muchas partes del mundo, principalmente en países en desarrollo debido al bajo costo y disponibilidad [1]. Por ejemplo, en algunos países de Latinoamérica como Bolivia, Guatemala y Perú, su presencia es significativa. En Perú, el número de este tipo de vehículos ha ido aumentando gradualmente, pues en el año 2017 existían un total de 120 552 unidades, cifra que se elevó a 284 628 para el año 2020 [2] [3] [4]. En otras partes del mundo, como China y Tailandia, la mayoría de los automóviles están siendo reemplazados por mototaxis como medio de transporte preferido [5]. En Asia, la India es el país donde abunda este vehículo, porque, a nivel mundial tres cuartas partes de ellos operan en aquí. Asimismo, en África, países como Kenia y Egipto han reemplazado a su principal medio de transporte por las mototaxis [6] [7] [8] [9] [10] [11]. Esta realidad, evidencia la importancia progresiva que se ha desarrollado en diferentes regiones del mundo como una alternativa de movilidad popular y accesible.

Por lo tanto, el uso de los mototaxis es fundamental en dichos lugares, por lo que estas deben tener un mantenimiento correcto, es decir utilizar aceites que recomienden los fabricantes o los especialistas, no utilizar aceites adulterados o de bajo coste, pues estos afectan negativamente a las piezas. También se debe tener en cuenta que debe evitar la compra de piezas que necesiten reparación, no autorizadas o de no calidad [12], esto último generaría invertir más tiempo y dinero de lo previsto.

Por otra parte, estos vehículos son diseñados para operar en determinadas estructuras viales. Por ejemplo, los mototaxis pasan por pruebas de velocidad, ensamblaje, prueba de aceite y finalmente son manejadas sobre pistas planas, sin ningún obstáculo o deformidad en el suelo, esto garantiza la seguridad que existe al manejarlas sobre esas condiciones. En cambio, al exportarlas y llegar los países en desarrollo, se enfrentan a dificultades para las que no están diseñadas [13], como ejemplo, las estructuras viales en mal estado.

Asimismo, un dato importante a resaltar es la lista de peores y mejores infraestructuras viales en el mundo que, según el estudio realizado en el año 2023, primero se presentan los mejores países con infraestructura vial, en los cinco primeros puestos está Japón, Países bajos, Noruega, Estonia y Suecia [14] [15]. Mientras que en el top cinco de peores infraestructuras, en el puesto uno se encuentra Tailandia, seguido de Perú [16], Líbano, India y Malasia [17]. Esto último genera riesgos, tanto como para el conductor como para los pasajeros [18] pues origina fallas en el sistema de transmisión (cadena y engranes). Por ejemplo, en Sir Lanka, los mototaxis (tuk-tuks) son un medio de transporte usado frecuentemente, y no se tiene certeza que este funcione

correctamente. Cabe resaltar que los riesgos que se presentan en este vehículo, no solo se relacionan con los materiales que son usados para su fabricación, pues no garantiza la seguridad y ocasiona accidentes. Si no también el análisis básico que se le realiza a los mismos [19].

Por todo lo mencionado anteriormente, la presente tesis tiene como objetivo realizar un diagnóstico general del sistema de transmisión de las mototaxis en la ciudad de Chiclayo utilizando el criterio de la integridad estructural, con el propósito de detectar la (s) piezas críticas que ocasionan un desgaste prematuro al sistema de transmisión, mientras que, a fin de seleccionar el material, se utilizará el software Granta Edupack para, posteriormente, realizar la geometría en SolidWorks y simular la pieza en el programa ANSYS Workbench.

## Planteamiento del problema

Diariamente, gran cantidad de mototaxistas visitan talleres mecánicos para reparar o inspeccionar sus vehículos, siendo el sistema de transmisión el más observado, invirtiendo tiempo y dinero en la compra de repuestos o nuevas piezas que — sin tener aún un estudio al respecto — podrían llegar a ser siempre las mismas. Además, estos vehículos, son en su mayoría fabricados en países extranjeros, pasando por rigurosas pruebas, asegurándose su seguridad y estabilidad. Mientras tanto, como resalta World Economic Forum, Perú tiene una de las peores infraestructuras viales a nivel mundial, generando que este sistema presente fallas debido a la no operación en condiciones para las cuales fue diseñado. De allí, identificar la principal pieza defectuosa en la transmisión de estos vehículos sería un aporte relevante. Esto no solo evitaría exponer a los conductores y pasajeros a accidente, sino también permitirá la búsqueda de un material de fabricación que asegure un periodo de vida útil mayor, reduciendo la necesidad de mantenimientos frecuentes, compra de repuestos y la generación de desperdicios, evitando el impacto ambiental negativo que a día de hoy se genera.

De esta manera, en esta tesis se realizará un diagnóstico general del sistema de transmisión de las mototaxis en la ciudad de Chiclayo utilizando el criterio de la integridad estructural, con el propósito de detectar la (s) piezas críticas que ocasionan un desgaste prematuro al sistema de transmisión, mientras que, a fin de seleccionar el material, se utilizará el software Granta Edupack para, posteriormente, realizar la geometría en SolidWorks 2024 y simular la pieza en el programa ANSYS Workbench.

De este modo surge la siguiente pregunta de investigación: **¿Será posible aumentar la vida útil del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo mediante el análisis de fatiga y vibración?**

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- Analizar mediante fatiga y vibración el sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo para aumentar su vida útil.

### **Objetivos específicos**

- Diagnosticar el principal factor de falla que afecta la integridad del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo.
- Seleccionar el material adecuado para el aumento de la vida útil del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo.
- Simular el comportamiento del sistema de transmisión bajo diferentes escenarios de carga (fatiga y vibración) y según el principal factor de falla.
- Comparar la vida útil del sistema de la transmisión con el material nuevo respecto al convencional.
- Elaborar un presupuesto para el sistema de transmisión con el nuevo material.

## **Justificación**

### **Social**

El análisis de fatiga y frecuencial del sistema de transmisión de los mototaxis es muy importante debido a que los trimotos son un medio de transporte fundamental en diferentes lugares, como por ejemplo en zonas urbanas. Por lo tanto, garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de estos vehículos son vitales para la movilidad de las personas. Esto protege a los conductores y pasajeros de posibles accidentes y asegura la continuidad de un servicio esencial para el bienestar y la economía local.

### **Económico**

Los conductores invierten dinero en la compra de repuestos o nuevas piezas que — sin tener aún un estudio previo — podrían llegar a ser siempre las mismas. Por ende, encontrar un nuevo material que asegure mayor vida útil en el sistema de transmisión, sería una alternativa económica pues se reduciría la constante compra de repuestos.

### **Tecnológico**

La investigación sobre el análisis de fatiga y vibración del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo busca aplicar tecnologías las que permiten mejorar la resistencia y durabilidad de estos componentes. Al aumentar la vida útil de la transmisión, se

pretende disminuir el tiempo de inactividad, los costos de mantenimiento y mejorar la seguridad vial.

### **Ambiental**

Mediante la identificación de la principal pieza defectuosa del sistema de transmisión, permitirá la búsqueda de un material de fabricación que asegure un periodo de vida útil mayor, reduciendo así la compra de repuestos, que en su mayoría de veces son de no calidad, y la generación de desperdicios, mitigando el impacto ambiental negativo que hoy en día se genera.

## II. Revisión literaria

### 2.1. Antecedentes

Según Vaibhav y Tawade [20], en su artículo Causas y remedios de los fallos en los engranajes de la transmisión, menciona que los engranajes se diseñan de acuerdo con las entradas de diseño requeridas, se simulan y se analizan mediante métodos de prueba. Como resultado obtuvieron que estos fallan por estriado, desgaste, picaduras, flujo plástico y rotura de dientes, cada uno de estos fallos presentan niveles y variantes. Además, indican en el estudio como se causan y sus posibles soluciones a estos problemas.

En la investigación de Piotr Sokolski [21] titulada análisis de la influencia del desgaste de la cadena de transmisión sobre la tensión en sus elementos, menciona que las uniones de pasadores en las transmisiones por cadena son zonas de concentración de tensiones, lo que puede provocar la formación de grietas en los eslabones. Este proceso a menudo contribuye a un debilitamiento crítico de la sección transversal de los eslabones, lo que resulta en daños y puede provocar el fallo de todo el accionamiento. Por lo tanto, evaluó el impacto de la carga, el tamaño de la grieta y su ubicación en el nivel de aumento de la tensión. Se identificó la ubicación de las grietas en las orejetas de los eslabones de transmisión de las placas de la cadena que conducen al aumento más significativo en el nivel de tensión.

Como menciona Mendes [22], en su investigación Análisis de integridad estructural de un TukTuk, menciona que el tuk tuk se mueve gracias al eje de transmisión trasero. Esta zona presentará problemas, en los semiejes y en los engranajes del diferencial. Por lo tanto, se estudió los problemas en los componentes ya mencionados anteriormente. De igual manera, los modos de fallos de los semiejes, mediante una inspección visual y un análisis fractográfico, se utilizó SEM, análisis metalográfico, análisis de composición química y ensayos de tracción y dureza. Obteniendo como resultados lo siguiente, iniciando con la inspección visual de la superficie de fractura del semieje izquierdo del diferencial, se obtuvo un resultado de fatiga por flexión y torsión. El semieje derecho presentó fatiga por flexión. Luego, con respecto a los engranajes, al someterlos a pruebas de dureza se identificó que fallaron por sobrecarga, deformación plástica, desgaste abrasivo y corrosión en la mayoría de los dientes.

En el artículo Análisis de integridad estructural de la estructura de transmisión en un microvehículo aéreo de alas batientes mediante impresión 3D [23], los autores mencionan que la alta frecuencia de aleteo requiere una estricta integridad de resistencia y longevidad a la fatiga de la estructura debido a que es la principal razón del fallo estructural de FMAV (microvehículo aéreo de alas batientes). Por ende, realizaron esfuerzos experimentales y de cálculo numérico

para obtener una comprensión profunda del mecanismo de falla de la estructura de transmisión de FMAV. Además, fabricaron una estructura FMAV mediante impresión 3D. Establecieron y verificaron mediante experimentos un modelo de cálculo numérico que describe el comportamiento mecánico de la estructura. Describieron la respuesta dinámica de la estructura de transmisión sujeta a movimientos de inversión de alta frecuencia. Finalmente, un estudio paramétrico de diseño junto con diferentes condiciones límite con miras a futuras pruebas en tierra para descubrir las influencias que rigen la integridad de la estructura de transmisión. Obteniendo como resultados, que el factor dominante para la falla era la deformación excesiva por flexión. Se muestra que el  $\sigma$  máximo es 45,85 MPa, cerca del límite de resistencia, también el estado máximo de deformación de la biela en la dirección Y. La biela se deformó en la dirección Y de 1,7 mm, lo que indica que la biela no solo está sometida a una fuerza de tracción axial sino también a una fuerza en la dirección Y que actúa sobre el orificio en contacto con el marco de soporte.

La investigación realizada por Solazzi, Bertoli y Ghidini [24], titulada Estudio estático y dinámico de la transmisión de vehículos industriales con materiales compuestos, buscó el aligeramiento de la transmisión de un vehículo industrial mediante la utilización de materiales compuestos. En primer lugar, abordó numéricamente definiendo un modelo en profundidad con parámetros globales que abarcaba todos los elementos de la transmisión con sus respectivos rendimientos. Después, realizaron análisis numéricos para confirmar los resultados obtenidos analíticamente. Además, las dimensiones de los árboles de transmisión se eligieron teniendo en cuenta tres variables que afectan al comportamiento estático y dinámico de la transmisión. Estas son la rigidez, el coeficiente de seguridad estática y a fatiga, las frecuencias propias y la carga de pandeo torsional para obtener un componente, diseñado con los nuevos materiales con las mismas prestaciones que el fabricado en acero. Los resultados que obtuvieron muestran que la utilización de árboles de transmisión fabricados con materiales compuestos (en particular, fibras de carbono) supone un ahorro de peso final de hasta el 30 % en comparación con componentes idénticos fabricados en acero con el mismo rendimiento estático y dinámico.

La investigación realizada por Durgam y Waghmare [25], titulada Análisis estructural y modal de cadena de rodillos, buscó la carga segura y sostenibilidad de diferentes materiales, pero con el uso de Análisis de elementos finitos (FEA). Realizaron los dos tipos de análisis con el software ANSYS Workbench, los materiales seleccionados fueron el acero inoxidable 304 por su alta corrosión y resistencia, el otro material fue el acero inoxidable 316, pues son los más utilizados en las cadenas de rodillos. Sus resultados fueron que la deformación total y la tensión elástica es mayor en el material 304 que en el 316. Esto también sucede con el factor de

seguridad, el más alto es del 304 que el 316. Por ende, concluyeron que el mejor material para las cadenas de rodillos de este tipo es el AISI 304.

En la investigación realizada por Kumar J, Kumar S y Mukanavar [26], tuvieron como objetivo el de estudiar la modificación del perfil del diente del engranaje recto, para ello utilizaron el análisis modal, y observaron el comportamiento vibratorio mediante el uso del método de elementos finitos y el programa ANSYS v.17. Como resultados, tienen que el nuevo engranaje modificado según el factor propuesto en su investigación presenta que el comportamiento es mejor ante las vibraciones que uno estándar.

Finalmente, en la investigación de Syam, Badri, Sassi y Renno [27], con el uso del análisis de elementos finitos y simulaciones realizó diversos análisis modales de un engranaje recto en buenas condiciones frente al mismo engranaje con una pequeña fisura (0,2mm) en el diente del engranaje y esta grieta posee diferentes ángulos, entonces dependiendo de cuál sea el ángulo la frecuencia del engranaje irá disminuyendo. Esto es debido al cambio de rigidez que presenta la pieza. En un caso específico, la frecuencia aumentó, debido a que la grieta se colocó en el borde del diente, por ende, indica que se debe tener cuidado con este tipo de fisuras.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Mototaxi**

Los mototaxis, también conocidas como auto-rickshaw, tuk-tuks o tuc-tucs en diferentes partes del mundo. Son vehículos que poseen tres ruedas, dando origen a su definición, triciclo motorizado [28]. En ellos, la capacidad de asientos de los usuarios varía entre 5 y 10, dependiendo de la zona donde se han adaptado. Los auto-rickshaws, por lo general, en tipo de transporte urbano, poseen motores de 2 o 4 tiempos de baja potencia. Debido a que pueden transportar a dos o tres adultos, además del conductor del auto [29].

Por otra parte, estos vehículos físicamente tienen un bastidor cubierto por una tela de lona o plástico. Con respecto a las operaciones mecánicas, las tuk-tuks tienen un control tipo motocicleta [29].

*Figura 1: Mototaxi*



*Fuente: Motos Wanxin*

### **2.2.2. Partes del mototaxi**

Por lo general, las partes de los mototaxis son las siguientes [30]:

- Espejos retrovisores: Estos son dispositivos que permiten la visualización de vehículos, objetos y peatones que se encuentran detrás del mototaxi. Cabe resaltar, que son de uso obligatorio, pues evitan el peligro cuando el conductor mira hacia atrás o hacia los lados [31].

*Figura 2: Espejos retrovisores*



*Fuente: Shanghai Mainbon Industry Co.*

- Luces intermitentes: Son las encargadas de garantizar la seguridad. Esto se debe a que ayudan a evitar accidentes porque permiten la comunicación entre vehículos, mediante esta luz se anticipan movimientos, es decir hacia donde gira, cambio de dirección o adelantamiento del mototaxi [32].

*Figura 3: Luces intermitentes*



*Fuente: MercadoLibre*

- Llantas: Conformado por neumático, embellecedor y disco de rueda. Estas son las encargadas de contribuir a la estabilidad de la trayectoria del vehículo. Además, estas deben soportar la carga del mototaxi y sus pasajeros junto con el conductor [33].

*Figura 4: Llanta*



*Fuente: Motos Wanxin*

- Entre otros componentes como amortiguadores, claxon, faros, cobertor, puertas, asientos, parrilla, trapecio, juego de arrastre, embrague, switch, tablero, freno, acelerador, arrancador automático, motor, descansador, pedal de cambio, cadenas, tubo de escape, pedal de arranque y batería [30].

### **2.2.3. Sistema de transmisión**

Las trimotos para poder moverse debe transmitir la potencia producida por el motor a las ruedas. Todo esto sucede gracias al sistema de transmisión que llevan equipado, este sistema está conformado por diferentes mecanismos y piezas dependiendo de qué tipo de sistema posea el mototaxi [34] [35]. En este caso, en el año 2022 en Perú, la marca de motos más vendida es Honda seguida de Wanxin [36]. Por lo tanto, el sistema de transmisión a analizar es tipo por cadena.

### **2.2.4. Transmisión por cadena**

Este tipo de sistema, como su nombre lo dice está conformado por una cadena y engranajes [34]. Este tipo de transmisión presenta debilidades en su mantenimiento, que frecuentemente

representa uno de los principales inconvenientes en comparación con sus competidores. Sin embargo, su fortaleza se centra en la facilidad de reemplazo de sus elementos (cadena, piñón y corona).

Por lo tanto, primero se debe conocer que es una cadena.

## Cadena

Es una pieza fiable que compone una máquina, esta es la encargada de transmitir potencia mediante fuerzas de tracción. Es utilizada para transmisión de potencia y sistemas transporte. Existen diferentes tipos de cadenas, se pueden clasificar según su material o método de construcción [37] [38]. Entre estas tenemos:

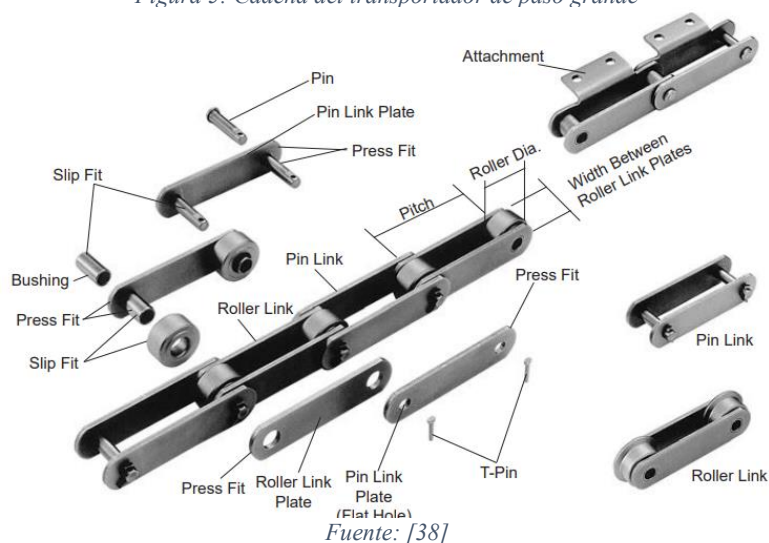
- Cadena de hierro fundido: Utilizada en equipos de tratamiento de agua.
- Cadena de acero fundido.
- Cadena forjada: Utilizada en transportadores aéreos para automóviles.
- Cadena de acero.
- Cadena de plástico.

También se pueden clasificar por su uso. Entre estas tenemos [38]:

- Cadena de transmisión de potencia: Utilizada para transmitir energía.
- Cadena transportadora de paso pequeño: Utilizada para transporte, al igual que las siguientes.
- Cadena transportadora de precisión.
- Cadena superior.
- Cadena de flujo libre.
- Cadena transportadora de paso grande.

## Partes

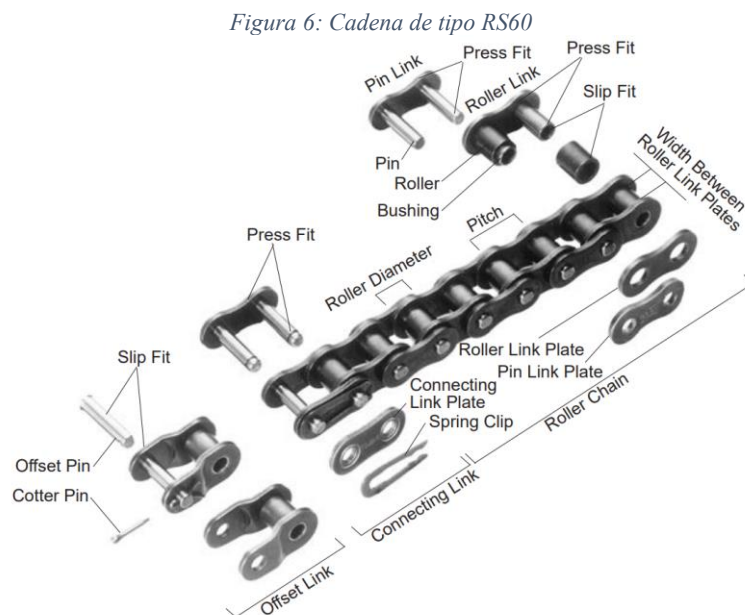
*Figura 5: Cadena del transportador de paso grande*



- Placa (plate): Encargado de soportar la tensión en la cadena, carga repetitiva y algunas veces acompañada de un choque. Debe tener resistencia a la tracción estática y fuerzas dinámicas de carga y choque [38].
- Bulón (pin): Debe soportar fuerzas de cizallamiento y flexión generadas por la placa. Por lo tanto, tiene que ser resistente a la tracción, flexión, golpes, desgaste y al corte [38].
- Casquillo: Esta parte debe soportar tensiones de cizallamiento y flexión generadas por las dos partes anterior mencionadas. Además, de las cargas de choque que son ocasionas por el piñón [38].
- Rodillo (roller): Debe soportar al impacto de los dientes del piñón, cargas de compresión, al desgaste y fatiga [38].
- Pasador de chaveta (cotter pin) [38].
- Clip de resorte (spring clip) [38].
- Pasador en T (T-pin) [38].

### Estructura de la cadena de potencia

La cadena RS60 tiene una unión tipo normal que facilita el ensamblaje debido a que tiene ajuste deslizante. Además, el uso de esta unión reduce en un veinte por ciento la resistencia por fatiga. Luego se tiene unión tipo ajustable, este es adecuados para presión, teniendo una resistencia a la fatiga similar a la cadena misma. Por último, se tiene al acotado que se utiliza cuando se quiere un número impar de enlaces de cadena. Posee un treinta y cinco menos de resistencia a la fatiga [38].

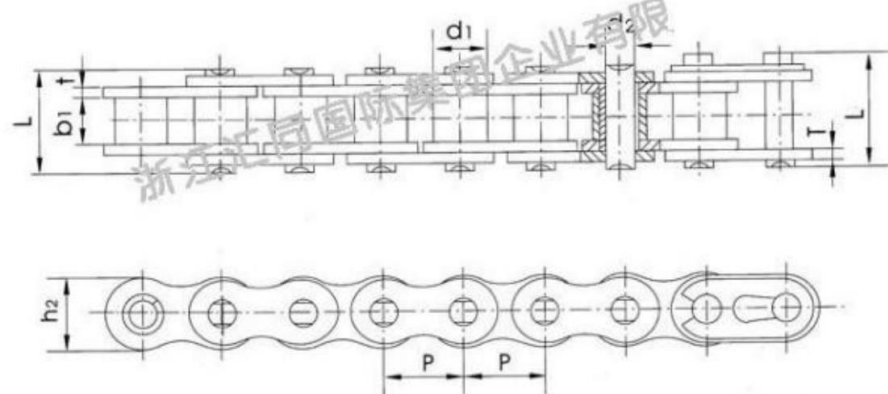


*Fuente: [38]*

### 2.2.5. Construcción de cadena

Las cadenas al estar normalizadas (DIN 8187 e ISO 606), para su construcción se sigue el siguiente modelo, según el catálogo de la empresa HPC [39] y el de la ficha técnica de la empresa NPC [40].

Figura 7: Construcción de la cadena SBR 500



Fuente: [40]

Donde:

P: Paso (distancia entre los ejes de los pines).

$d_1$ : Diámetro del diente

$b_1$ : Ancho entre las placas interiores

$d_2$ : Diámetro del pin

L: Longitud del pin

$h_2$ : Diámetro externo del eslabón

T: Espesor de la placa del eslabón

### Engranajes

El sistema de transmisión que es conectado desde el motor hasta las ruedas traseras de un mototaxi mediante una cadena posee engranajes. Estos son fundamentales en la transmisión y considerados los más importantes para que el vehículo se pueda movilizar [41]. Ahora, para que el movimiento suceda, se utilizan dos tipos de engranajes, catalina y piñón, estos se definen más adelante [42].

#### Partes [43] [44]

Arco AB (e): Espesor circular del diente.

Arco BC (h): Anchura de hueco.

Circunferencia primitiva (R): Rueda de fricción equivalente.

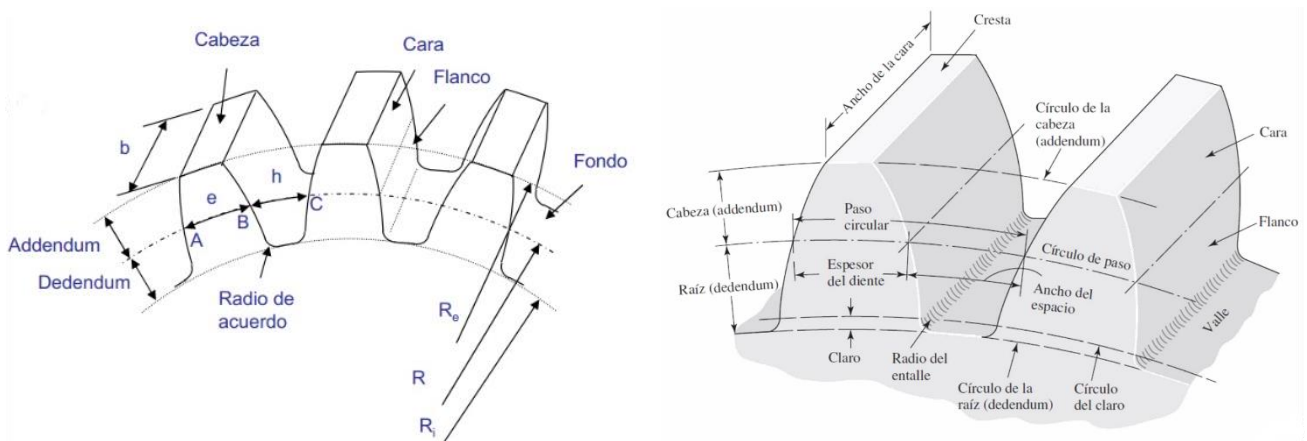
Circunferencia exterior ( $R_e$ ).

Circunferencia interior o de fondo ( $R_i$ ).

Addendum (a):  $R_e - R$

Dedendum (d):  $R - R_i$

Figura 8: Partes de un engranaje



Fuente: [43] [45]

**Relaciones importantes [45]**

$$P = \frac{N}{d}$$

$$m = \frac{d}{N}$$

$$p = \frac{\pi d}{N} = \pi m$$

$$pP = \pi$$

Donde:

P = paso diametral, dientes por pulgada

N = número de dientes

d = diámetro de paso, pulg o mm

m = módulo, mm

p = paso circular

**Catalina**

Esta pieza, al igual que el piñón y cadena, permiten la transmisión de potencia del motor a las ruedas generando así el movimiento.

La catalina también es conocida como corona dentada, se encuentra ubicada en la parte inferior central del mototaxi, permitiendo la conexión con las ruedas traseras, ocasionando así el desplazamiento del vehículo [42].

Cabe resaltar que la catalina tiene en su circunferencia, dientes que encajan con los eslabones de la cadena. Cada uno de estos está diseñado de con precisión, haciendo que estos encajen con exactitud y se sujeten de forma firme a la cadena. Esto evita la separación de ambos componentes cuando el mototaxi esté en marcha [42].

La corona dentada, debe poseer alta resistencia, es decir tiene que soportar altas cargas y tensiones. Por ende, estas deben ser fabricadas de acero, este adicionalmente tiene que pasar por tratamientos térmicos que ayudan a incrementar su dureza y resistencia, permitiendo así que soporte el desgaste por fricción [42] [46].

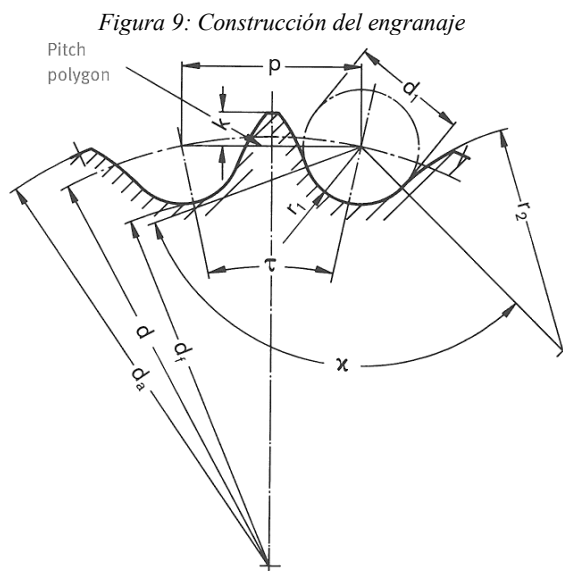
**Piñón**

El piñón al igual que la catalina, es un engranaje que permite la transmisión del motor a las ruedas traseras para que el vehículo se pueda desplazar [47].

Esta pieza es la encargada de transmitir el movimiento a la corona mediante el uso de la cadena. Al igual que sucede con la catalina, el piñón es diseñado de tal manera que encaje de manera precisa con la cadena [48].

### 2.2.6. Construcción de engranajes

Para la construcción de engranajes, se sigue el manual para ingeniería de cadenas, del autor corporativo Iwis [49]. Se utilizan los siguientes parámetros para su construcción:



Fuente: [49]

Donde:

p: Paso de cadena

$d_1$ : Diámetro máximo de rodillo

d: Diámetro del círculo de paso

$d_f$ : Diámetro del círculo de raíz

$d_a$ : Diámetro exterior

$r_1$ : Radio del diente

$\tau$ : Ángulo de los dientes

x: Ángulo de contacto con el rodillo

$r_2$ : Radio del perfil del diente

k: Altura del diente sobre el polígono de paso

z: Número de dientes

Definida cada parte que conforma el engranaje, se utilizan las siguientes fórmulas para su construcción:

### Diámetro del círculo de paso

$$d = \frac{p}{\sin \frac{\tau}{2}} \quad ; \quad \frac{\tau}{2} = \frac{180^\circ}{z}$$

### Diámetro del círculo de raíz

$$d_f = d - d_1$$

### Diámetro del círculo exterior

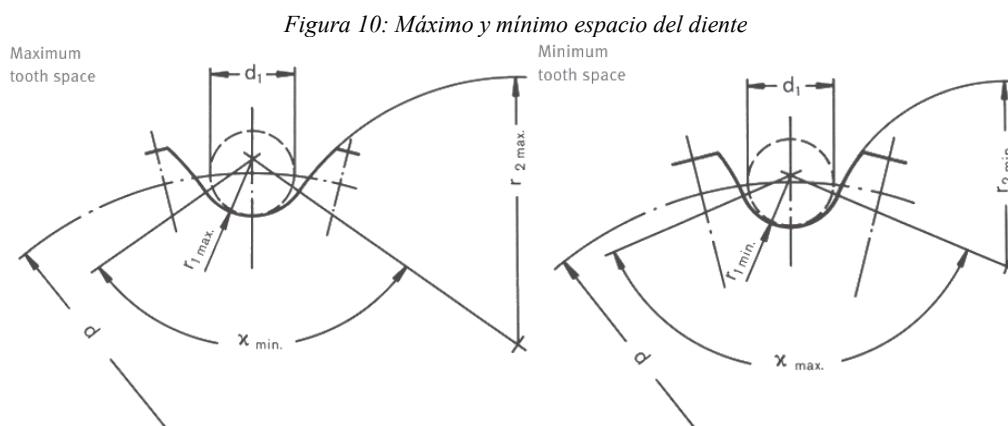
$$d_{a \max} = d + 1,25 * p - d_1$$

$$d_{a \min} = d + \left(1 - \frac{1,6}{z}\right) * p - d_1$$

### Altura de los dientes

$$k_{\max} = 0,625 * p - 0,5d_1 + \frac{0,8}{z} * p$$

$$k_{\min} = 0,5 * (p - d_1)$$



Fuente: [49]

### Radio del diente

$$r_{1 \max} = 0,505 d_1 + 0,069 \sqrt[3]{d_1}$$

$$r_{1 \min} = 0,505 d_1$$

### Ángulo de contacto con el rodillo

$$x_{\max} = 140^\circ - \frac{90^\circ}{z}$$

$$x_{\min} = 120^\circ - \frac{90^\circ}{z}$$

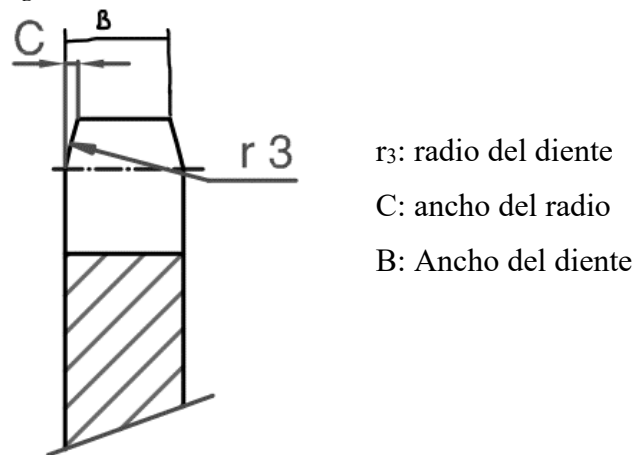
### Radio del perfil del diente

$$r_{2 \max} = 0,008 d_1 (z^2 + 180)$$

$$r_{2 \min} = 0,12 d_1 (z^2 + 2)$$

Para construir la sección del engranaje se utilizan los siguientes parámetros [50]:

Figura 11: Sección del diente



Fuente: [50]

### 2.2.7. Análisis estático estructural

El análisis estático estructural utiliza los resultados números y gráficos generados mediante una computadora para evaluar el comportamiento de una estructura bajo cargas estáticas. Por ello, los ingenieros aplican modelos matemáticos y herramientas computacionales, o lo más actual como son las predicciones basadas en aprendizaje automático para estructuras estáticas y explícitas [51] [52].

Este tipo de análisis en piezas mecánicas es utilizado para calcular los efectos de cargas constantes en la estructura, se ignoran los efectos de inercia y choque que se encuentran comúnmente cuando las cargas aplicadas cambian rápidamente [53].

### 2.2.8. Análisis de fatiga

El análisis de fatiga se realiza para calcular si la estructura fallará después de un cierto número de cargas y descargas repetidas, esto se llama ciclos de carga, es decir es casi parecido a la carga que se simula en un análisis estático pero su diferencia es que ahora no solo será un ciclo, serán varios. Lo que se estudia es cómo puede fallar la pieza debido al inicio y propagación de una grieta en cualquier zona del componente. Por ello el requisito previo a un análisis de fatiga es el análisis de tensiones. [54].

### 2.2.9. Análisis modal

El análisis modal es utilizado para obtener información sobre las características dinámicas de una estructura o componente. Es decir, proporcionará información sobre cómo responde el diseño ante diferentes tipos de cargas dinámicas. Por ello, esto puede evitar las vibraciones resonantes que son perjudiciales para la estructura [55].

Este tipo de análisis es ampliamente aceptado en diferentes industrias, como es el caso de la automotriz, aeroespacial, civil, energía, instrumentos musicales, etc [56].

#### **2.2.10. Integridad estructural**

La integridad estructural es un campo de la ingeniería que refuerza la garantía que posee una estructura, sistema, pieza, etc. Es decir, mediante este proceso, se comprueba el estado de la estructura. Para ello, se evalúan diferentes factores, como el daño, corrosión, desgaste, etc. Luego se comparan estos valores con los requerimientos mecánicos que este elemento resiste. Todo este estudio ayuda a que el equipo opere de manera segura, pues se están conociendo los límites de éste [57]. En pocas palabras, se conocen las condiciones normales y superiores del diseño original [58].

La integridad estructural debe mantener la vida útil de una estructura mediante un diseño correcto. Por ello, se debe inspeccionar y darle mantenimiento para asegurar su fiabilidad y seguridad y que cumplan su función para las que fueron creadas [58] [59].

A continuación, se presentan diferentes escalas de la integridad estructural, pues esta también se puede dar en estructuras inmateriales [59]:

##### **Megaestructural**

Esta se refiere a estructuras grandes como es el caso de puentes o plataformas marinas (petroleras) [59].

##### **Macroestructural**

La integridad macroestructural se refiere a elementos experimentales o de laboratorio, por ejemplo, probetas de acero que presentan fracturas [59].

##### **Microestructural**

Este tipo de integridad se refiere al nivel microestructural de los materiales [59].

##### **Nanoestructural**

Al igual que la microestructural, esta integridad hace referencia a los materiales, pero en escala nanométrica, como las nanogrietas que se forman en los materiales [59].

#### **2.2.11. Material**

Esta integridad está conformada por la macro, micro y nano, estas permiten el estudio de los materiales a diferentes escalas. Por ende, son estudios más completos. Este tipo de integridad ayuda principalmente a la mecánica de fractura e ingeniería de materiales [59].

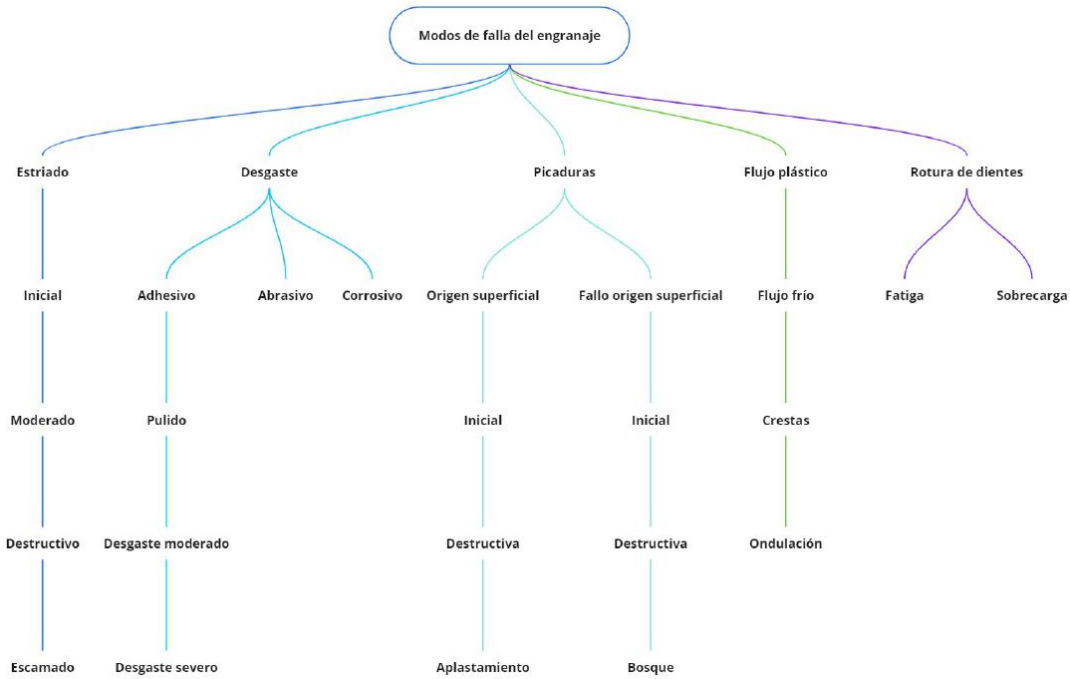
#### **2.2.12. Factores de falla en el sistema de transmisión**

Este tipo de sistema, por estar compuesto por engranajes y cadena, cada pieza tendrá sus respectivos factores de fallas. Primero, tenemos a la corona y piñón que al ser ambos engranajes

presentarán iguales fallas. Quedando como pieza final la cadena, que presentará algunas fallas similares a las dos piezas mencionadas anteriormente y algunas otra diferentes.

Empezando con los engranajes, para clasificar las fallas que presenta esta pieza tenemos el siguiente mapa [20]:

Figura 12: Modos de falla del engranaje



Fuente: [20]

Como se observa en la figura 7, se tienen cuatro modos de falla, empezando con el estriado, desgaste, picaduras, flujo plástico y rotura de dientes. Conociendo todos estos modos, ayudan a evaluar el daño que presenta el engranaje y permiten la mejora del diseño de estos [60] [20].

#### - **Estriado**

Se refiere a los grandes trozos de superficie que se desprenden del diente. Esto empieza con la aparición de escamas que van dejando grietas las cuales se propagan, ocasionando que, al sufrir tensiones elevadas, el engranaje empieza a perder superficie [20].

Este modo de falla tiene niveles, antes de llegar al escamado, estos se presentan a continuación [20]:

#### **Moderada**

Este nivel de fallo presenta un patón, este es que aparece en el addendum o dedendum o en ambos. Esto es causado por el excesivo calor que se genera en esa zona, causando rotura del lubricante y parte de la superficie del diente [20].

#### **Destructivas**

Este se presenta en zonas radiales del engranaje, mediante arañazos o desgarros que tienen dirección del movimiento ocasionando que el material se almacene en las puntas de los engranajes, haciendo que estos no sean aptos para operar [20].

### **Localizada**

Esta es similar a la moderada, pues presenta el mismo patrón en los dientes, la diferencia radica en que esta sucede en una sola zona y no se extiende a lo largo de la superficie [20].

#### **- Desgaste**

Los engranajes con el uso, se empieza a reducir el material de forma gradual en ciertas zonas, las de mayor fricción, generando que estos sean más propensos a partículas abrasivas, corrosión, etc [60]. Cabe resaltar, que el desgaste sucede debido a la mala lubricación que se les da a las piezas [61]. El desgaste también presenta niveles y se explican a continuación:

### **Pulido**

Es un proceso muy lento que sucede en la zona de contacto, donde las asperezas se van desapareciendo hasta que queda una superficie muy lisa. Por lo general, se da en procesos lentos, es decir de baja velocidad. Ahora, para que se pueda proteger el engranaje una vez que se ha pulido, se puede utilizar un lubricante de mayor viscosidad [20].

### **Moderado**

Este nivel de desgaste sucede dentro de un tiempo aproximadamente largo. Este se da en la zona del addendum y del dedendum, pues el material comienza a desaparecer por la fricción [20].

### **Severo**

Este desgaste es progresivo hasta que se elimine una cantidad considerable del material en la superficie, haciendo que opere con dificultad [20].

### **Desgaste abrasivo**

El desgaste abrasivo es cuando las superficies de contacto presentan marcas de arañazos radiales o cualquier indicio de que fueron causados por contacto. Esto es causado por la presencia de materiales extraños en el sistema de lubricación, como salpicaduras de soldadura, cascarilla, óxido, arena, etc [20].

### **Desgaste corrosivo**

Este último tipo de desgaste sucede por la acción química que sucede en la superficie. Por lo general, es causado por la humedad, activos en los lubricantes (ácido) o aditivos para presiones extremas [20].

## - **Picaduras**

Al igual que el desgaste, las picaduras en los engranajes tienen niveles. Se definen a continuación:

### **Picaduras iniciales**

Se refiere a pequeñas picaduras que se producen en las zonas sobrecargadas. Las picaduras dejan de generarse cuando la carga se ha redistribuido, entonces las superficies se alisan [20].

### **Picaduras destructivas**

Estas picaduras son superficiales, pero por lo general tienen un diámetro mayor que las iniciales, especialmente en el dedendum. Con el tiempo estas picaduras se vuelven cráteres con tamaños y formas diferentes. Finalmente, estas siguen apareciendo hasta destruir por completo al diente [20].

### **Descascarillado**

Este tipo de desgaste es parecido a la picadura destructiva y al aplastamiento. Su diferencia radica en, con respecto al primero, el diámetro de las picaduras es mucho mayor y muy superficial. Ahora con respecto al segundo es que el aplastamiento se da en engranajes cementados, diferente al descascarillado que ocurre en materiales que poseen dureza media. Este sucede porque el contacto se encuentra a tensiones muy elevadas haciendo que los bordes de las picaduras iniciales se rompen rápidamente y se formen grandes huecos irregulares [20].

### **Aplastamiento**

Son daños en la superficie de contacto, que se dan en engranajes cementados con grandes cargas. Usualmente se da en uno o dos dientes de la pieza [20].

## - **Flujo plástico**

Es la deformación permanente que puede ocurrir en los dientes de los engranajes debido a las altas cargas de contacto y esfuerzos que se generan durante su operación [62].

### **Ondulación**

Estas son ondas perpendiculares que se forman en dirección del movimiento. Por lo general, se generan en superficies endurecidas o en las superficies más blandas como en los dientes en determinadas condiciones [20].

### **Crestas**

Como su nombre lo dice, son formaciones de crestas profundas en el material, tanto de manera superficial como subsuperficial. Estas también se forman en dirección al deslizamiento [20].

## - **Rotura de dientes**

### **Fatiga**

La rotura de un diente por fatiga se ocasiona por una grieta originada desde la raíz del diente. Generalmente estas se dan por cargas excesivas en el diente, provocando tensiones superiores al límite del material en la raíz [20] [61].

### **Sobrecarga**

Las fracturas por sobrecarga muestran una rotura fibrosa. En materiales con mayor dureza, presentan fibras más finas, pero sigue notándose que fueron arrancados bruscamente. Esta falla sucede porque la resistencia a la tracción del material es superada y deforma permanentemente [20] [60].

### **Fractura aleatoria**

Esta suele producirse en las partes exteriores del diente del engranaje. Esto se debe a la concentración de tensiones en una determinada zona [20].

Al igual que la investigación de Shinde, Nikam y Mulla [63], en su investigación titulada Análisis estático de engranajes rectos mediante análisis de elementos finitos, mencionan que los dientes de los engranajes presentan tensiones por flexión y contacto, lo que induce fatiga al componente. Por ende, su investigación tiene como objetivo el minimizar este contacto mediante el uso de elementos finitos, pero primero se realizó el diseño del perfil del engranaje y sus cálculos respectivos de las fuerzas a aplicar. Finalmente, aplicaron FEA mediante ANSYS, para encontrar las tensiones de flexión. Luego compararon lo obtenido mediante el software frente a los valores realizados manualmente. Como resultados, tuvieron que sus cálculos teóricos eran correctos, resaltando que el software les dio los diferentes valores de tensiones, en la raíz, contacto entre dientes, etc. Cabe resaltar que, en su estudio, se observan las imágenes de la simulación realizada, donde se observa que los mayores esfuerzos se presentan en el entalle del diente del engranaje.

Con respecto a la cadena tenemos los siguientes factores de falla:

#### **- Desgaste**

Este desgaste sucede en los pasadores, rodillos y casquillos. Debido al tiempo de operación estas articulaciones se van gastando o incluso las placas del eslabón se van alargando [64] [65].

#### **- Factores ambientales**

Esta falla es ocasionada por las partículas pequeñas y duras del entorno (humedad, activos del lubricador, etc.), pues empiezan a contaminar los dientes del engranaje y causar desgaste a la cadena.

### - **Fatiga superficial**

También conocida como corrosión. Es un proceso, donde se extraen piezas de metal pequeñas, dejando una zona con hoyos en la superficie, dando así origen al estriamiento [60] [65].

### - **Rotura**

Debido a la sobrecarga al material, este tiende a fracturarse o se empiezan a generar grietas [60]. Generalmente sucede en las placas de la cadena, debido a que estas soportan cargas variables, también sucede en los rodillos debido a una mala lubricación [64] [65].

### - **Fallos de fabricación e instalación**

Dentro de este podemos encontrar marcas de herramientas o por enfriamiento esto último ocasionado por el mismo tratamiento térmico, quemaduras de rectificado y hendeduras. Todos estos defectos pueden conducir a que la pieza falle [60].

### - **Calidad de materiales e inadecuada selección**

Al seleccionar una cadena se debe conocer correctamente las propiedades y características del material, pues estos contribuyen en la integridad de la pieza. Por lo tanto, si se elige sin tener en cuenta esto, debido a las cargas que debe soportar fallará [60] [66]. Cabe resaltar, nunca se debe elegir por el precio porque de menor precio es menor calidad. También se debe seleccionar siempre en lugares autorizados, pues estos lugares utilizan normas que aseguran la integridad de la pieza [66].

### - **Tensión**

Este también es un factor importante porque si la cadena es demasiado larga se deberá esforzar más la zona donde está floja, aumentando las probabilidades de falla [67].

### - **Picadura**

Este fallo, por lo general sucede en los rodillos de la cadena, especialmente en cadenas donde no estén lubricadas correctamente [64].

Mediante la siguiente investigación realizada por Saito, Noda, Sano, Song, Minami, Birou, Miyagi y Huang [68], titulada Análisis de resistencia a la fatiga y evaluación de daños por fatiga de cadenas de rodillos, menciona que consta de cuatro partes, estas son pasador, casquillo, placa y rodillo. Luego, mediante el uso de elementos finitos, aplicó en cada componente tres tipos de estados, por presión, tracción estática y estado de engranaje. Este estudio demostró que la iniciación de grietas por fatiga puede comenzar alrededor de la superficie interna media del casquillo, ahora mediante FEM se encontró que la grieta empieza por la placa interior puede ser desde el punto del borde del agujero. Al final, demuestran que la parte analítica y teórica concuerda con las cadenas fracturadas en la industria.

### 2.2.13. Criterios de fatiga

#### Fatiga

Es la encargada de indicar que el material se está debilitando debido a las cargas cíclicas a las que se está sometiendo. Debido a esto, se dañarán hasta el punto de fallar, pues pierden resistencia [69] [70].

Mediante la fatiga, se puede determinar la vida útil de un material que es sometido a cargas cíclicas. Adicionalmente, ayuda al estudio de resistencia de los materiales y a establecer criterios a materiales menos resistentes [69] [70].

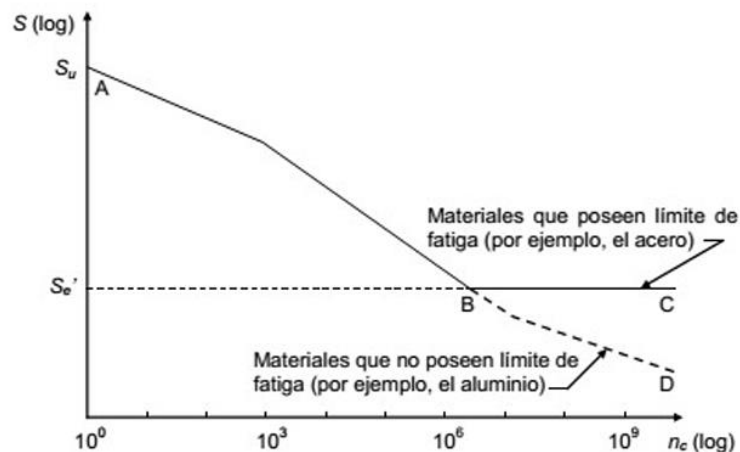
Se utilizan diagramas de ciclos de S-N (esfuerzo-carga), permitiendo la representación del número de ciclos hasta la fractura frente a la amplitud de las cargas aplicadas [69].

Adicionalmente, se puede utilizar la fatiga para evaluar como influyen los factores ambientales en la resistencia del material [69].

#### Diagrama S - $n_c$

Este gráfico, conocido como esfuerzo vs número de ciclos o diagrama de vida vs resistencia de Wohler. Lo que busca es relacionar los niveles de esfuerzo con respecto al número de ciclos de carga que soportaban las probetas hasta la falla [71]. Como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 13: Diagrama S -  $N_c$



Fuente: [71]

Donde S representa el esfuerzo o resistencia máxima que se somete la pieza, y  $n_c$  es el número de ciclos de esfuerzo. Mientras que las líneas son puntos de falla que se obtienen al momento de hacer el ensayo [71].

$$S_f = aN_c^b$$

$$a = \frac{(0,9S_{ut})^2}{S_e}$$

Donde:

$S_f$  = Resistencia a la fatiga

$a$  y  $b$  = Constante

$N_c$  = Número de ciclos

$$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0,9S_{ut}}{S_e}$$

### Tensiones [71]

- Tensión media

$$S_m = \frac{S_{max} + S_{min}}{2}$$

- Amplitud de tensiones

$$S_a = \frac{S_{max} - S_{min}}{2}$$

- Rango de tensiones

$$S_r = S_{max} - S_{min}$$

- Relación de tensiones

$$R_s = \frac{S_{min}}{S_{max}}$$

- Relación de amplitud

$$A = \frac{S_a}{S_m} = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{max} + S_{min}} = \frac{1 - R_s}{1 + R_s}$$

### Clasificación [71]

- Simétrica:  $S_m = 0$  ;  $r_s = -1$
- Intermitente:  $S_{min} = 0$  ;  $r_s = 0$
- Constante:  $S_a = 0$  ;  $r_s = 1$
- Pulsante:  $0 < r_s < 1$
- Alterno:  $-1 < r_s < 1$

Figura 14: Representación gráfica de la clasificación de tensiones

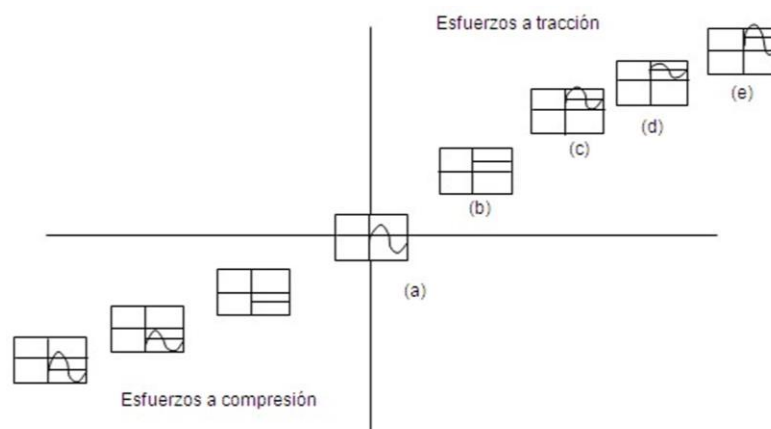


Fig. 1. Tipos de esfuerzo cíclico: (a) Simétrico, (b) Constante, (c) Intermitente, (d) Pulsante, (e) Alterno. Se muestra el efecto a tracción y a compresión

Fuente: [71]

### Límite de resistencia a la fatiga

Mediante el análisis de datos obtenido de pruebas reales y de diferentes fuentes, han logrado concluir que este límite está relacionado con la resistencia a la tensión. Por ende, este límite se define como la máxima tensión que el material puede soportar durante N repeticiones. Donde N debe ser mayor a  $10^7$  ciclos [72].

$$S'_e = \begin{cases} 0.504 S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{Ksi (1400 Mpa)} \\ 100 \text{Ksi} & S_{ut} > 200 \text{Ksi} \\ 700 \text{Mpa} & S_{ut} > 1400 \text{MPa} \end{cases}$$

Donde  $S_{ut}$  = Límite a la rotura y  $S'_e$  = Límite de resistencia a la fatiga [71].

### Factores que modifican el límite a la fatiga [71]

$$S_e = K_f \cdot K_s \cdot K_r \cdot K_t \cdot K_m \cdot S'_e$$

Donde:

$S_e$  = Límite de fatiga modificado

$K_f$  = Factor de acabado de superficie

$K_s$  = Factor de tamaño

$K_r$  = Factor de confiabilidad

$K_t$  = Factor de temperatura

$K_m$  = Factor diverso

$S'_e$  = Límite a la fatiga

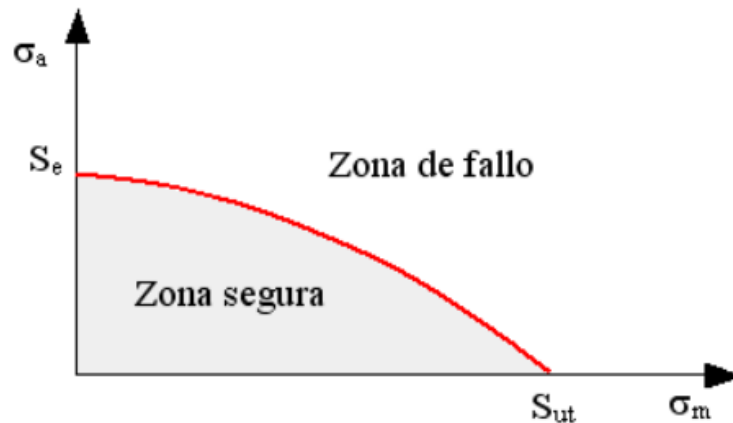
### Criterio de Gerber

Este criterio está representado por una parábola, donde se utilizan los valores de tensiones medias ( $\sigma_m$ ) y alternante ( $\sigma_a$ ). Por lo tanto, en esta gráfica se tiene la tensión media vs tensión alternante. Entonces, si se tienen cualquier punto en tensión media y alternante a la izquierda, es decir de bajo de la línea roja, significa que la línea resistirá. Esto se puede demostrar siempre y cuando se cumpla lo siguiente [73]:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \left(\frac{\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 \leq 1$$

Mientras que si se tiene un punto a la derecha fallará. Esto se observa en la siguiente figura.

Figura 15: Parábola del criterio de Gerber



Fuente: [73]

Este criterio posee el 50% de confiabilidad aproximadamente, es decir la mitad de los puntos de ensayo estará debajo de la línea roja, y la otra mitad por encima. Esto indica que existirá el 50% de probabilidad de no falla [71].

#### 2.2.14. Materiales compuestos

El material compuesto o también conocido como material composite, es todo aquel que está formado por dos o más materiales, pero al juntarlos, a nivel macroscópico, sus propiedades son superiores a las que poseen por separado [74] [75].

Un material compuesto está conformado por un refuerzo que es el constituyente y por una matriz que es el incrustado.

- Refuerzo. Puede ser de diferentes formas, como fibras, partículas o escamas. Son rígidos y resistentes [75].
- Matriz. Son los materiales continuos. Permite la cohesión de los materiales, es flexible y tiene menos resistencia [75].

#### 2.2.15. SolidWorks 2024

SolidWorks es un programa de diseño e ingeniería. Este software cuenta con CAD (diseño asistido por computadora) 3D, CAM (manufactura asistida por computadora) y CAE (Ingeniería asistida por computadora) juntos [76].

Su ventaja más significativa es que tiene una gran capacidad para simular materiales, por ejemplo, sus propiedades físicas, de ensamble y mecánicas. Otra ventaja es que muchas de las herramientas que posee son avanzadas. Además, es intuitivo y sencillo de usar, dependiendo de para qué será utilizado, pero en comparación con otras interfaces, termina siendo fácil de emplear. Por último, tiene gran libertad de diseño, y tiene la capacidad para cambiar operaciones iniciales [77].

### **2.2.16. Granta Edupack**

Ansys Granta EduPack es un software que está compuesto de diferentes herramientas y recursos que permiten la enseñanza sobre diversos materiales [78]. Incluye información de procesos, acompañado de base de datos de materiales, herramientas de selección, entre otros apoyos [79].

### **2.2.17. ANSYS Workbench**

Ansys Workbench es un software de simulación de ingeniería ampliamente utilizado en diversas industrias para analizar y simular diversos de problemas en ingeniería. Este programa proporciona una variedad de herramientas de simulación que abarcan disciplinas como mecánica estructural, dinámica de fluidos, electromagnetismo, acústica y optimización de diseño. En resumen, Ansys se utiliza para resolver problemas complejos en campos como la industria aeroespacial, automotriz, energética, electrónica y de manufactura. Con este programa, los usuarios pueden simular diversos escenarios de operación, evaluar distintos diseños y optimizar el rendimiento. La plataforma de simulación de Ansys está diseñada para ser fácil de usar, proporcionando una experiencia de usuario intuitiva. Además, se integra sin problemas con otras herramientas de software y hardware, lo que permite a los ingenieros trabajar en un entorno de simulación completo y unificado [80] [81].

### III. Materiales y métodos

#### Diseño metodológico

##### 3.1. Formulación de hipótesis

<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar mediante fatiga y vibración el sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo para aumentar su vida útil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se analiza mediante fatiga y vibración el sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo, entonces, se reduciría la necesidad de mantenimientos frecuentes, compra de repuestos y la generación de desperdicios.</li> </ul>
<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagnosticar el principal factor de falla que afecta la integridad del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo utilizando entrevistas.</li> <li>- Seleccionar el material adecuado para el aumento de la vida útil del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo.</li> <li>- Simular el comportamiento del sistema de transmisión bajo diferentes escenarios de carga (fatiga y vibración) y según el principal factor de falla.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se diagnostica el principal factor de falla que afecta la integridad del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo, entonces, se podrá solucionar el problema con medidas según lo encontrado.</li> <li>- Si se selecciona el material adecuado para el aumento de la vida útil del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo, entonces, se podrá proponer un material de mejores propiedades para la fabricación de este sistema.</li> <li>- Si se simula el comportamiento del sistema de transmisión bajo diferentes escenarios de carga (fatiga y vibración) y según el principal factor de falla, entonces, se obtendrán resultados experimentales y se validarán los valores teóricos hallados.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparar la vida útil del sistema de transmisión con el material nuevo respecto al convencional.</li> <li>- Elaborar un presupuesto para el sistema de transmisión con el nuevo material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se compara la vida útil del sistema de transmisión con el material nuevo respecto al convencional, entonces, se sabrá si el nuevo material es la mejor opción.</li> <li>- Si se elabora un presupuesto para el sistema de transmisión con el nuevo material, entonces, se obtendrá el valor económico aproximado y la viabilidad para fabricación de las piezas.</li> </ul>
---	---

### 3.2. Tipo y nivel de investigación

#### Tipo de investigación

La presente tesis es de tipo cuantitativa aplicada, pues se busca esclarecer que material es el adecuado para aumentar la vida útil del sistema de transmisión, a partir de simulaciones ejecutadas en el software CAD-CAE.

#### Nivel de investigación

Nivel aplicado, debido a que, mediante la selección del material, se busca dar una solución a los conductores de mototaxi de uso urbano en Chiclayo.

#### Población y muestra

La población de esta investigación son los sistemas de transmisión tipo cadena – engranaje, específicamente el modelo WX 150-A. La muestra es el sistema de transmisión de un mototaxi específicamente el modelo WX 150-A Chiclayo, estos están hechos por lo general de aleaciones de aceros. Los cuales tiende a experimentar deformaciones por fatiga debido a su rigidez, provocando que el material se fracture.

### 3.3. Operación de variables

#### Variable independiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Variable independiente	El objetivo principal del análisis de fatiga y vibración del sistema de transmisión de mototaxis urbanos es asegurar un funcionamiento óptimo y seguro del sistema durante su operación en entornos para la cual fue diseñado, en este caso, para zonas urbanas. Este análisis busca evaluar la resistencia, durabilidad y fiabilidad de todas las partes involucradas en la transmisión. Esto se hace con el fin de prevenir fallos, ocasionados por mecanismos de daño acumulativo (desgaste, fatiga, etc), maximizar la vida útil del sistema y garantizar la seguridad tanto de los conductores como de los pasajeros en	Fue medido mediante entrevistas.	Mecanismos de daño acumulativo	Desgaste	mm
Análisis de fatiga y vibración del sistema de transmisión de mototaxis urbanos				Fatiga	Ciclos de vida
				Sobrecarga	N
		Simulación estática estructural	Desplazamientos	mm	
			Deformaciones	Adimensional	
Esfuerzos			MPa		
Factor de seguridad $F_S = \frac{\sigma_{última}}{\sigma_{máxima}}$			Adimensional		
			Daño	Adimensional	

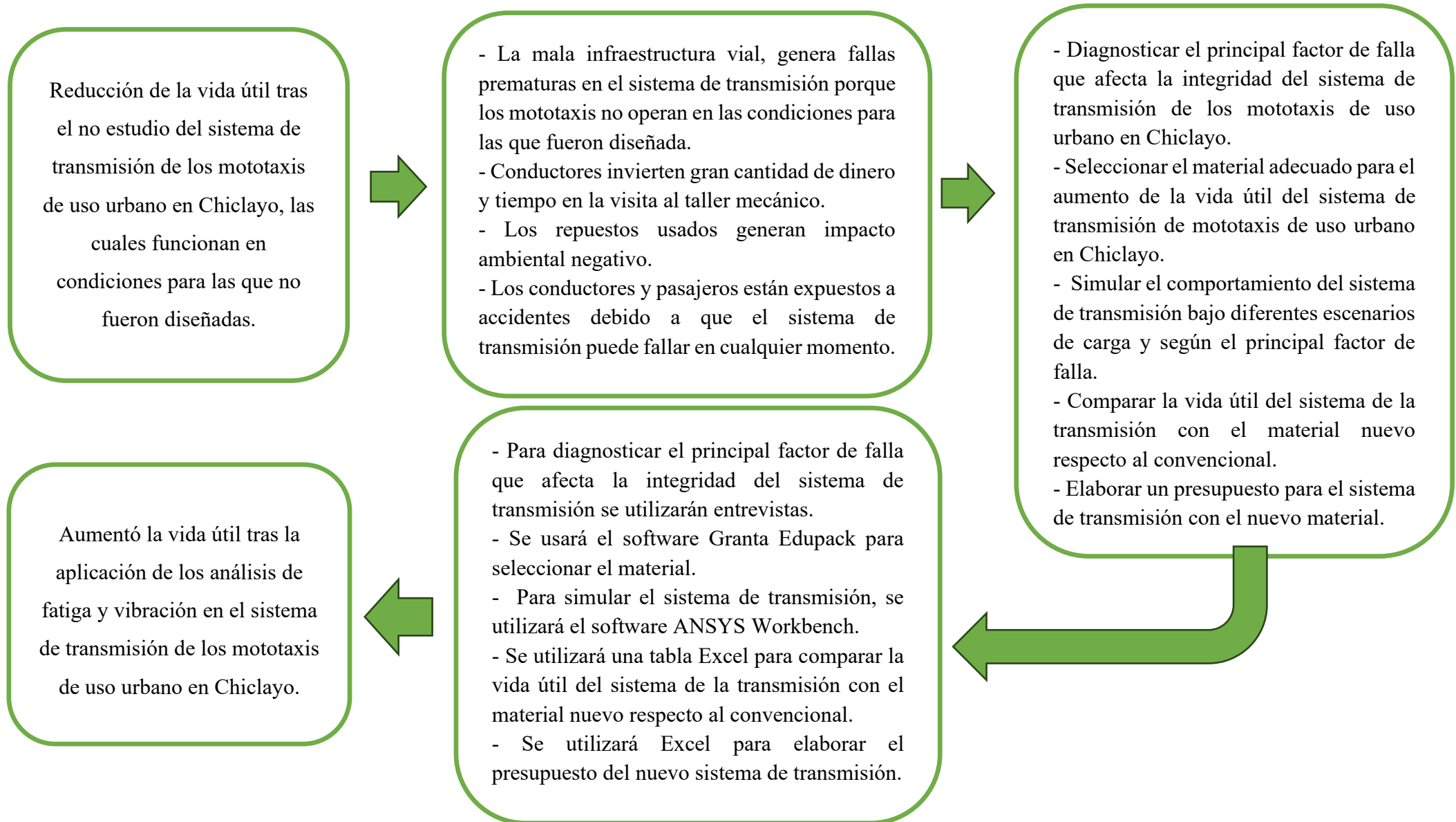
	situaciones de uso intensivo en áreas urbanas [82] [83].	Para la simulación de fatiga se utilizó el material convencional y el software mencionado anteriormente.	Simulación de fatiga: Criterio de Gerber $\frac{n.\sigma_a}{S_e} + \left(\frac{n.\sigma_m}{S_{rt}}\right)^2 \cong 1$	Vida	Adimensional
--	--	--	--	------	--------------

### Variable dependiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Variable Dependiente	Se refiere a prolongar la vida útil del sistema de transmisión de los mototaxis urbanos a través de un enfoque que se centra en garantizar que estas partes mecánicas sigan siendo seguras y funcionales durante un período de tiempo	Se midieron las	Selección de material	Módulo elástico	GPa
Aumentar su vida útil				Coeficiente de Poisson	Adimensional
				Límite de compresión	MPa

	<p>más largo mediante el buen cuidado y mantenimiento de los elementos que conforman este tipo de sistema [84] [35]. Para ello se seleccionará un nuevo material para posteriormente realizar la simulación de fatiga, y por último comparar los resultados obtenidos.</p>	<p>propiedades mecánicas de cada material.</p>		Límite de tracción	Pa
				Densidad	Kg/m <sup>3</sup>
				Coefficiente de dilatación térmica	1/K
		<p>Se utilizó el software ANSYS Workbench para la simulación con el material elegido.</p>		Daño	Adimensional
			<p>Simulación de fatiga: Criterio de Gerber</p> $\frac{n \cdot \sigma_a}{S_e} + \left( \frac{n \cdot \sigma_m}{S_{rt}} \right)^2 \cong 1$	Vida	Adimensional

### 3.4. Diagrama de flujo



### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron:

- Análisis de documentación: Se revisó bibliografía sobre factores de falla que afectan la integridad del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano de Chiclayo.
- Entrevistas: Se realizó un protocolo de consentimiento para cada entrevistado. Se formularon preguntas a conductores de mototaxi y técnicos de talleres, para conocer cuál era el principal factor de falla en el sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo.

### **3.6. Procedimientos de recolección de datos**

Se revisó información sobre el sistema de transmisión de mototaxis para saber cuál es el principal factor de falla que afecta la integridad del sistema. Seguidamente se realizaron 55 entrevistas con sus respectivos protocolos de consentimiento, a conductores de este vehículo y técnicos de talleres que reparan mototaxis, todo esto se hizo para hallar el factor de falla. Toda la información obtenida de las entrevistas, se pasó a Excel y se realizaron diferentes gráficos.

### **3.7. Plan de procesamiento y análisis de datos**

Para el plan de procesamiento y análisis de datos, obtenidos en la entrevista, la herramienta a utilizar es el software Microsoft Office Excel 2021.

- Tablas de porcentaje. Estas permitirán observar el principal factor de falla que afecta la integridad del sistema de transmisión de los mototaxis de uso urbano en Chiclayo, dependiendo de los porcentajes obtenidos. Una vez recolectados los valores, se elaborarán gráficos estadísticos.
- Gráficos estadísticos. A través de estas representaciones, se presentarán de manera visual los resultados para generar a partir de estos.

### 3.8. Matriz de consistencia

<b>Análisis de fatiga y vibración del sistema de transmisión de mototaxis urbanos para aumentar su vida útil en Chiclayo</b>				
<b>Problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variable</b>	<b>Metodología</b>
<b>¿Será posible aumentar la vida útil del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo mediante el análisis de fatiga y vibración?</b>	<b>General</b>	<b>General</b>	<b>Variable independiente</b>	<b>Diseño de investigación</b>
	Analizar mediante fatiga y vibración el sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo para aumentar su vida útil.	Si se analiza mediante fatiga y vibración al sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo para aumentar su vida útil, entonces, se reduciría la necesidad de mantenimientos frecuentes, compra de repuestos y la generación de desperdicios.	Análisis de fatiga y vibración en el Sistema de transmisión de mototaxis urbanos	Tipo aplicada-cuantitativa utilizando el software ANSYS Workbench.
	<b>Específicos</b>	<b>Específicas</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnica: Recolección de datos</b>
Diagnosticar el principal factor de falla que afecta la integridad del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo.	Si se diagnostica el principal factor de falla que afecta la integridad del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo, entonces, se realizará la simulación adecuada según el resultado obtenido en el software ANSYS Workbench.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desgaste</li> <li>- Fatiga</li> <li>- Sobrecarga</li> <li>- Desplazamientos</li> <li>- Deformaciones</li> <li>- Esfuerzos</li> <li>- Factor de seguridad</li> </ul>	La recolección de datos sobre mecanismos de daño acumulativo será mediante entrevistas a los técnicos y conductores y datos experimentales a partir de artículos científicos obtenidos en Scopus, ScienceDirect y ProQuest.	

			- Daño - Vida	
	Seleccionar el material adecuado para el aumento de la vida útil del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo.	Si se selecciona el material adecuado para el aumento de la vida útil del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo, entonces, se propondrá un material de mejores propiedades mecánicas para la fabricación de este sistema.	<b>Variable dependiente</b>	<b>Población y muestra:</b>
	Simular el comportamiento del sistema de transmisión bajo diferentes escenarios de carga (fatiga y vibración) y según el principal factor de falla.	Si se simula el comportamiento del sistema de transmisión bajo diferentes escenarios de carga (fatiga y vibración) y según el principal factor de falla, entonces, se obtendrán resultados experimentales y se validarán los valores teóricos hallados.	Aumentar su vida útil	La unidad de estudio son los sistemas de transmisión cadena-engrane de los mototaxis de uso urbano de las marcas Wanxin y Honda.
	Comparar la vida útil del sistema de la transmisión con el	Si se compara la vida útil del sistema de transmisión con el material nuevo respecto al	<b>Indicadores</b>	

	material nuevo respecto al convencional.	convencional, entonces, se tendrá la certeza que el nuevo material es la mejor opción.		
	Elaborar un presupuesto para el sistema de transmisión con el nuevo material.	Si se elabora un presupuesto para el sistema de transmisión con el nuevo material, entonces, se obtendrá el valor económico aproximado y la viabilidad para fabricación de las piezas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Módulo elástico</li> <li>- Coeficiente de Poisson</li> <li>- Límite de compresión</li> <li>- Límite de tracción</li> <li>- Densidad</li> <li>- Coeficiente de dilatación térmica</li> <li>- Daño</li> <li>- Vida</li> </ul>	

### **3.9.Métodos y técnicas de recolección**

Para diagnosticar el principal factor de falla que afecta la integridad del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo, se realizaron entrevistas a conductores de mototaxi y mecánicos especializados en este tipo de vehículo. Las preguntas fueron validadas por un especialista en mecánica.

Para seleccionar el material adecuado para el aumento de la vida útil del sistema de transmisión de mototaxis, se utilizó el software Granta Edupack para obtener todas las propiedades mecánicas y físicas de los materiales. Luego se realizaron dos matrices ponderadas para la selección de los nuevos materiales.

Para simular el comportamiento del sistema de transmisión bajo diferentes escenarios de carga (fatiga y vibración) y según el principal factor de falla, se utilizó el software SolidWorks para el CAD del sistema y ANSYS Workbench para las simulaciones de estático estructural, fatiga y modal. Este último programa emplea el método de elementos finitos para obtener los diferentes resultados (desplazamientos, deformaciones, esfuerzos, factor de seguridad, daño, vida y modos).

Para comparar la vida útil del sistema de la transmisión con el material nuevo respecto al convencional, se realizaron gráficas obtenidas mediante Excel. En el caso de la cadena, se hizo un gráfico de número de ciclos vs fuerza; para los engranajes, frecuencia vs modos; y para ambos casos un gráfico de número de ciclos vs factor de seguridad.

Por último, para elaborar un presupuesto para el sistema de transmisión con el nuevo material, utilizando Excel. Se consideró el costo por kilogramo de cada material (S/. /kg) de cada material obtenido en Granta Edupack, y se añadieron los gastos generales, mano de obra, transporte e IGV.

## IV. Resultados y discusión

### 4.1 Diagnóstico del principal factor de falla que afecta la integridad del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo.

En los últimos años, en Perú ha aumentado significativamente la cantidad de vehículos menores (motocicletas y trimotos). Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), realiza un registro de motocicletas por departamento, en este menciona las unidades por año que se han vendido, la siguiente tabla muestra solo lo de Lambayeque entre los años 2016 hasta 2021 [85]:

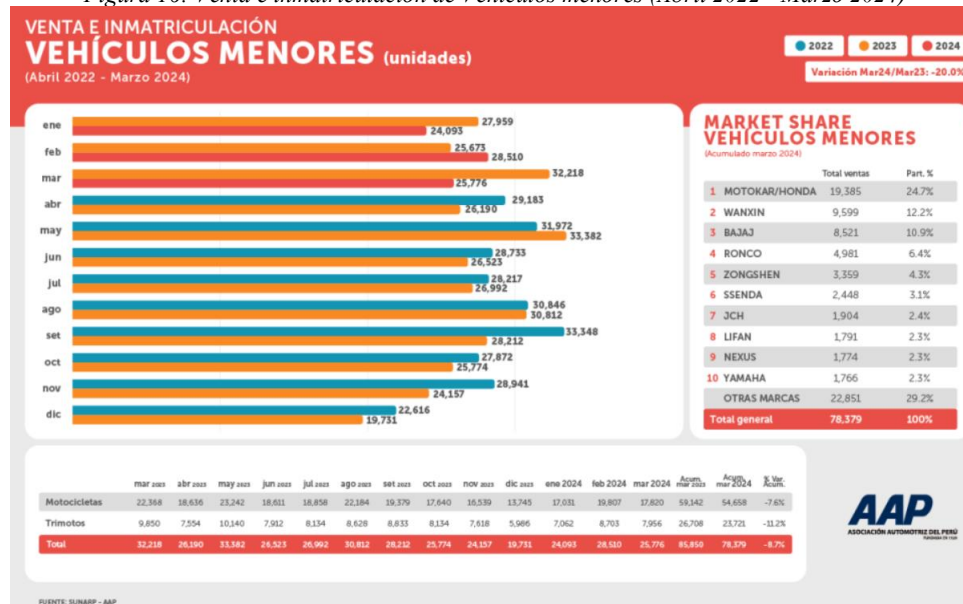
Tabla 1: Registro de motocicletas por departamento 2016 - 2021 en Lambayeque

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Unidades	8669	8343	8170	10056	32723	21138

Fuente: [85]

Asimismo, en un panorama más general, la Asociación Automotriz del Perú (AAP) menciona que, en marzo de 2024 se vendieron e inmatricularon un total de 78379 unidades de estos vehículos a nivel nacional. Resaltando que las principales marcas en este mercado son Motokar/Honda, seguida por Wanxin y Bajaj. Esto se puede observar en la siguiente figura [86]:

Figura 16: Venta e inmatriculación de Vehículos menores (Abril 2022 - Marzo 2024)



Fuente: [86]

Adicionalmente, en el año 2022 el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), mencionó que los vehículos menores representaron el 47,7% del parque motor. Esto debido a que los vehículos son de menor costo y consumen menos combustible, siendo más accesibles para el usuario [87]. Ahora, con respecto a la venta de vehículos nuevos en el sector automotor

en Perú (2023 Acumulado) fue un total de 327623 unidades, con 99 647 trimotos en total y Chiclayo ocupando el segundo puesto con 18506 unidades [87].

Una vez definido la cantidad de trimotos que posee la población de Chiclayo, diagnosticar el principal factor que afecta la integridad del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en esta zona es fundamental, pues la alta demanda de este vehículo en determinado lugar indica que gran cantidad de personas los utiliza, ya sea para como medio transporte o para trabajar.

Entonces, mediante el uso de la entrevista como herramienta de recolección de datos, se realizaron 6 preguntas en las entrevistas, aplicadas a diferentes mototaxistas de Chiclayo, incluyendo técnicos de talleres. Cada entrevista fue de manera presencial y los datos más importantes fueron escritos en papel. Luego todas las respuestas obtenidas se pasaron al programa Excel para elaborar las gráficas e interpretar los resultados con mayor facilidad, esto se puede observar en anexos. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

En Chiclayo, la marca de moto que más abunda es la Wanxin, pues de los 55 usuarios entrevistados, la mayor cantidad corresponde a esta marca con un total de 44, seguido por Honda. Adicionalmente, los conductores de trimotos mencionaron que se dedican al servicio de mototaxis todos los días, pues del total entrevistado, 31 de estos afirmaron que conducen su vehículo los siete días de la semana.

En cuanto a las fallas que presenta el sistema de transmisión, 41 (74,54%) de los usuarios señalaron la cadena es el elemento que más falla, principalmente por rotura de los eslabones. En segundo lugar, 32 (58,18%) usuarios mencionaron problemas con los engranajes, resaltando que la catalina es el componente que falla con mayor frecuencia debido a la fatiga y desgaste, llegando al punto de fractura en algunos dientes. Como dato adicional, algunos mototaxistas comentaron que, para prolongar la vida útil de los engranajes, les dan la vuelta a estos, para que el desgaste sea por ambos lados antes de reemplazarlos cuando lleguen a la fractura. Estas fallas se pueden observar en la figura 17, otras adicionales en anexos.

Cabe resaltar que estas fallas tienden a suceder debido a factores del entorno urbano de la zona. De los usuarios entrevistados, 51 de estos mencionaron las pistas en mal estado, seguido por las lluvias y, finalmente los rompemuelleres.

También señalaron que realizan mantenimiento a su vehículo cada 30 días, aunque esto varía según la propiedad del vehículo. Si este no es propio, el mantenimiento se realiza cada 90 días, pero si es propio, se lleva a cabo cada 15 días. Por ejemplo, el cambio de aceite se realiza con mayor frecuencia en los vehículos propios.

Con respecto a los repuestos del sistema de transmisión, 51 usuarios indicaron que son accesibles, aunque esto varía según el modelo de la moto. En cuanto a la calidad, 31 usuarios mencionaron que es media, pues los repuestos son genéricos y su calidad depende del precio pagado. Por otro lado, 13 usuarios opinaron que los repuestos son de mala calidad (una marca es KMC), debido a que la mayoría son de origen chino. Solo 11 usuarios dijeron que los repuestos de buena calidad están disponibles, pero tardan en llegar y son costosos (son los mejores DID). Finalmente, el costo de reparación de los vehículos oscila principalmente entre 50 y 100 soles.

A diferencia que Vaibhav y Tawade [20], quienes obtuvieron sus datos sobre las fallas en los engranajes mediante pruebas de laboratorio, en este caso los datos se recopilaron a través de entrevistas realizadas a 55 usuarios. A pesar de la diferencia en la metodología, las respuestas obtenidas de los usuarios coinciden en su mayoría con los hallazgos de Vaibhav y Tawade. Ambos estudios identificaron que las fallas en los engranajes se deben a problemas como el estriado, el desgaste, las picaduras y la rotura de dientes. Esta similitud en los resultados indica que, independientemente del método de recolección de datos, las causas principales de las fallas en los engranajes son consistentes. Cabe resaltar que este elemento es el segundo en fallar.

Al igual que Piotr Sokolski [21], en su estudio encontró que las cadenas en el sistema de transmisión presentan desgaste debido a la tensión en sus elementos. Sokolski menciona que las uniones de pasadores en las transmisiones por cadena son zonas de concentración de tensiones, lo que puede provocar la formación de grietas en los eslabones. Por lo tanto, se puede afirmar que las cadenas fallan por rotura debido a las grandes tensiones que se presentan en ciertas zonas de esta pieza. Pues de los 55 usuarios entrevistados, 41 de estos dijeron que la pieza que más falla debido a rotura.

*Figura 17: Sistema de transmisión al final de su vida útil (Catalina 37 T – Piñón 15 – Cadena 428H)*



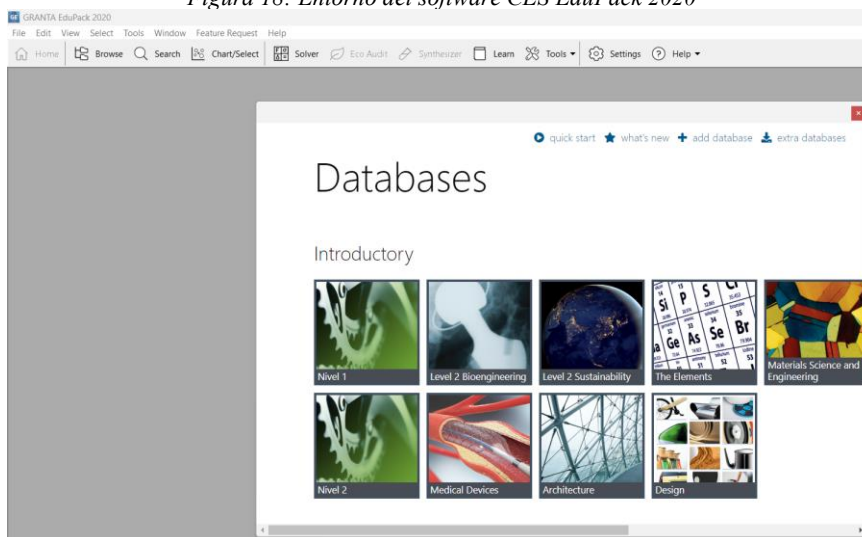
*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.2 Seleccionar el material adecuado para el aumento de la vida útil del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo.

Conociendo el principal factor de fallo del sistema de transmisión de los mototaxis y teniendo como material comúnmente utilizado en esta área de la trimoto el acero aleado, específicamente AISI 1045, AISI 4140, 16MnCr5 y 20MnCr5 [39] [88] [89], se llevó a cabo la selección del nuevo material a ser evaluado en la simulación estática estructural y de fatiga. Para este propósito, se empleó el software CES EduPack con el fin de obtener los datos característicos de diversos materiales.

Para la buena selección de los materiales, se tiene que delimitar la selección de estos. Por ello, se considera los materiales como aceros y compuestos. Así mismo, se seleccionó materiales nivel tres para utilizar aquellos que son considerados por defecto del mismo Software. También se utiliza otro material encontrado en un artículo científico de Hyunwoong, Cheol, Sanghyeon, Bongjoon y Chaehong [90], este se agregará al programa mediante su herramienta Add record, para poder ser utilizado en las gráficas.

Figura 18: Entorno del software CES EduPack 2020

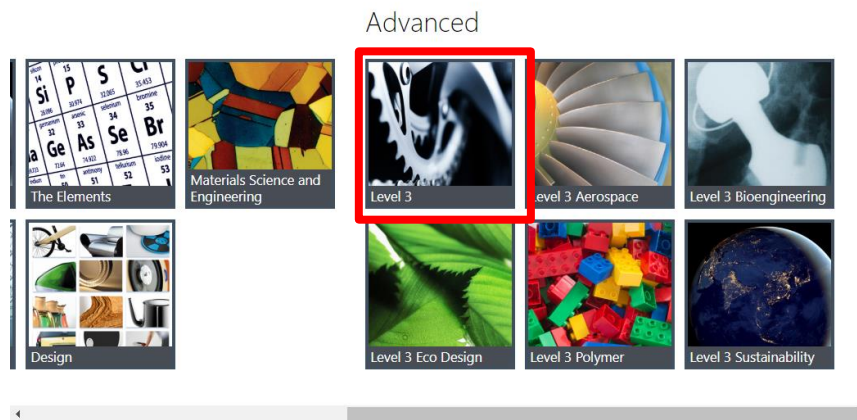


Fuente: CES EduPack

La mayoría de los engranajes y cadenas están fabricados de aleaciones de acero, principalmente de acero de baja aleación, específicamente el AISI 1045, AISI 4140, 16MnCr5 y 20MnCr5, esto debido a bajo costo que varía tres a cuatro soles por kilo. Por ello, se buscaron cuatro materiales, dos de estos son metales mientras que uno es compuesto.

Entonces, para empezar con la selección del material de la cadena y engranajes (catalina y piñón) se utilizó el nivel 3 de la Data base del software, como muestra la figura 15.

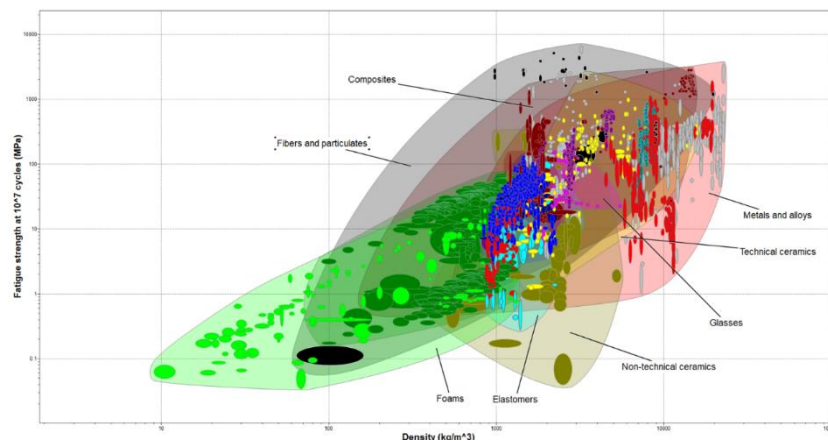
Figura 19: Data Base del software CES EduPack



*Fuente: CES EduPack*

Dentro de este apartado se crean gráficas con todos los materiales, como se observa en las siguientes imágenes:

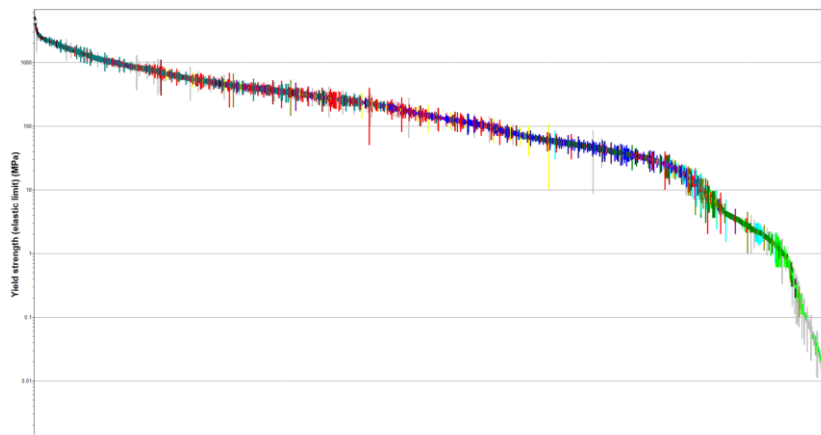
*Figura 20: Gráfica de Densidad vs Resistencia a la fatiga de todos los materiales*



*Fuente: Software Granta Edupack*

En este gráfico se muestran los materiales y sus tipos, por ejemplo, el color negro son fibras, luego la zona roja son metales y aleaciones, el color rosado son vidrios y el color rojo oscuro son materiales compuestos. Mediante esta gráfica se busca encontrar el mejor material para los engranajes y cadena. Por ello, también se realizaron gráficas de Límite elástico y precio ( $\$/kg$ ). Obteniendo las siguientes figuras.

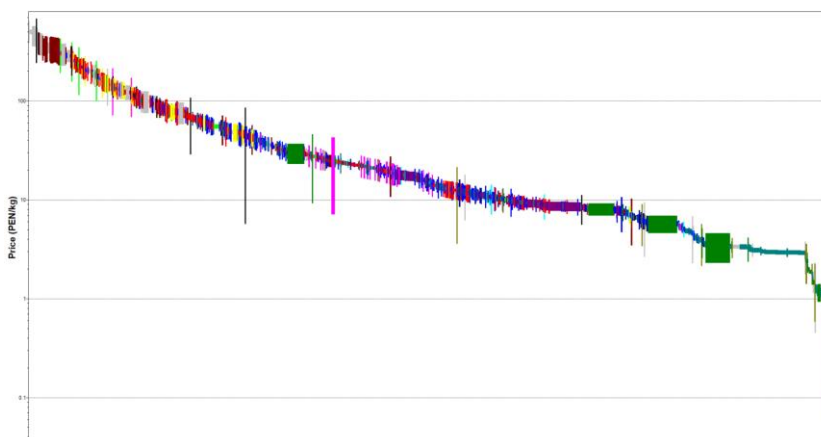
*Figura 21: Gráfica de Límite elástico de todos los materiales*



*Fuente: Software Granta Edupack*

En esta gráfica, se tienen que los metales y aleaciones, junto con los materiales compuestos son los que poseen mayor límite elástico. Debido a esto, también se le realizó un filtro con respecto al precio, el cual no debe exceder de los S/.300. Teniendo la siguiente gráfica.

*Figura 22: Gráfica de precio (S/. /kg= de todos los materiales menores a S/. 300*



*Fuente: Software Granta Edupack*

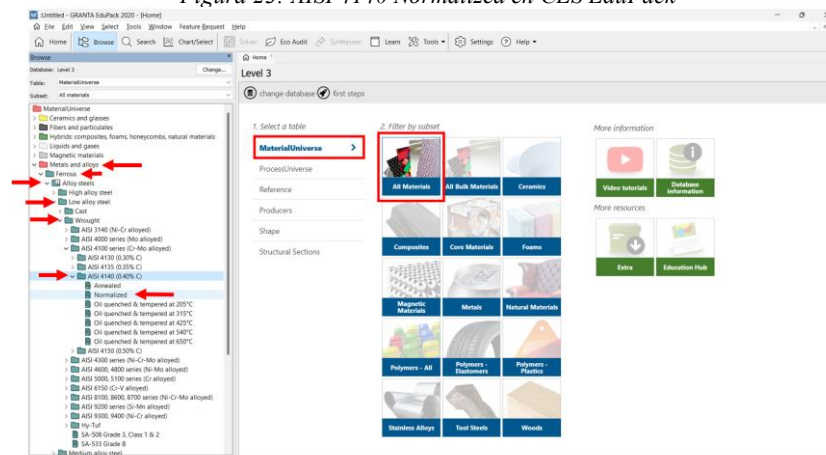
En esta gráfica se tiene como material de mayor precio el Kevlar 49 aramid fiber, y materiales de menor precio como el AISI 5160 y Hierro fundido EN GJMB 550-4. Después de tener estas gráficas, se procede a la selección de un material compuesto para su posterior ponderación.

Definido lo anteriormente, se selecciona el material epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up. Debido a su alta resistencia a la fatiga, su densidad es inferior a las aleaciones metálicas, su límite elástico es alto y su precio es menor a S/.300. Esto se observa en las tres gráficas adjuntadas en anexos.

Ahora, dentro de este apartado se tiene el acceso a la biblioteca de materiales, se seleccionó la opción MaterialUniverse, luego All materials, seguido de Metals and alloys, Ferrous, Alloy steels, Low alloy Steel, Wrought, AISI 4140 (0,40 % C); como se observa en la figura 16. Por

último, doble clic para obtener todas sus propiedades del material para posteriormente realizar la comparación.

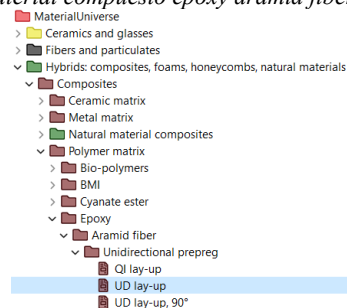
Figura 23: AISI 4140 Normalized en CES EduPack



Fuente: CES EduPack

Este procedimiento se realiza con cada material seleccionado, Stainless steel, martensitic, 17-4PH, H1100 o también llamado acero inoxidable 17-4PH o AISI 630, luego se busca el material compuesto Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up, la única diferencia es que ya no se buscará en Metal and alloys, ahora se encontrará en Hybrids, Composites, Polymer matrix y en Aramid fiber, como muestra la figura 17.

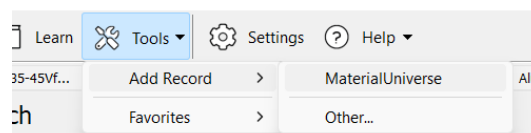
Figura 24: Material compuesto epoxy aramid fiber en CES EduPack



Fuente: CES EduPack

Con respecto al último material conseguido mediante un artículo, llamado AISI 5120 o también conocido como Scr420HB, se adicionó con la herramienta propia del software, como se muestra en la figura 18.

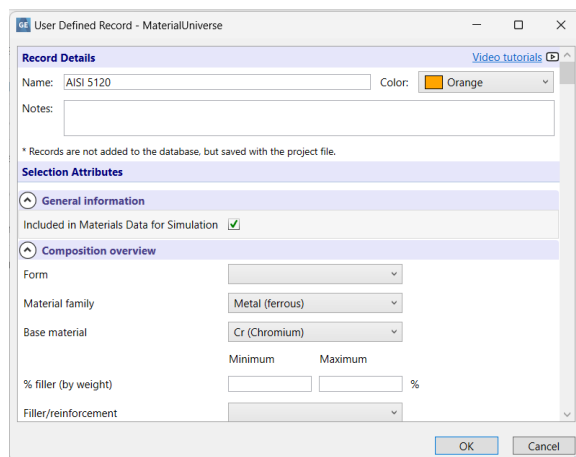
Figura 25: Agregar nuevo material a CES EduPack 2020



Fuente: CES EduPack

Se agregan todos los valores obtenidos, los más importantes son el módulo de Young, límite de fatiga, densidad, límite elástico y el coeficiente de Poisson, al finalizar de ingresar los datos se le da clic en OK, como se muestra en la figura 19.

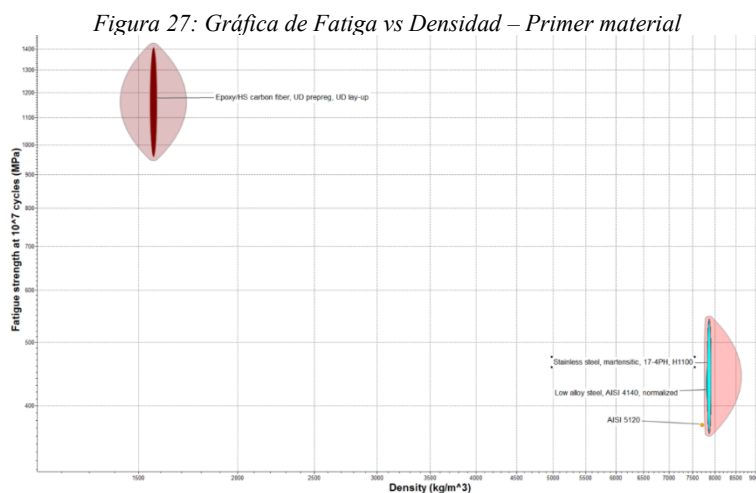
Figura 26: Agregar nuevo material (AISI 5120) en CES EduPack 2020



Fuente: CES EduPack

Una vez determinados todos los materiales a utilizar se pasa a crear los gráficos para la comparación de sus propiedades:

Gráfico 1: De los cuatro materiales elegidos, mediante la gráfica se puede observar que solo uno es compuesto mientras que los otros tres son metales y aleaciones. Además, se conoce que el de menor resistencia a la fatiga es el AISI 5120, mientras que el de mayor es el compuesto.



Fuente: Elaboración propia

Después de definir algunos materiales como posibles reemplazos para el acero aleado, se utilizó la metodología de Ulrich y Eppinger. De esta metodología, se aplicó la matriz ponderada,

Tabla 2: Escala de evaluación de conceptos

Desempeño relativo	Calificación
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual a la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

Fuente: [91]

en la cual se listan todos los conceptos planteados. Cada posible solución, en este caso los cuatro materiales considerados, se ubica de manera horizontal en la matriz, mientras que los criterios de selección se disponen de manera vertical. Posteriormente, se evalúa cada concepto en una escala de 1 a 5. El concepto que obtenga el mayor puntaje será la solución al problema planteado. Esta matriz también permite combinar soluciones para abordar el problema con mayor eficacia [91].

A continuación, se presenta un cuadro comparativo de los materiales más aptos para el nuevo material de fabricación del sistema de transmisión del mototaxi:

*Tabla 3: Propiedades de los materiales - 1*

Materiales	Módulo de Young (Gpa)	Coeficiente de Poisson	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Límite de fluencia (Mpa)	Límite de fatiga (Mpa)	Precio (S./ kg)	
						Min	Max
<b>Low alloy steel, AISI 4140, normalized</b>	216	0,295	7,9	715	534	2.92	3.36
<b>Scr420HB</b>	200	0,3	7,7	560	375	10	11.3
<b>Stainless steel, martensitic, 17-4PH, H1100</b>	207	0,281	7,9	876	552	20.3	21,7
<b>Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up</b>	154	0,34	1,58	2170	1410	129	143

*Fuente: Elaboración propia*

Para una buena selección del material se debe partir por el problema. Teniendo en cuenta que el sistema de transmisión debe ser resistente y de bajo costo. En otras palabras, un buen nivel de resistencia a la fatiga, tracción y corrosión, pero con menor costo. Por ello, a través del software CES EduPack se obtuvieron las fichas técnicas de sus propiedades mecánicas de cada material y se agruparon cuatro diferentes materiales en la tabla 3 para su evaluación mediante la matriz ponderada.

Tabla 4: Matriz ponderada para la selección del nuevo material -1

Criterio de Selección	Peso	Materiales							
		Low alloy steel, AISI 4140, normalized		Scr420HB		Stainless steel, martensitic, 17-4PH, H1100		Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
<b>Propiedades mecánicas</b>	25%								
Resistencia a la tracción	18	3	0,54	2	0,36	4	0,72	5	0,9
Rigidez	7	5	0,35	3	0,21	4	0,28	1	0,07
<b>Propiedades físicas</b>	20%								
Desgaste	20	2	0,4	1	0,2	4	0,8	5	1
<b>Durabilidad</b>	15%								
Resistencia a la corrosión	15	2	0,3	2	0,3	1	0,15	5	0,75
<b>Peso</b>	15%								
Material ligero	15	3	0,45	2	0,3	3	0,45	5	0,75
<b>Costo</b>	25%								
Bajo costo	25	5	1,25	4	1	3	0,75	1	0,25
Total de puntos			3,29		2,37		3,15		3,72
Lugar		2°		4°		3°		1°	
¿Continuar?		NO		NO		NO		SI	

Fuente: Elaboración propia

Al terminar con la comparación y el desarrollo de la matriz ponderada, se obtiene que la mejor opción es el material compuesto, Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, QI lay-up, debido a que obtiene el mayor puntaje en la matriz ponderada, teniendo 3,72 puntos. Por ello, se confirma que es la mejor alternativa para el engranaje. Resaltando sus propiedades muestra que este material destaca por su resistencia a la fatiga, es decir su deformación y fallo bajo cargas cíclicas será bajo en comparación con los otros materiales seleccionados. Ahora, con respecto a los impactos que reciben estas piezas del sistema de transmisión, este material no sería el adecuado. Por ende, al igual que Hyunwoong, Cheol, Sanghyeon, Bongjoon y Chaehong, se utilizará este material para la parte central del engranaje mientras que para los dientes se usará una aleación de acero que se elegirá a continuación.

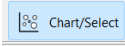
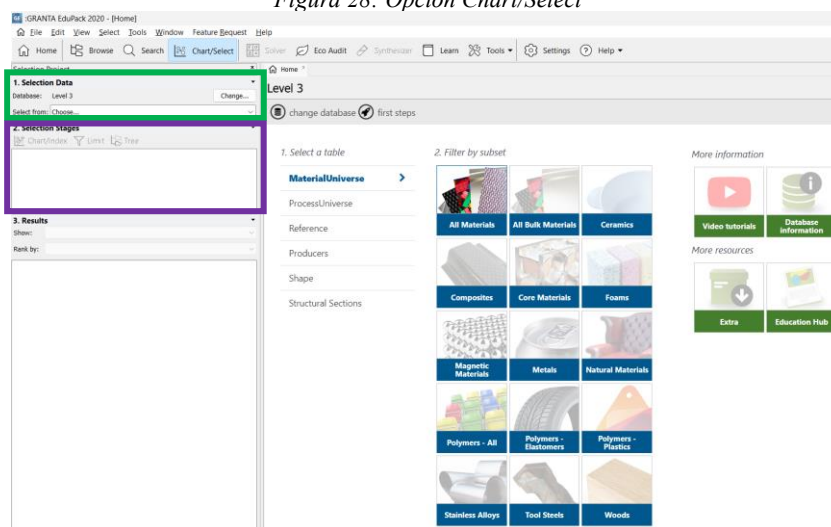
Empezando con la selección del acero que irá en la parte de los dientes de los engranajes, se seguirá la misma metodología. Primero se ingresa a la “Data bases”, Advanced y Level 3. Una vez realizado lo anterior, se selecciona la opción Chart/Select, ubicado en la parte superior del software, posee la siguiente forma. Luego, aparecerá  de la siguiente manera:

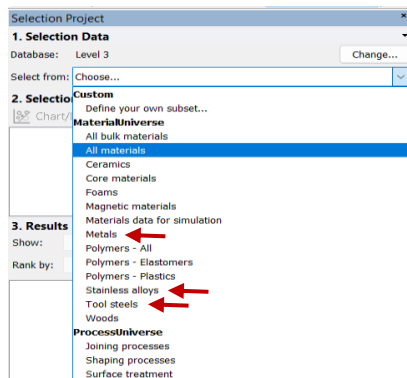
Figura 28: Opción Chart/Select



Fuente: CES EduPack

En la parte derecha de la pantalla, específicamente en el punto uno (color verde), en la parte donde dice Choose, se seleccionó en este caso, todos los materiales, debido a que se necesita comparar los metales, aleaciones de aceros inoxidable y acero para herramientas, como se observa en la siguiente figura:

Figura 29: Selección de la Database y form



Fuente: CES Edupack


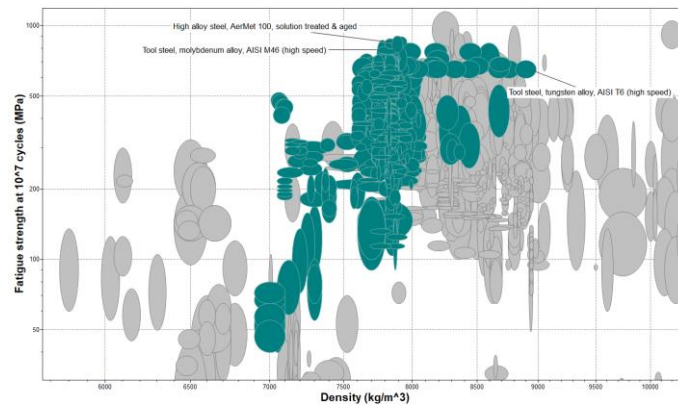
Después de definir lo anterior, en la parte 2 (color morado de la figura 21) se activan las tres opciones, primero se colocará un filtro, para esto hace clic en  Limit, aparecerá una pantalla, aquí se elegirá, forma y familia del material. Ahora, como filtro opcional se le colocó un precio máximo de S/. 300 y en durabilidad se seleccionaron las opciones como se muestra en la figura 23. Finalmente, se le da clic en aplicar.

Figura 30: Aplicación de filtro

Fuente: CES Edupack

Por último, se comienza a graficar, para esto se le da clic el Chart/Select. Luego de realizar esto, se tiene como primer gráfico el de fatiga vs densidad:

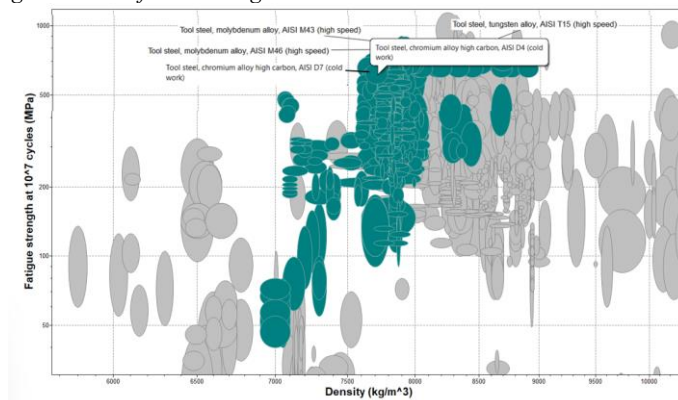
Figura 31: Gráfica de Fatiga vs Densidad - Segundo material



Fuente: Elaboración propia

En la figura 24, se pueden observar todos los materiales que pasaron el filtro, por ejemplo, se tiene el AISI T6 como material más denso y una resistencia a la fatiga alta. Superior a este material se puede observar que está el AISI M46, pero es menos denso, es decir es un poco más liviano. Por último, en la parte inferior se tienen las aleaciones de aluminio que son más livianas que el AISI M46, pero su resistencia a la fatiga es muy baja.

Figura 32: Gráfica de Fatiga vs Densidad - Con materiales seleccionados

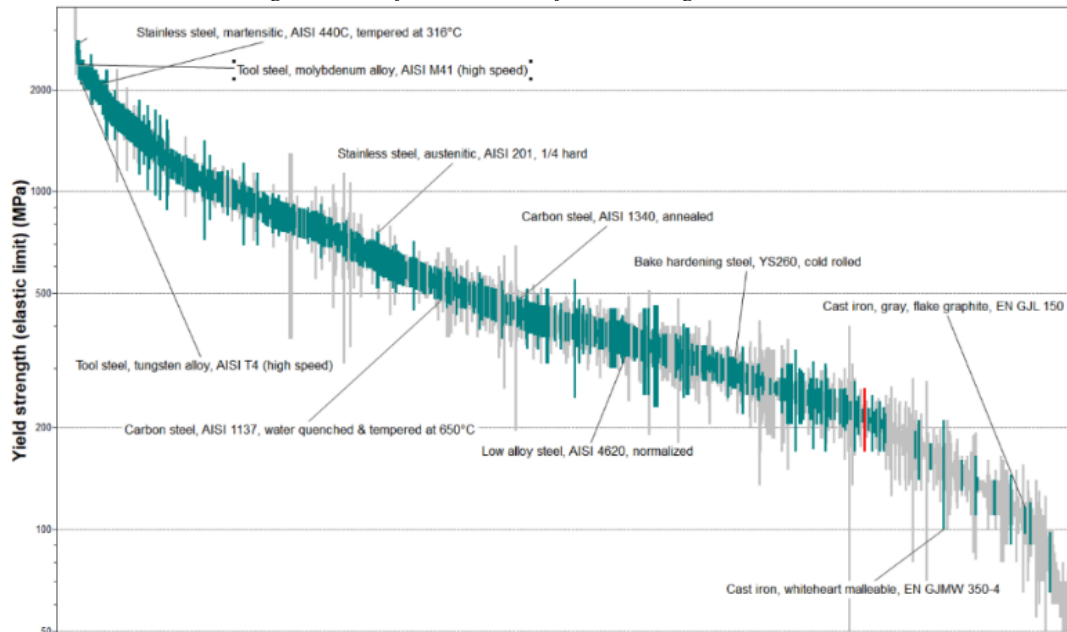


Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 25, se seleccionaron por ahora, cinco materiales en total, esto se basó en materiales que poseen una alta resistencia a la fatiga y que no tengan una densidad tan alta. Dentro de estos materiales se tiene, AISI M43, AISI M46, AISI D4, AISI D7 y AISI T2.

Se graficó según su límite a la fluencia, obteniendo las siguientes figuras:

Figura 33: Gráfica de límite de fluencia – Segundo material

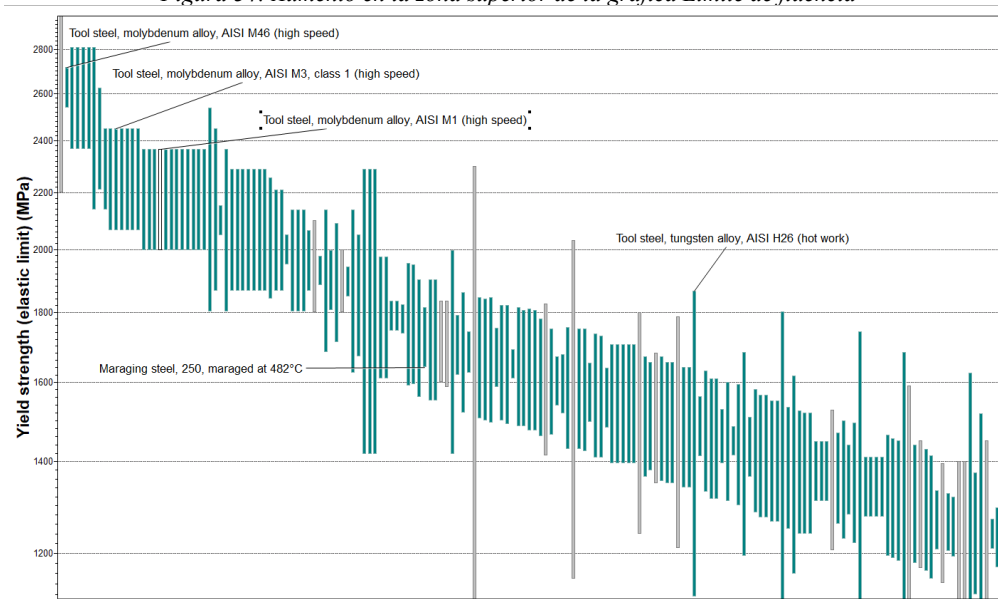


Fuente: Elaboración propia

En la figura 26 se observa que se tienen todos los materiales que pasaron el filtro. En este caso, los materiales que tienen un límite elástico alto son las aleaciones de acero, como el AISI T4, AISI M41, AISI 440C, etc. En la parte central se tiene, por ejemplo, AISI 4620 y AISI 1340. Mientras que en la última parte se observan materiales como el hierro fundido EN GJMW 350-4 y el EN GJL 350.

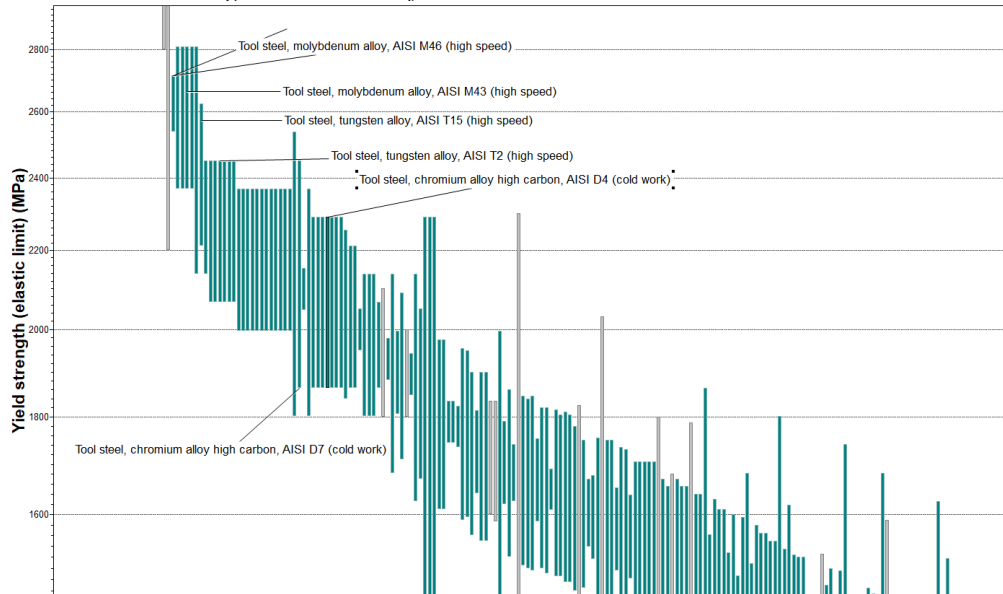
Luego se le realiza un aumento en la zona superior, para apreciar de mejor manera los materiales que tienen un mayor límite de fluencia, como se puede observar en las figuras 27 y 28.

Figura 34: Aumento en la zona superior de la gráfica Limite de fluencia



Fuente: Elaboración propia

Figura 35: Límite de fluencia con los materiales seleccionados

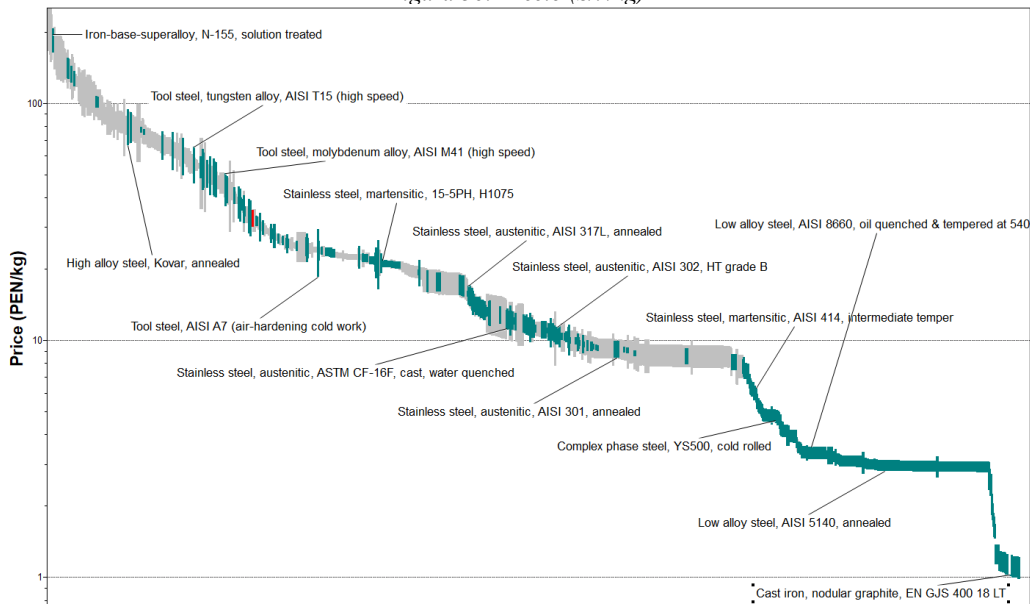


Fuente: Elaboración propia

En la gráfica de la figura 28, se observan los materiales elegidos para la matriz ponderada. En total son seis, el que posee mayor límite elástico es el AISI M46, seguido por el AISI M43, AISI T15, AISI T2, luego el AISI D7 y finalmente el AISI D4.

Después, se realizó la gráfica de precio (\$/kg). En la figura 29, se observan todos los materiales, algunos de estos se encuentran señalados, para saber cuáles son los de mayor y menor costo.

Figura 36: Precio (\$/kg)

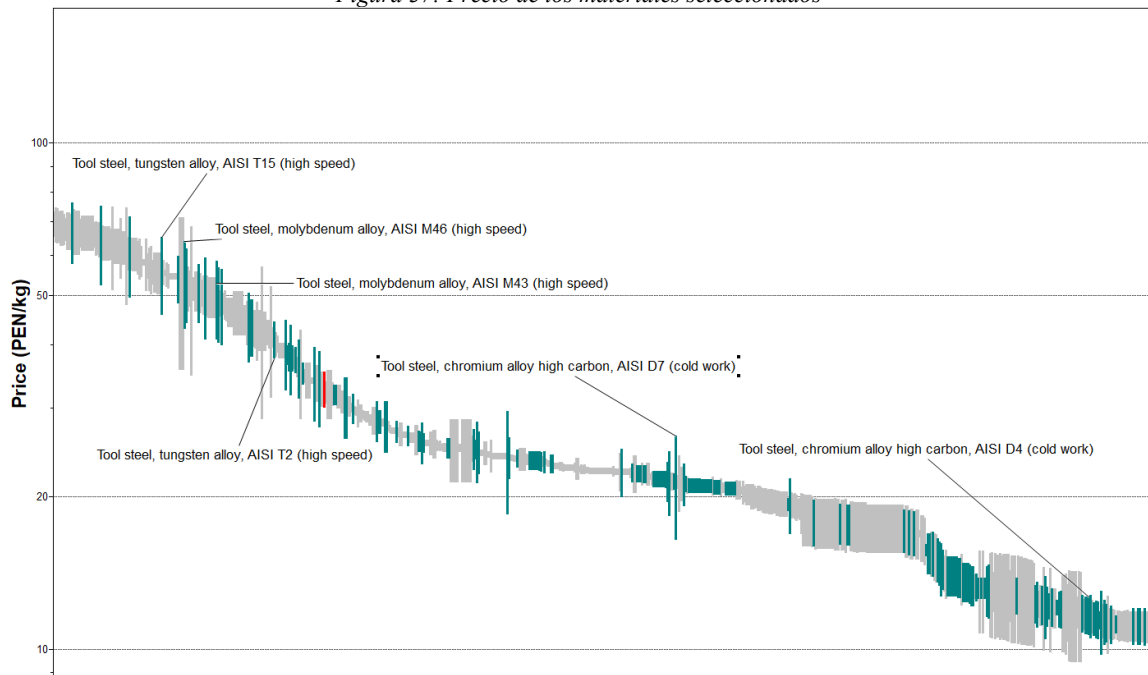


Fuente: Elaboración propia

Se agregó un pequeño aumento, pues el precio de los materiales elegidos varía de la zona más alta a la más baja. Esto se ve representado en la figura 30. Donde el de mayor precio es el

AISI T15 seguido del AISI M46 y el de menor costo es AISI D4. Mientras que el AISI M43, AISI T2 y AISI D7 tienen un precio moderado.

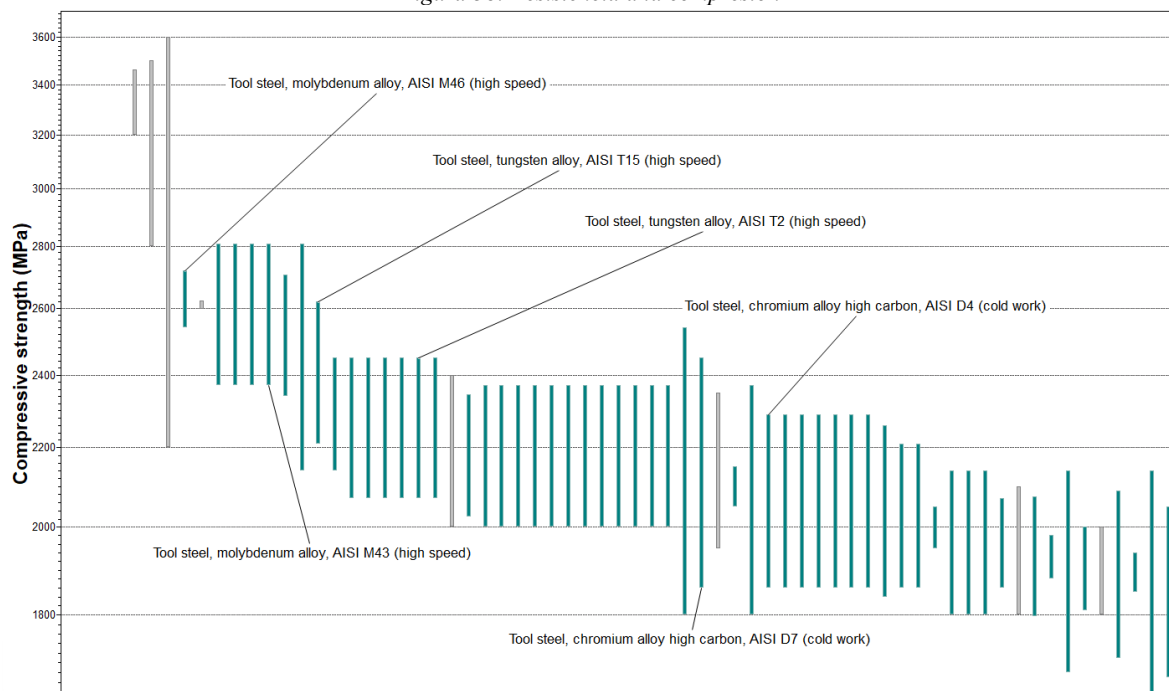
Figura 37: Precio de los materiales seleccionados



Fuente: Elaboración propia

Por último, se graficó la resistencia de compresión de los seis materiales seleccionados. Teniendo al AISI M46 con el valor más alto, seguido del AISI M43. Mientras que el AISI D7 y el AISI D4 son lo de valor más bajo.

Figura 38: Resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia

Se eligieron seis materiales, estos se presentan en la siguiente tabla con sus respectivas propiedades.

Tabla 5: Propiedades de los materiales – 2

Materiales	Young's Modulus (Gpa)	Poisson's ratio	Density (g/cm3)	Yield Strength (Mpa)	Endurance limit (Límite de fatiga)	Precio (S/. / kg)	
						Min	Max
<b>AISI M46 (high speed)</b>	231	0,295	7,9	2720	815	43	63,9
<b>AISI T15 (high speed)</b>	236	0,295	8,28	2620	787	45,7	65,3
<b>AISI M43 (high speed)</b>	232	0,295	8,53	2810	843	40,9	58,4
<b>AISI D4 (cold work)</b>	215	0,295	7,78	2290	697	10,7	12,7
<b>AISI T2 (high speed)</b>	246	0,295	8,76	2450	735	37,5	44,3
<b>AISI D7 (cold work)</b>	215	0,295	7,62	2450	735	16,4	26,4

Fuente: Elaboración propia

Se elaboró una segunda matriz ponderada para elegir el material que será utilizado en la cadena y en la parte externa (dientes) de los engranajes. Se obtuvo como ganador al AISI M43 (high speed), pues obtuvo un puntaje de 3,91, valor superior frente al resultado de los otros materiales. Teniendo como características, que posee una alta resistencia a la tracción y es un material rígido, además de ser resistente al desgaste y corrosión. Con un costo que varía desde los 41 hasta los 59 soles.

Tabla 6: Matriz ponderada para la selección del nuevo material– 2

Criterio de Selección	Peso	Materiales											
		AISI M46 (high speed)		AISI T15 (high speed)		AISI M43 (high speed)		AISI D4 (cold work)		AISI T2 (high speed)		AISI D7 (cold work)	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
<b>Propiedades mecánicas</b>	25%												
Resistencia a la tracción	18	4	0,72	3	0,4	5	0,9	1	0,18	2	0,36	2	0,36
Rigidez	7	3	0,21	4	0,28	3	0,21	1	0,07	5	0,35	1	0,07
<b>Propiedades físicas</b>	20%												
Desgaste	20	4	0,8	3	0,6	5	1	1	0,2	2	0,4	2	0,4
<b>Durabilidad</b>	15%												
Resistencia a la corrosión	15	5	0,75	5	0,75	5	0,75	1	0,15	3	0,45	2	0,3
<b>Peso</b>	15%												
Material ligero	15	3	0,45	3	0,45	2	0,3	4	0,6	1	0,15	5	0,75
<b>Costo</b>	25%												
Bajo costo	25	3	0,75	1	0,25	3	0,75	5	1,25	3	0,75	4	1
Total de puntos			3,68		2,87		<b>3,91</b>		2,45		2,46		2,88
Lugar			2°		4°		1°		6°		5°		3°
¿Continuar?			NO		NO		SI		NO		NO		NO

Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Simular el comportamiento del sistema de transmisión bajo diferentes escenarios de carga (estático estructural y fatiga) y según el principal factor de falla.

Mediante el objetivo uno de esta investigación se encontró que el principal factor de falla de eran las ruedas dentadas y sus cadenas. A continuación, se muestra el área de estudio (Figura 33) y sus características, Tabla 7, para simular el comportamiento de este sistema de una WX150-A Trimoto (Figura 32).

Figura 39: Trimoto WX150-A



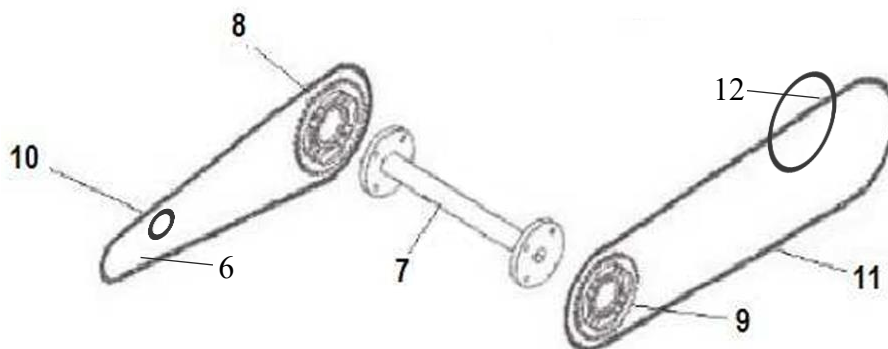
Fuente: [92]

Tabla 7: Características de la Trimoto WX150 – A

Modelo del vehículo	WX 150 - A
Tipo de motor	4T OHC
Motor	150 cc.
Potencia	12.06 HP - 8500 RPM
Torque	11Nm - 7500 RPM
Transmisión	Mecánica
Refrigeración	Por aire

Fuente: [92] [93]

Figura 40: Sistema de arrastre (Piñón, Catalina, Cadena de rodillos y Contra eje)



Fuente: [94]

Donde:

6 – Piñón de 15T, Paso 1/2" (12,7mm).

7 – Contra eje (50 cm).

8 y 9 – Catalina de 37T, Paso 1/2" (12,7mm).

10 – Cadena de arrastre (SBR 500) de 142 eslabones.

11 – Cadena de arrastre (SBR 500) de 150 eslabones.

12 – Catalina de 42T, Paso 1/2" (12,7mm).

Ahora, definidos los componentes del sistema de arrastre, se dibujó el CAD en el software SolidWorks. Cada pieza se realizó bajo las normas establecidas por el Instituto Nacional de Normalización Americano (ANSI o ASA), Instituto Alemán de Normalización (DIN) y por la Organización Internacional de Normalización (ISO). Cada unidad cumple con las normas ANSI B29.1, DIN 8187 e ISO 606, las cuales especifican las dimensiones y características en este caso de cadenas de rodillos y las ruedas dentadas que son utilizadas para este sistema de transmisión de mototaxi.

Se tiene el sistema de arrastre del mototaxi en CAD.

Figura 41: Sistema de arrastre del mototaxi WX 150 en el software SolidWorks



Fuente: Elaboración propia

### Ecuaciones analíticas

Se encuentran las fuerza y torques.

$$F_1 = \frac{T_1}{r} = \frac{11 \text{ N.m}}{\left(\frac{61,9}{2}\right) \frac{m}{1000}} = 355,41 \text{ N}$$

Donde:

$F_1$ : Fuerza en el diente del piñón (N)

$T_1$ : Torque en el piñón 15T (N.m)

$r$ : Radio del piñón (m)

Se halla el  $T_2$  para encontrar la  $F_2$ :

$$i_1 = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{15}{37} \quad \rightarrow \quad \frac{T_1}{i_1} = \frac{11 \text{ N.m}}{0,4054} = T_2 \quad \rightarrow \quad T_2 = 27,13 \text{ N.m}$$

Donde:

$T_2$ : Torque en la catalina 37T (N.m)

$i_1$ : Relación de transmisión entre piñón de 15T y catalina de 37T

$Z_1$ : Número de dientes del piñón

$Z_2$ : Número de dientes de la catalina

Hallando  $F_2$ :

$$F_2 = \frac{T_2}{r_1} = \frac{27,13 \text{ N.m}}{\left(\frac{149,76}{2}\right) \frac{m}{1000}} = 362,31 \text{ N}$$

Donde:

$F_2$ : Fuerza en el diente de la catalina (N)

$T_2$ : Torque en la catalina 37T (N.m)

$r_1$ : Radio de la catalina (m)

Se halla el  $T_3$  para encontrar la  $F_3$ :

$$i_2 = \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{37}{42} \quad \rightarrow \quad \frac{T_2}{i_4} = \frac{27,13 \text{ N.m}}{0,8809} = T_3 \quad \rightarrow \quad T_3 = 30,79 \text{ N.m}$$

Donde:

$T_2$ : Torque en la catalina 37T (N.m)

$i_2$ : Relación de transmisión entre catalina de 37T y 42T

$Z_3$ : Número de dientes de la catalina 37T

$Z_4$ : Número de dientes de la catalina 42T

Hallando  $F_2$ :

$$F_3 = \frac{T_3}{r_1} = \frac{30,79 \text{ N.m}}{\left(\frac{169,95}{2}\right) \frac{m}{1000}} = 362,34 \text{ N}$$

Donde:

$F_2$ : Fuerza en el diente de la catalina (N)

$T_3$ : Torque en la catalina 42T (N.m)

$r_1$ : Radio de la catalina (m)

## **Análisis Estático Estructural y Fatiga**

### **Sujeción y cargas**

Se tienen las siguientes cargas para cada engranaje:

Tabla 8: Cargas para engranaje aplicadas en la simulación

	Fuerza (N)
1	355,41
2	362,31
3	362,34

Fuente: Elaboración propia

Se colocó la sujeción en la parte central del engranaje, luego la fuerza en dirección x y en la zona del diente, esto se muestra en las siguientes figuras para cada engranaje.

La fuerza aplicada en la cadena se obtuvo mediante catálogo. Este menciona que la cadena tiene una fuerza de rotura de 12 kN. Entonces, para determinar la resistencia a la tracción de una cadena, se usará una prueba estándar, donde la carga o tensión se aplica gradualmente hasta que la cadena se rompe y se registra la carga [25]. Por ende, se aplicarán los siguientes valores.

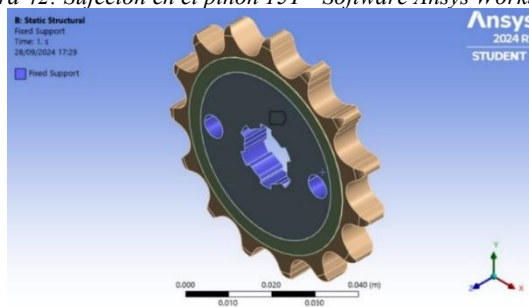
Tabla 9: Fuerza aplicada en la cadena 428H

	Fuerza (N)
1	1000
2	3000
3	6000
4	9000
5	12000

Fuente: Elaboración propia

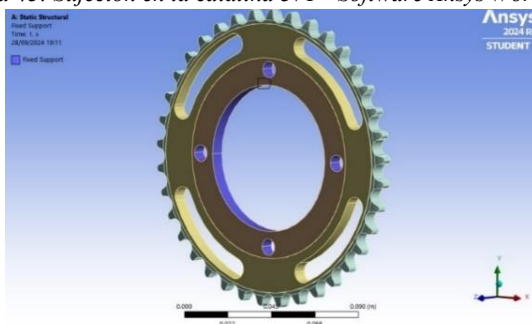
## - Sujeciones

Figura 42: Sujeción en el piñón 15T - Software Ansys Workbench



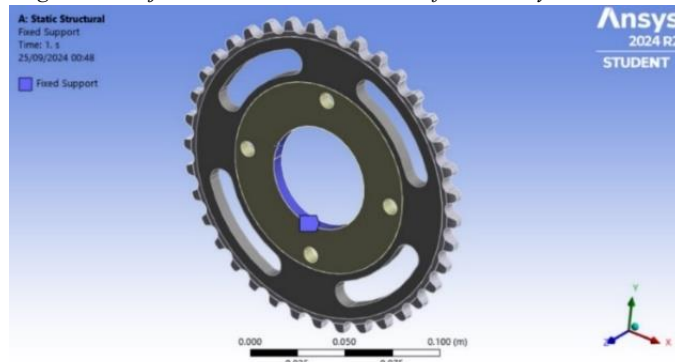
Fuente: Elaboración propia

Figura 43: Sujeción en la catalina 37T - Software Ansys Workbench



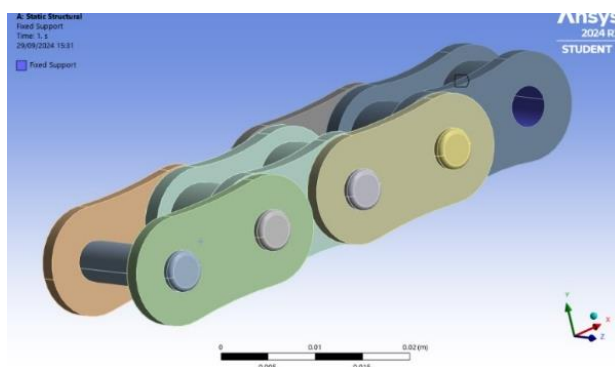
Fuente: Elaboración propia

Figura 44: Sujeción en la catalina 42T - Software Ansys Workbench



Fuente: Elaboración propia

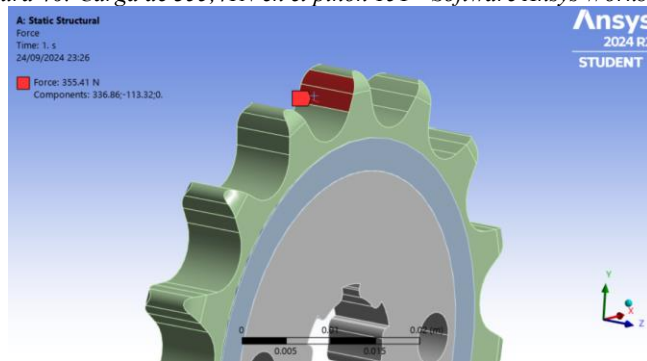
Figura 45: Sujeción en cadena 428H - Software Ansys Workbench



Fuente: Elaboración propia

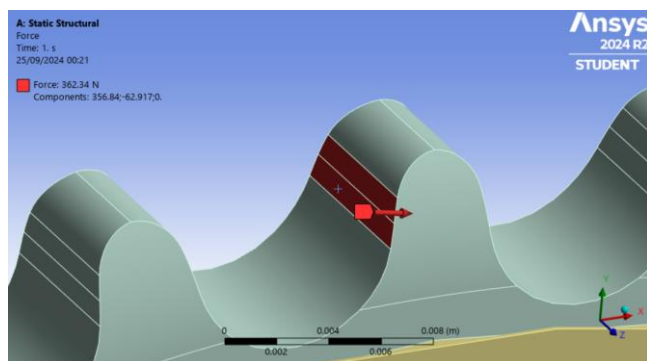
- Carga

Figura 46: Carga de 355,41N en el piñón 15T - Software Ansys Workbench



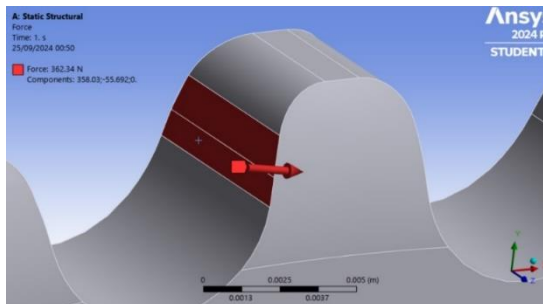
Fuente: Elaboración propia

Figura 47: Carga de 362,34 N en la catalina 37T - Software Ansys Workbench



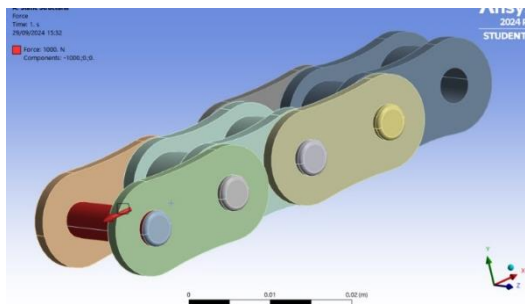
Fuente: Elaboración propia

Figura 48: Carga de 362,34 N en la catalina 42T - Software Ansys Workbench



Fuente: Elaboración propia

Figura 49: Carga de 1000 - 12000N en la cadena 428H - Software Ansys Workbench



Fuente: Elaboración propia

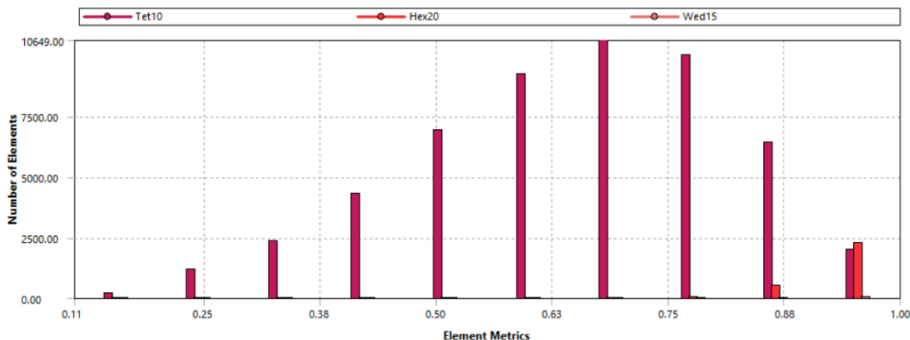
**Datos de mallado**

Se tienen los siguientes datos de mallado para cada engranaje. A continuación, se muestra solo la información del piñón, en anexos se puede observar de los demás componentes.

- Calidad de malla para el análisis estático estructural y de fatiga

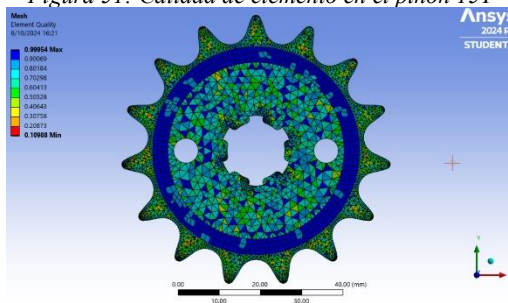
**Element Quality**

Figura 50: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elemento



Fuente: ANSYS Workbench

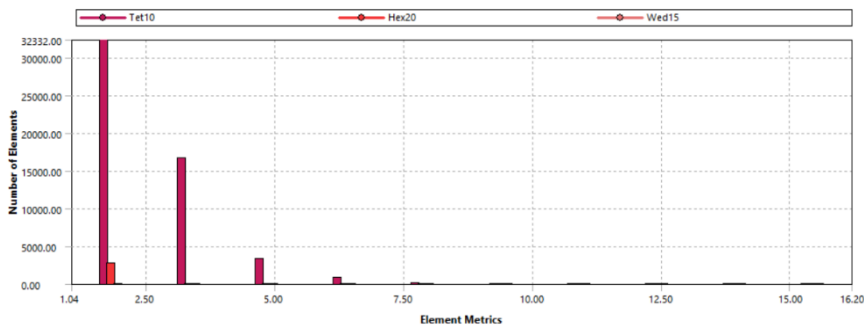
Figura 51: Calidad de elemento en el piñón 15T



Fuente: ANSYS Workbench

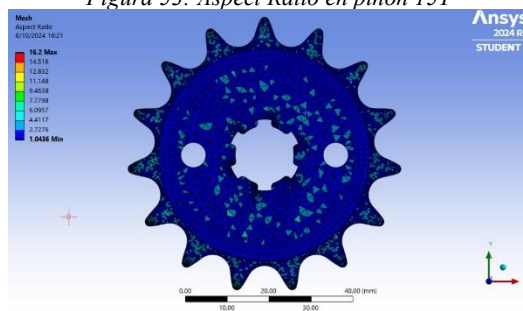
### Aspect Ratio

Figura 52: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect Ratio



Fuente: ANSYS Workbench

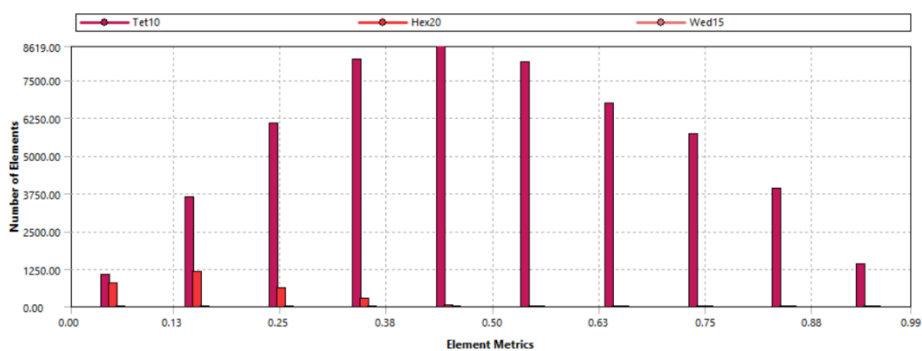
Figura 53: Aspect Ratio en piñón 15T



Fuente: ANSYS Workbench

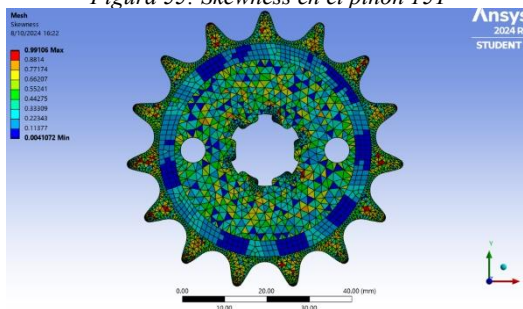
### Skewness

Figura 54: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 55: Skewness en el piñón 15T



Fuente: ANSYS Workbench

Después de observar estos tres criterios, se puede determinar que la malla empleada es de una calidad media.

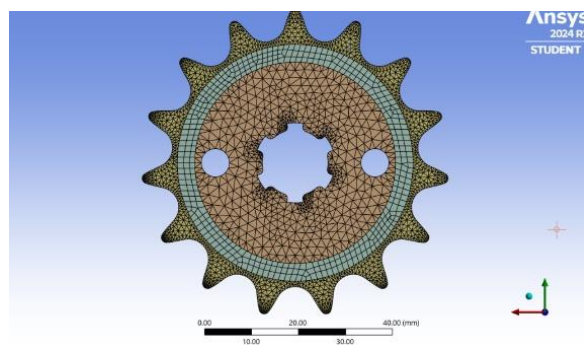
Tabla 10: Datos de mallado para la simulación del piñón 15T - 1/2"

Parámetros	Resultados
------------	------------

Preferencia física	Mecánica
Transición	Rápida
Diagonal del cuadro delimitador	93,196 mm
Alisado	Medio
Número de nodos	114268
Número de elementos	56120

Fuente: Elaboración propia

Figura 56: Mallado en el piñón 15T



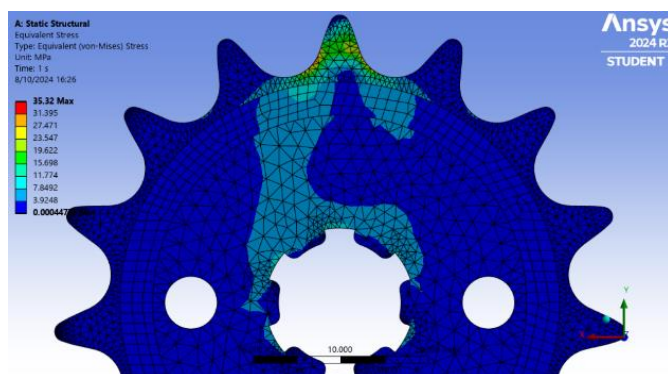
Fuente: Elaboración propia

## Resultados

**Piñón 15T – 1/2" AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up**  
**– Masa 0,11841 kg**

- Estático estructural
- Esfuerzo (Pa)

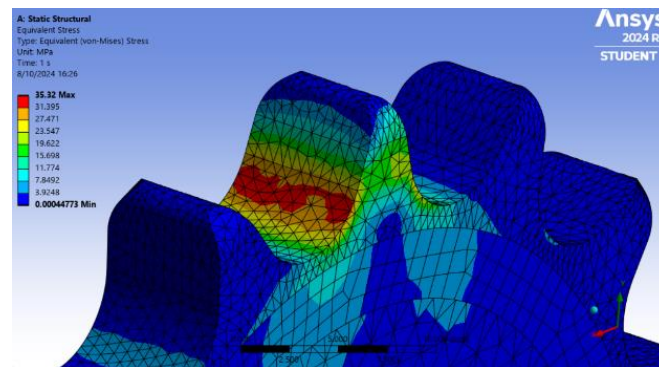
Figura 57 : Esfuerzos (Pa) en el piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

En la figura 57, se observan los diferentes esfuerzos, en pascuales, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 447,73 Pa y un valor máximo de 35,32 MPa, este esfuerzo se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 58. Por último, se tiene un esfuerzo promedio de 2,0813 MPa.

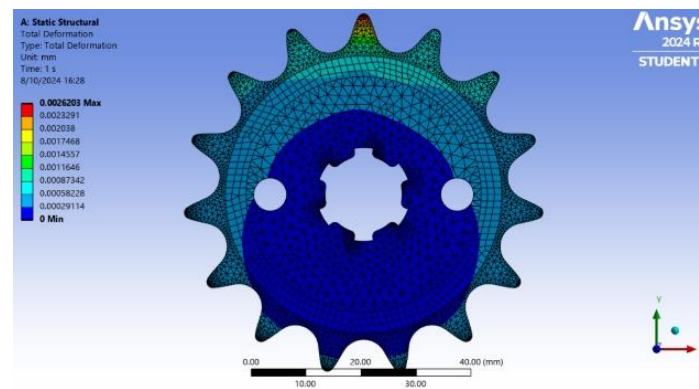
Figura 58: Máximos esfuerzos en el diente del piñón – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

- Desplazamientos (mm)

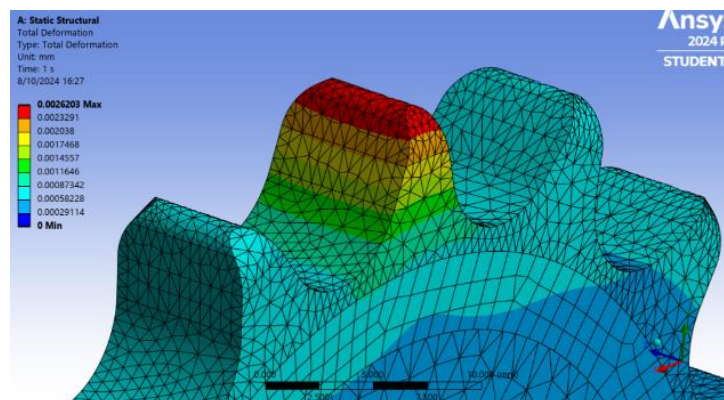
Figura 59: Desplazamientos (m) en el piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

En la figura 59, se observan los diferentes desplazamientos, en metros, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 0 mm y un valor máximo de 0,0026203 mm, este desplazamiento se presenta en la cresta del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 60. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de 0,00034523 mm.

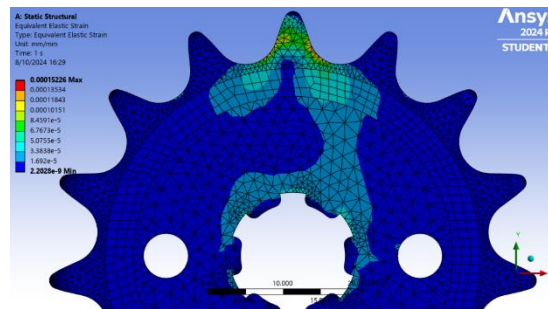
Figura 60: Desplazamientos máximos en el diente del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

- Deformación unitaria (mm/mm)

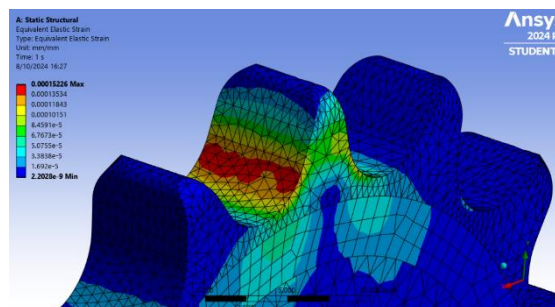
Figura 61: Deformaciones unitarias en el piñón 15T 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

En la figura 61, se observan las diferentes deformaciones, unidad adimensional, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo  $2,2028e-009$  mm/mm y un valor máximo de  $1,5226e-004$  mm/mm, esta deformación se presenta en el entalle del diente del engrane y en la unión de ambos materiales, representado de color rojo como se muestra en la figura 62. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de  $9,6275e-006$  mm/mm.

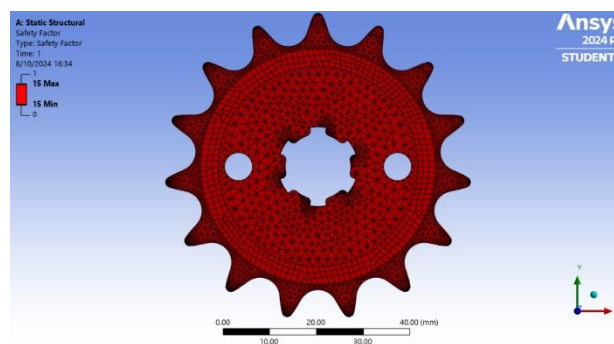
Figura 62: Deformaciones unitarias máximas en el piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

- Factor de seguridad

Figura 63: Factor de seguridad del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up

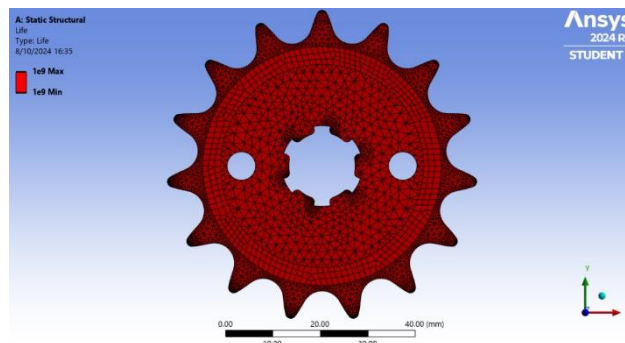


Fuente: Elaboración propia

En la figura 63, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con los materiales AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up. Teniendo como valor mínimo y máximo de 15. Es decir, el componente no llegará a fallar.

- Fatiga
  - Vida

Figura 64: Vida del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up

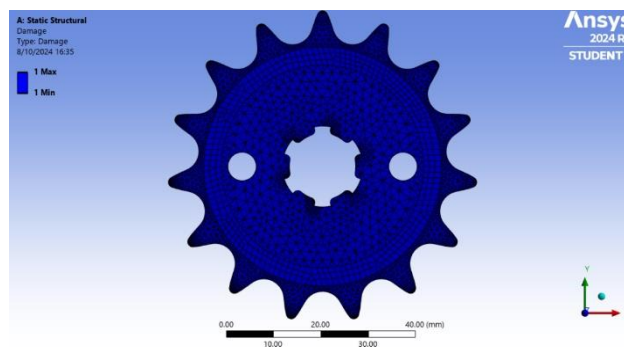


Fuente: Elaboración propia

En la figura 64, se observa la vida que posee la pieza con el material AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up. Teniendo como valor mínimo y máximo  $1 \times 10^9$ , es decir que posee vida infinita.

- Daño

Figura 65: Daño del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up

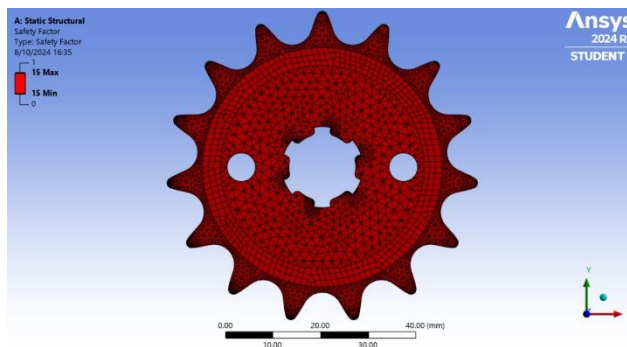


Fuente: Elaboración propia

En la figura 65, se observa el daño que posee la pieza con el material AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up. Teniendo como valor mínimo y máximo 1. Es decir que el daño será muy pequeño, esto queda comprobado por la vida del componente que es  $10^9$  ciclos.

- Factor de seguridad

Figura 66: Factor de seguridad en fatiga del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

En la figura 66, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con el material AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up pero en fatiga. Teniendo como valor mínimo y un valor máximo de 15, esto indica que no presentará una falla antes de que el componente alcance su vida útil.

- Modal
- Particiones de masa

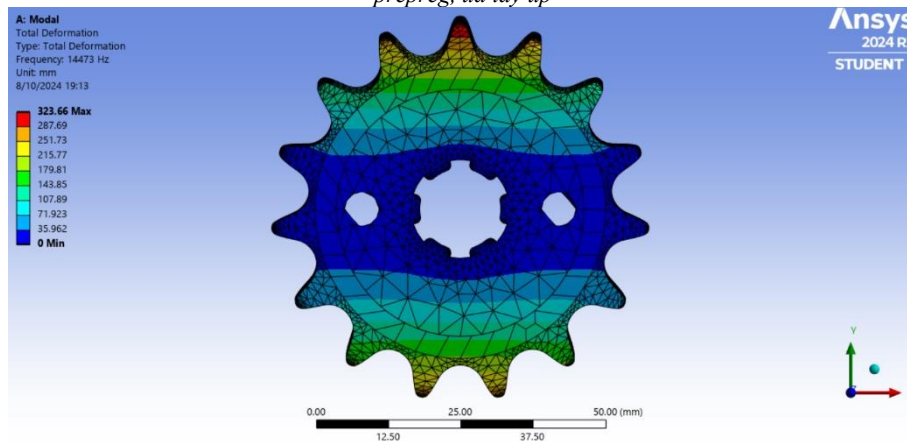
Tabla 11: Particiones de masa del piñón 15T

Modos	Frecuencia (Hz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z	Rotación X	Rotación Y	Rotación Z
1	14473	6.0129E-09	7.1702E-06	0.0014006	0.87594	2.7E-08	3.4E-08
2	14582	2.318E-08	1.5211E-08	0.4271	0.0029	1.5E-07	2E-08
3	19626	2.0766E-08	3.8E-09	1.739E-07	6E-07	5.1E-05	1.9E-07
4	20307	0.000011557	2.3524E-09	4.92E-08	8.4E-09	0.4697	1.1E-08
5	28180	5.8343E-08	4.1089E-07	3.749E-05	0.03045	4.1E-07	5.6E-07
6	29013	5.9449E-08	8.178E-09	0.11065	1.8E-05	1.4E-07	1.8E-07
7	32747	2.2501E-06	3.9165E-07	2.284E-08	1.1E-07	3.1E-06	0.84566
8	35905	0.0021706	1.4334E-07	4.099E-08	3E-07	0.24976	8.1E-06
9	36452	0.55332	3.8491E-06	1.085E-07	1.6E-08	0.00125	3.5E-06
10	36668	0.000036903	1.1327E-09	1.182E-07	3.3E-08	2E-05	6.2E-06
11	40709	5.1168E-07	7.9946E-07	0.031488	2.5E-06	4.9E-07	7.5E-07
12	44124	6.6904E-09	1.7898E-09	2.748E-05	0.0008	2.3E-07	3E-08
13	45460	8.7581E-08	8.0116E-07	1.269E-07	1.1E-07	0.03919	4.4E-07
14	49782	5.6693E-08	2.2871E-06	7.459E-08	3E-08	0.00022	2.9E-08
15	50132	4.7872E-09	5.8608E-06	0.0010795	2.8E-06	3.3E-08	3.2E-08
<b>Suma</b>		<b>0.55554</b>	<b>0.000021746</b>	<b>0.57179</b>	<b>0.91011</b>	<b>0.76019</b>	<b>0.84568</b>

Fuente: Elaboración propia

- Deformación total

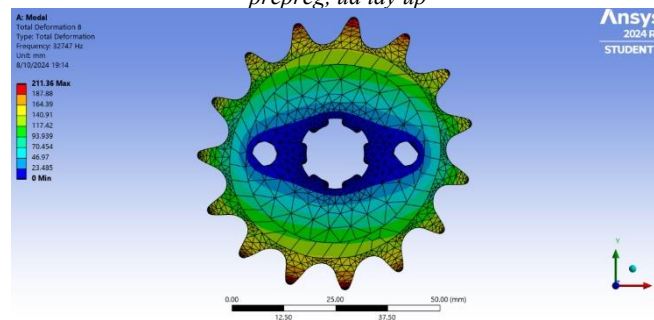
Figura 67: Deformación total en el piñón 15T - 1/2" - Modo 1 – AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta el piñón en el modo 1, tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 323,66mm. Además, posee una frecuencia natural de 14473 Hz.

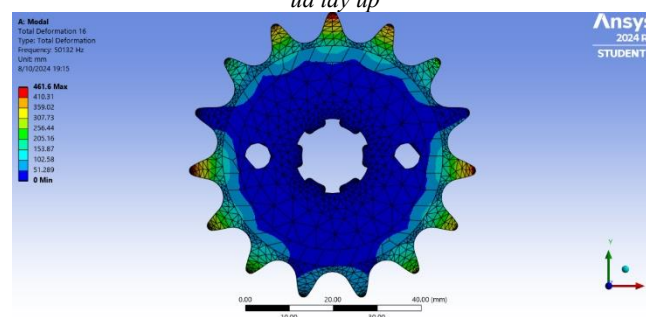
Figura 68: Deformación total en el piñón 15T - 1/2" – Modo 7 – AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta el piñón en el modo 7, tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 211,36 mm. Además, su frecuencia natural aumenta considerablemente hasta 32747 Hz.

Figura 69: Deformación total de en el piñón 15T - Modo 15 – AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up



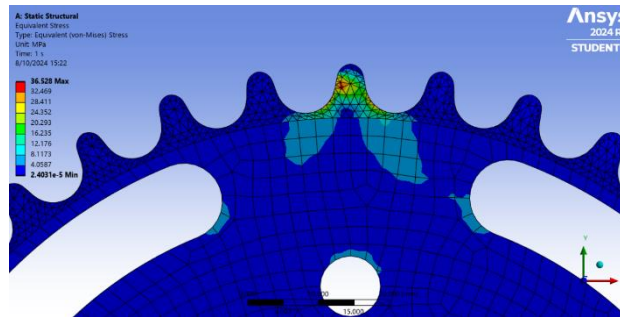
Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta el componente en el modo 15, tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 461,6mm. Además, su frecuencia natural sigue aumentando hasta 50132 Hz.

**Catalina 37T – 1/2" AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up – Masa 0,55104 kg**

- Estático estructural
- Esfuerzo (Pa)

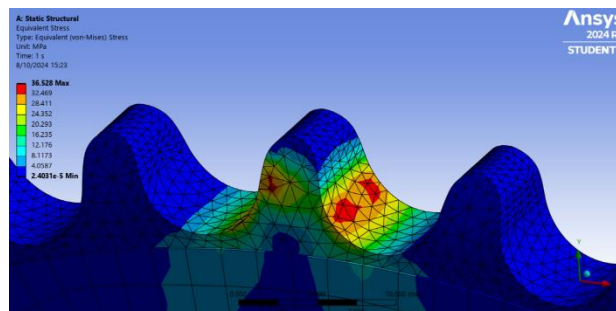
Figura 70 : Esfuerzos (Pa) en la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

En la figura 70, se observan los diferentes esfuerzos, en pascuales, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 24,031 Pa y un valor máximo de 36,528 MPa, este esfuerzo se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 71. Por último, se tiene un esfuerzo promedio de 0,60996 MPa.

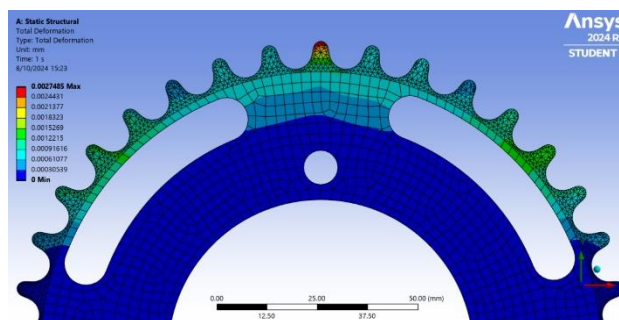
Figura 71: Máximos esfuerzos en el diente de la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

- Desplazamientos (m)

Figura 72: Desplazamientos (m) en la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up

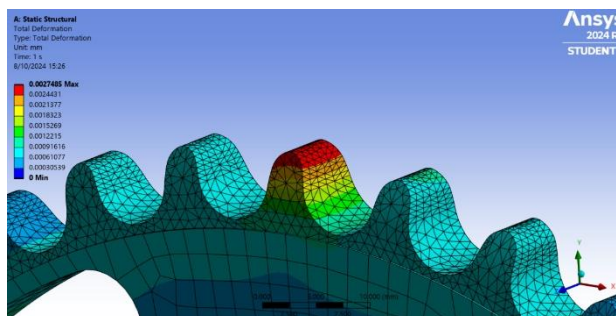


Fuente: Elaboración propia

En la figura 72, se observan los diferentes desplazamientos, en metros, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 0 m y un valor máximo de 0,0027485 mm, este desplazamiento

se presenta en la cresta del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 73. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de 0,00030381 mm.

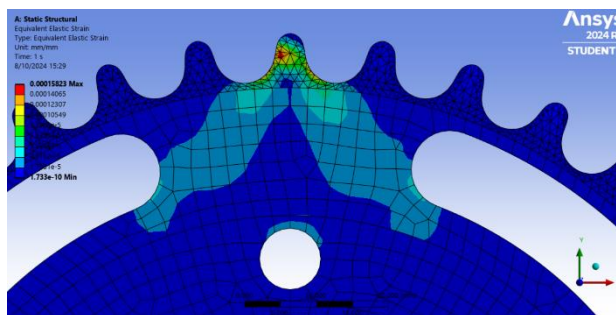
Figura 73: Desplazamientos máximos en el diente de la catalina 37T - 1/2" – Epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

- Deformación unitaria (m/m)

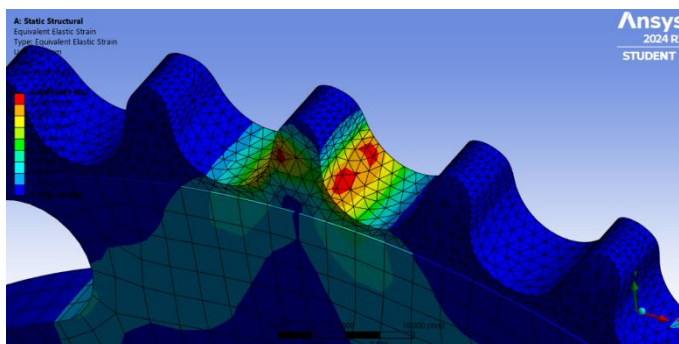
Figura 74: Deformaciones unitarias en la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

En la figura 74, se observan las diferentes deformaciones, unidad adimensional, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo  $1,733e-010$  mm/mm y un valor máximo de  $1,5823e-004$  mm/mm, esta deformación se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 75. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de  $2,9323e-006$  mm/mm.

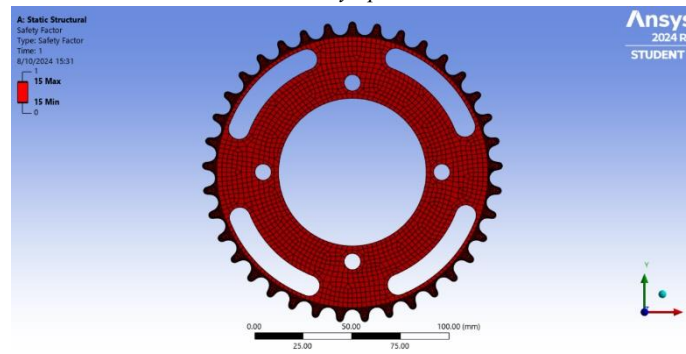
Figura 75: Deformaciones unitarias máximas en la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

- Factor de seguridad

Figura 76: Factor de seguridad de la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up

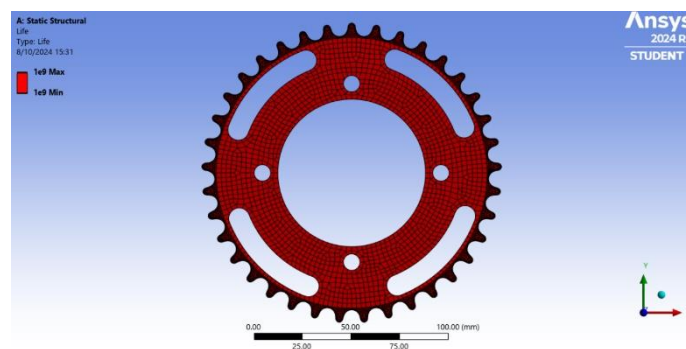


Fuente: Elaboración propia

En la figura 76, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con los materiales AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up. Teniendo como valor mínimo y máximo de 15. Es decir, el componente no llegará a fallar.

- Fatiga
- Vida

Figura 77: Vida de la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up

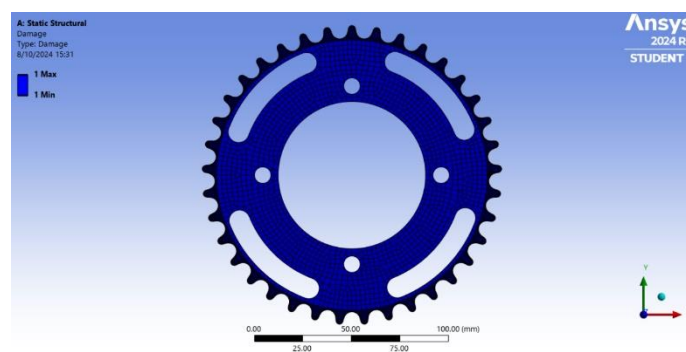


Fuente: Elaboración propia

En la figura 77, se observa la vida que posee la pieza con el material AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up. Teniendo como valor mínimo y máximo  $1 \times 10^9$ , es decir que posee vida infinita.

- Daño

Figura 78: Daño de la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up

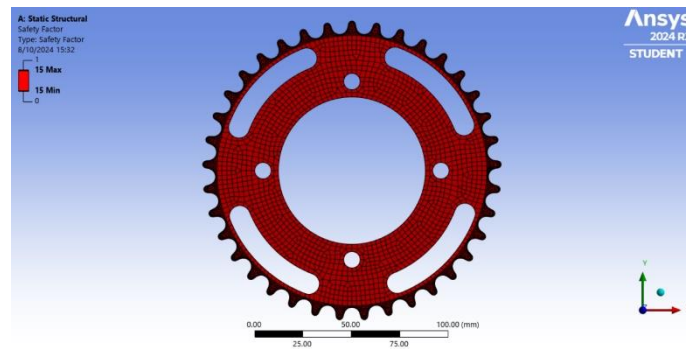


Fuente: Elaboración propia

En la figura 78, se observa el daño que posee la pieza con el material AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up. Teniendo como valor mínimo y máximo 1. Es decir que el daño será muy pequeño, esto queda comprobado porque el valor es muy cercano a cero y por la vida del componente que es  $10^9$  ciclos.

- Factor de seguridad

Figura 79: Factor de seguridad en fatiga de la catalina 37T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

En la figura 79, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con los materiales AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up. Teniendo como valor mínimo y máximo de 15. Esto indica que no tendrá una falla antes de que el componente alcance su vida útil.

- Modal

- Particiones de masa

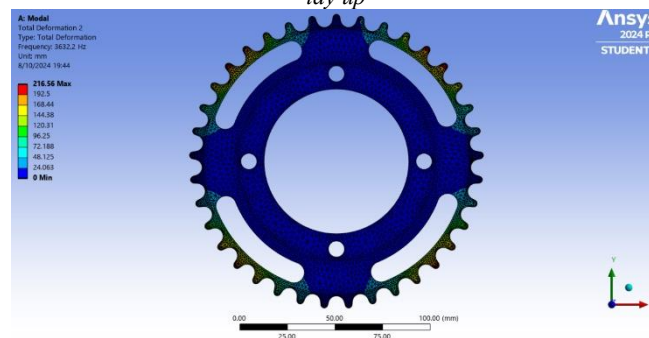
Tabla 12: Particiones de masa de la catalina 37T

Modos	Frecuencia (Hz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z	Rotación X	Rotación Y	Rotación Z
1	3632.2	2.30E-09	5.60E-10	1.38E-06	2.13E-05	1.77E-04	1.28E-11
2	3758.2	4.05E-06	3.68E-06	2.26E-05	0.13404	1.42E-01	4.19E-11
3	3759.8	3.73E-06	4.05E-06	1.15E-04	1.42E-01	0.13389	1.73E-11
4	3896.8	1.86E-10	4.02E-09	0.18261	1.95E-04	2.67E-05	1.94E-10
5	7144.4	2.63E-04	3.80E-05	6.17E-11	1.44E-10	3.70E-08	1.16E-08
6	7436	3.76E-02	3.93E-02	2.79E-09	2.23E-05	1.05E-05	2.33E-06
7	7438.3	3.91E-02	3.76E-02	4.16E-09	1.35E-05	2.04E-05	5.68E-07
8	7633.3	1.84E-06	5.39E-06	4.10E-09	2.58E-02	9.79E-03	3.41E-06
9	7646.6	2.92E-06	3.55E-06	2.93E-05	4.15E-03	6.96E-02	1.94E-05
10	7660.1	2.50E-07	6.71E-06	1.06E-06	7.29E-02	1.48E-03	3.64E-06
11	7685.7	9.47E-06	1.02E-06	4.72E-05	4.92E-03	2.67E-02	4.65E-05
12	7914.4	4.24E-07	6.77E-06	7.50E-05	6.74E-06	8.14E-07	8.16E-10
13	8516.6	1.95E-03	9.12E-04	3.52E-07	2.13E-05	6.34E-05	4.27E-02
14	8642.2	9.29E-08	8.97E-03	3.98E-07	1.44E-04	1.81E-07	8.32E-03
15	8760.6	1.28E-02	1.46E-03	1.13E-09	2.67E-05	1.68E-04	1.12E-02
<b>SUMA</b>		<b>9.17E-02</b>	<b>8.83E-02</b>	<b>1.83E-01</b>	<b>3.85E-01</b>	<b>3.84E-01</b>	<b>6.23E-02</b>

Fuente: Elaboración propia

- Deformación total

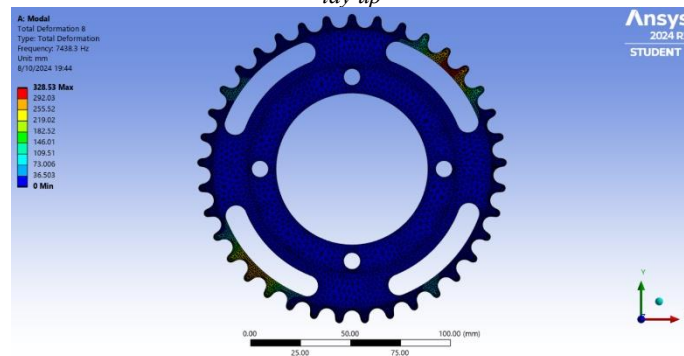
Figura 80: Deformación total en la catalina 37T - Modo 1 – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 1 (Figura 80), tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 216,56mm. Además, posee una frecuencia natural de 3632,2 Hz.

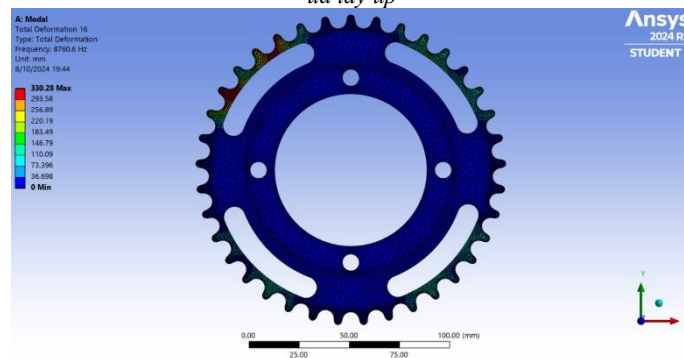
Figura 81: Deformación total en la catalina 37T - Modo 7 – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 7 (Figura 81), tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 328,53 mm. Además, su frecuencia natural aumenta considerablemente hasta 7438,3 Hz.

Figura 82: Deformación total de la catalina 37T - Modo 15 - AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 15 (Figura 82), tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 330,28 mm. Además, su frecuencia natural sigue aumentando hasta 8760,6 Hz.

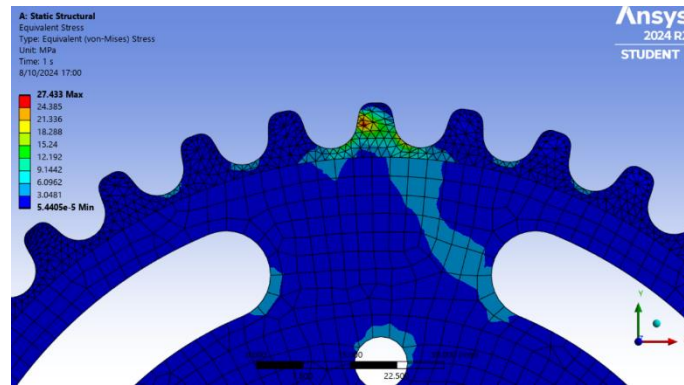
**Catalina 42T – 1/2" AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up – Masa 0,62677 kg**

- Estático estructural

- Esfuerzo (Pa)

Figura 83 : Esfuerzos (Pa) en la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-

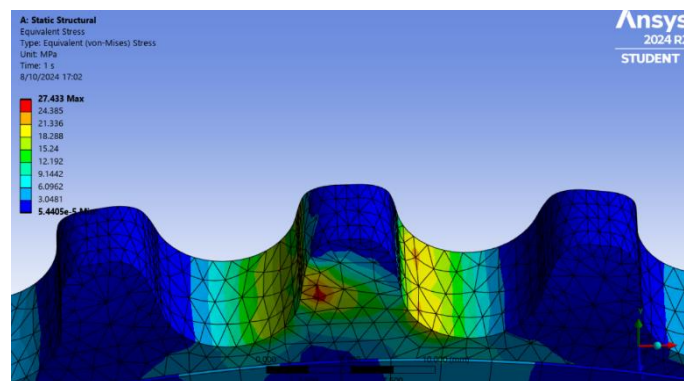
up



Fuente: Elaboración propia

En la figura 83, se observan los diferentes esfuerzos, en pascuales, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 54,405 Pa y un valor máximo de 27,433 MPa, este esfuerzo se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 84. Por último, se tiene un esfuerzo promedio de 0,58433 MPa.

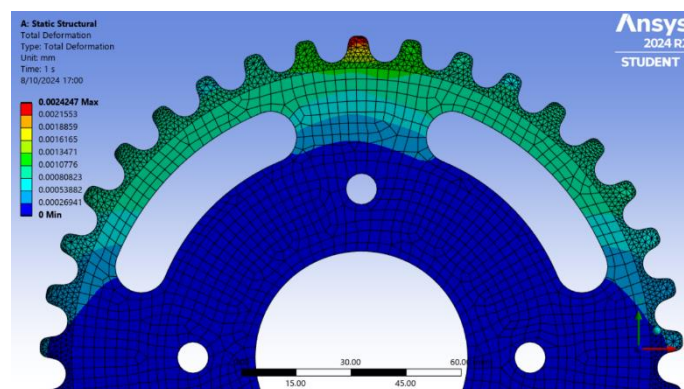
Figura 84: Máximos esfuerzos en el diente de la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up



Fuente: Elaboración propia

- Desplazamientos (mm)

Figura 85: Desplazamientos (m) en la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up

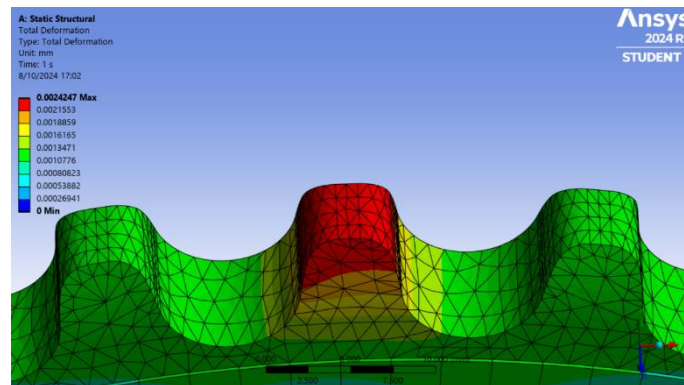


Fuente: Elaboración propia

En la figura 85, se observan los diferentes desplazamientos, en metros, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 0 m y un valor máximo de 0,0024247 mm, este desplazamiento

se presenta en la cresta del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 86. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de 0,0003922 mm.

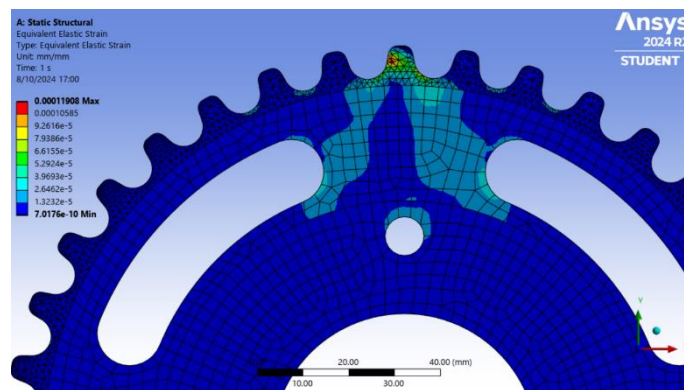
Figura 86: Desplazamientos máximos en el diente de la catalina 42T - 1/2" – Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up



Fuente: Elaboración propia

- Deformación unitaria (mm/mm)

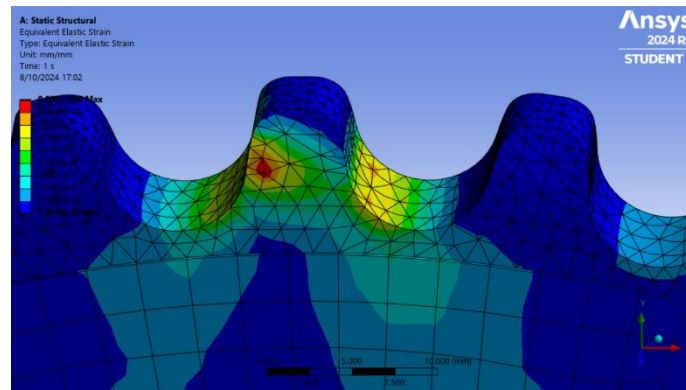
Figura 87: Deformaciones unitarias en la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up



Fuente: Elaboración propia

En la figura 87, se observan las diferentes deformaciones, unidad adimensional, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo  $7,0176e-010$  mm/mm y un valor máximo de  $1,1908e-004$  mm/mm, esta deformación se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 88. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de  $2,8845e-006$  mm/mm.

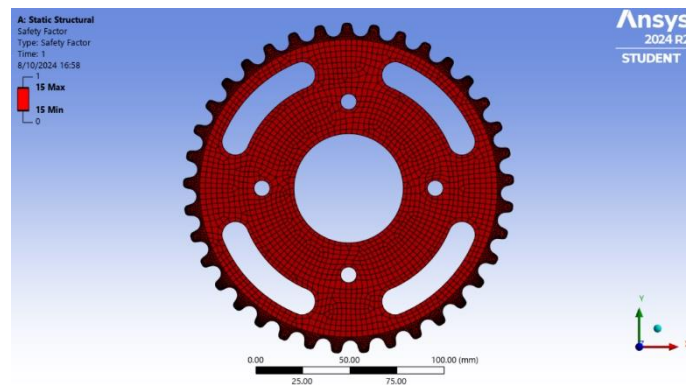
Figura 88: Deformaciones unitarias máximas en la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up



Fuente: Elaboración propia

- Factor de seguridad

Figura 89: Factor de seguridad de la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up

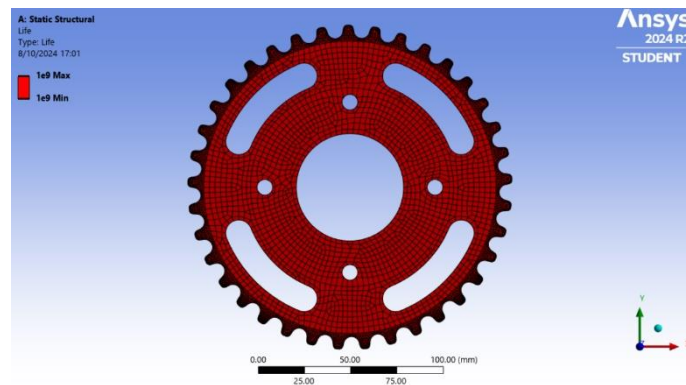


Fuente: Elaboración propia

En la figura 89, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con los materiales AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up. Teniendo como valor mínimo y máximo de 15. Es decir, el componente no llegará a fallar.

- Fatiga
- Vida

Figura 90: Vida de la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up

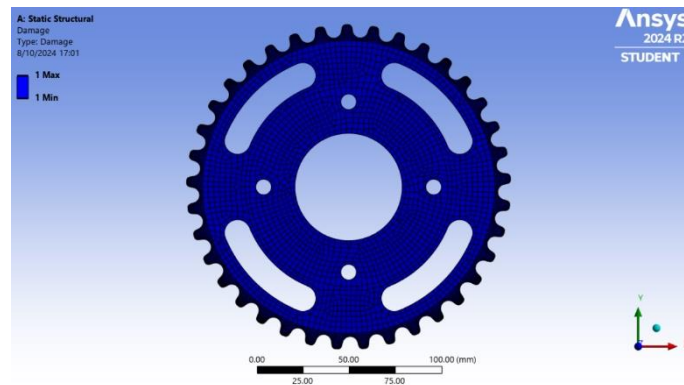


Fuente: Elaboración propia

En la figura 90, se observa la vida que posee la pieza con los materiales AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up. Teniendo como valor mínimo y máximo  $1 \times 10^9$ , es decir que posee vida infinita.

- Daño

*Figura 91: Daño de la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up*

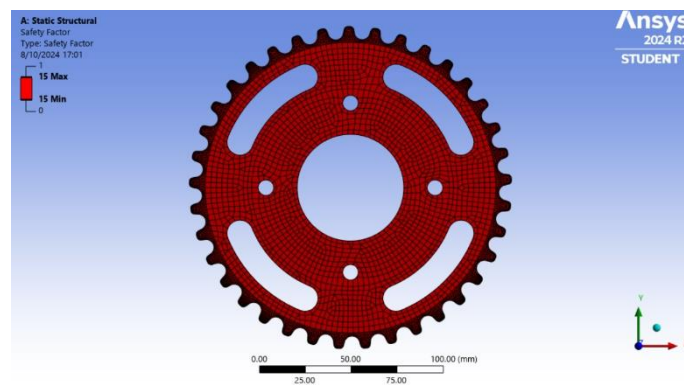


*Fuente: Elaboración propia*

En la figura 91, se observa el daño que posee la pieza con los materiales AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up. Teniendo como valor mínimo y máximo 1. Es decir que el daño será muy pequeño, esto queda comprobado por la vida del componente que es  $10^9$  ciclos.

- Factor de seguridad

*Figura 92: Factor de seguridad en fatiga de la catalina 42T - 1/2" – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up*



*Fuente: Elaboración propia*

En la figura 92, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con los materiales AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up pero en fatiga. Teniendo como valor mínimo y máximo de 15, esto indica que no tendrá una falla antes de que el componen alcance su vida útil.

- Modal
- Particiones de masa

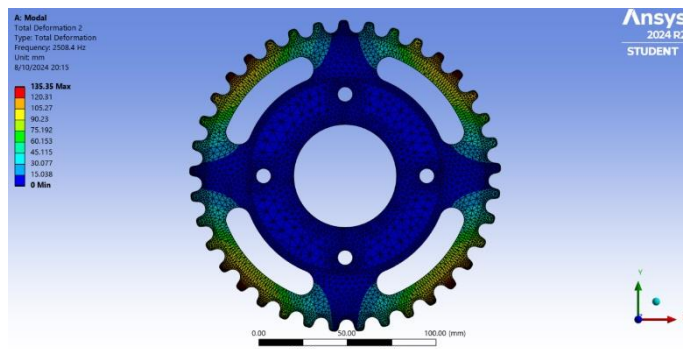
Tabla 13: Particiones de masa de la catalina 42T

Modos	Frecuencia (Hz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z	Rotación X	Rotación Y	Rotación Z
1	2508.4	1.86E-12	1.38E-11	1.06E-09	2.79E-07	2.33E-07	1.07E-15
2	2716.3	2.25E-07	4.07E-06	1.42E-07	0.42885	2.37E-02	1.17E-11
3	2716.4	4.08E-06	2.25E-07	1.06E-08	2.37E-02	0.42867	1.00E-11
4	2899.4	1.58E-12	1.23E-12	0.28128	1.76E-07	7.14E-08	1.49E-11
5	4446.6	1.10E-13	1.13E-16	6.81E-10	5.97E-07	1.69E-08	8.99E-11
6	4748.5	4.38E-10	1.01E-06	7.07E-09	1.52E-01	1.03E-04	2.54E-10
7	4750.3	1.04E-06	7.62E-10	2.46E-09	1.02E-04	1.53E-01	8.83E-12
8	5735.2	2.14E-10	2.49E-11	4.32E-10	8.91E-09	7.73E-09	1.43E-06
9	6111.6	8.92E-11	3.33E-10	4.42E-02	5.81E-09	3.48E-09	4.83E-10
10	7929	6.97E-07	3.47E-05	1.65E-09	2.22E-02	4.38E-04	2.19E-10
11	7929.3	3.47E-05	7.55E-07	2.43E-10	4.39E-04	2.23E-02	1.26E-08
12	9227	5.11E-06	7.51E-07	6.97E-11	4.28E-14	6.97E-10	5.84E-01
13	10049	1.65E-01	5.01E-02	2.55E-10	1.27E-06	4.30E-06	9.91E-06
14	10049	5.01E-02	1.65E-01	1.48E-10	4.24E-06	1.25E-06	1.39E-05
15	10220	3.44E-04	4.74E-05	2.69E-12	4.18E-09	1.55E-08	2.44E-08
<b>SUMA</b>		<b>2.15E-01</b>	<b>2.15E-01</b>	<b>3.25E-01</b>	<b>6.28E-01</b>	<b>6.28E-01</b>	<b>5.84E-01</b>

Fuente; Elaboración propia

- Deformación total

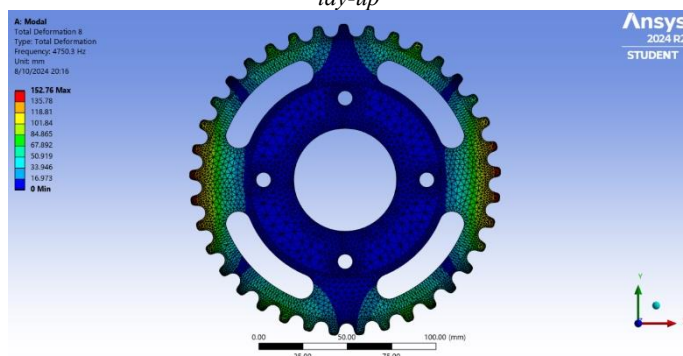
Figura 93: Deformación total en la catalina 42T - Modo 1 – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 1 (Figura 93), tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 135,35mm. Además, posee una frecuencia natural de 2508,4 Hz.

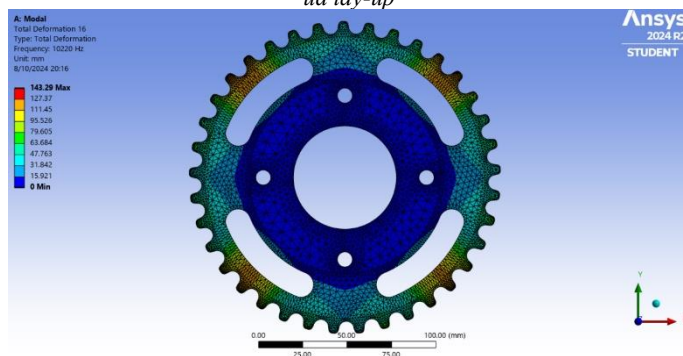
Figura 94: Deformación total en la catalina 42T - Modo 7 – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 7 (Figura 94), tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 152,76mm. Además, su frecuencia natural aumenta considerablemente hasta 4750,3 Hz.

Figura 95: Deformación total de la catalina 42T - Modo 15 – AISI M43 (high speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 15 (Figura 95), tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 143,29 mm. Además, su frecuencia natural sigue aumentando hasta 10220 Hz.

Terminadas las simulaciones de los engranajes con todas las cargas especificadas en la tabla 8 y con los dos materiales indicados, se registraron todos los valores obtenidos en la siguiente tabla:

En la tabla 14, se presentan las fuerzas (N), masa (kg), esfuerzos (Pa), desplazamientos (mm), deformaciones (m/m) y factor de seguridad de cada engranaje utilizado en el sistema de arrastre del mototaxi. Estos valores se obtuvieron en el análisis estático estructural realizado con el material AISI 1045.

Tabla 14: Resultados del análisis estático estructural de los engranajes con diferentes cargas con el material AISI 1045

AISI 1045	Fuerza (N)	Masa (kg)	Esfuerzos (MPa)			Desplazamientos (mm)			Deformaciones unitarias (m/m)			FS	
			Min	Max	Medio	Min	Max	Medio	Min	Max	Medio	Min	Max
Piñón 15T	355,41	0,13511	4,38 E-04	33,754	2,04	0	2,84 E-03	3,90 E-04	2,42 E-09	1,69 E-04	1,05 E-05	9,184	15
Catalina 37T	362,31	0,55104	2,19 E-05	36,2	0,565	0	2,69 E-03	2,64 E-04	1,44 E-10	1,83 E-04	2,94 E-06	8,563	15
Catalina 42T	362,34	0,91044	1,62 E-04	27,418	0,546	0	2,31 E-03	3,50 E-04	1,77 E-09	1,38 E-04	2,83 E-06	11,307	15

Fuente: Elaboración propia

Ahora, en la tabla 15, se detalla la vida útil, daño y factor de seguridad de cada engranaje, obtenidos a través del análisis de fatiga. Este análisis se realizó después del análisis estático estructural, utilizando el material AISI 1045.

Tabla 15: Resultados del análisis de fatiga de los engranajes con diferentes cargas con el material AISI 1045

AISI 1045	Vida		Daño		FS	
	Min	Max	Min	Max ( $10^9$ )	Min	Max
Piñón 15T	$1 \times 10^9$	$1 \times 10^9$	1	1	5,7195	15
Catalina 37T	$1 \times 10^9$	$1 \times 10^9$	1	1	5,3329	15
Catalina 42T	$1 \times 10^9$	$1 \times 10^9$	1	1	7,0412	15

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16, se presentan las fuerzas (N), masa (kg), esfuerzos (Pa), desplazamientos (mm), deformaciones (m/m) y factor de seguridad de cada engranaje, estos valores se obtuvieron mediante el análisis estático estructural realizado, con los materiales AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up.

Tabla 16: Resultados del análisis estático estructural de los engranajes con diferentes cargas con los materiales AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up

AISI M43 (High Speed)			Esfuerzos (MPa)			Desplazamientos (mm)			Deformaciones unitarias (m/m)			FS	
Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up	Fuerza (N)	Masa (kg)	Min	Max	Medio	Min	Max	Medio	Min	Max	Medio	Min	Max
Piñón 15T	355,41	0,1184	4,48 E-04	35,32	2,081	0	2,62 E-03	3,45 E-04	2,20 E-09	1,52 E-04	9,63 E-06	15	15
Catalina 37T	362,31	0,38074	2,40 E-05	36,528	0,609	0	2,75 E-03	3,04 E-04	1,73 E-10	1,58 E-04	2,93 E-06	15	15
Catalina 42T	362,34	0,62677	5,44 E-05	27,433	0,584	0	2,42 E-03	3,92 E-04	7,02 E-10	1,19 E-04	2,88 E-06	15	15

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la tabla 17, se presenta la vida, daño y factor de seguridad de cada engranaje empleado en el sistema de arrastre del mototaxi. Estos valores se obtuvieron en el análisis de fatiga, con los materiales AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up.

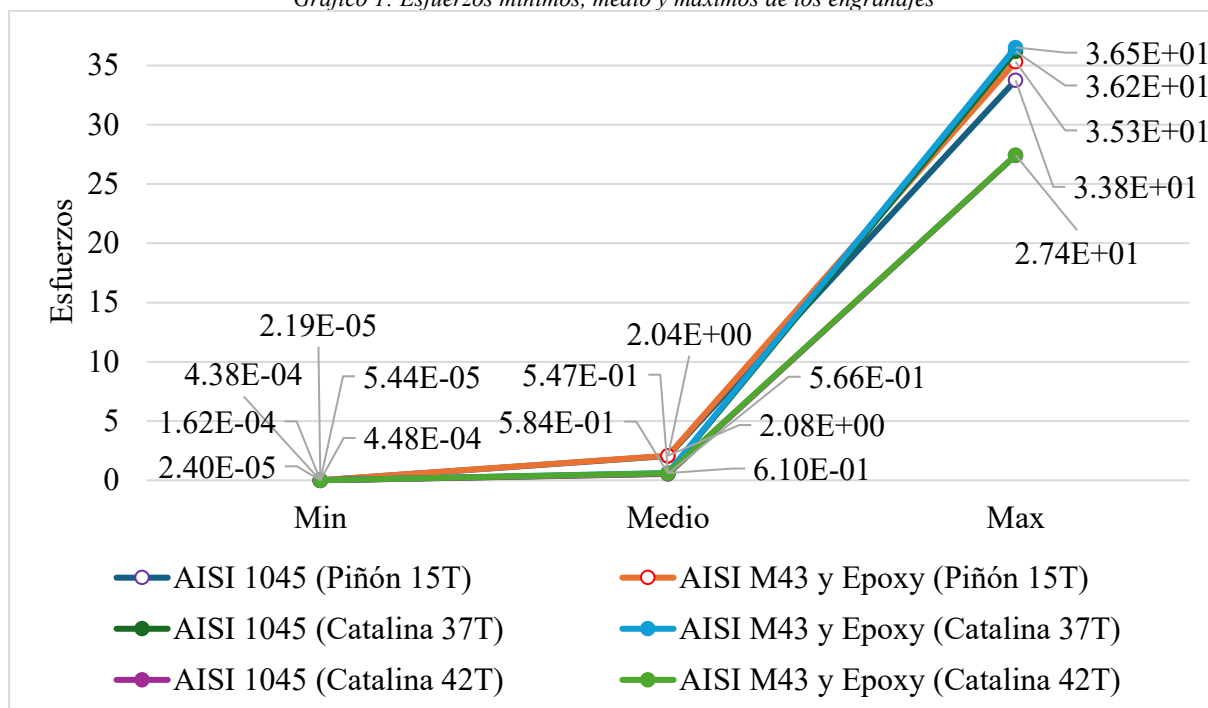
Tabla 17: Resultados del análisis de fatiga de los engranajes con diferentes cargas con el material AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up

Vida		Daño		FS	
Min	Max	Min	Max ( $10^9$ )	Min	Max
$1 \times 10^9$	$1 \times 10^9$	1	1	15	15
$1 \times 10^9$	$1 \times 10^9$	1	1	15	15
$1 \times 10^9$	$1 \times 10^9$	1	1	15	15

Fuente: Elaboración propia

Teniendo estos valores, se comprueba que material AISI 1045, para el piñón y ambas catalinas 37T y 42T presentan esfuerzos máximos de menor valor que con la combinación de materiales AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay-up, se puede observar en el gráfico 1. Cabe resaltar que, en la mayoría de los casos, este esfuerzo principalmente se presentará en el entalle del diente.

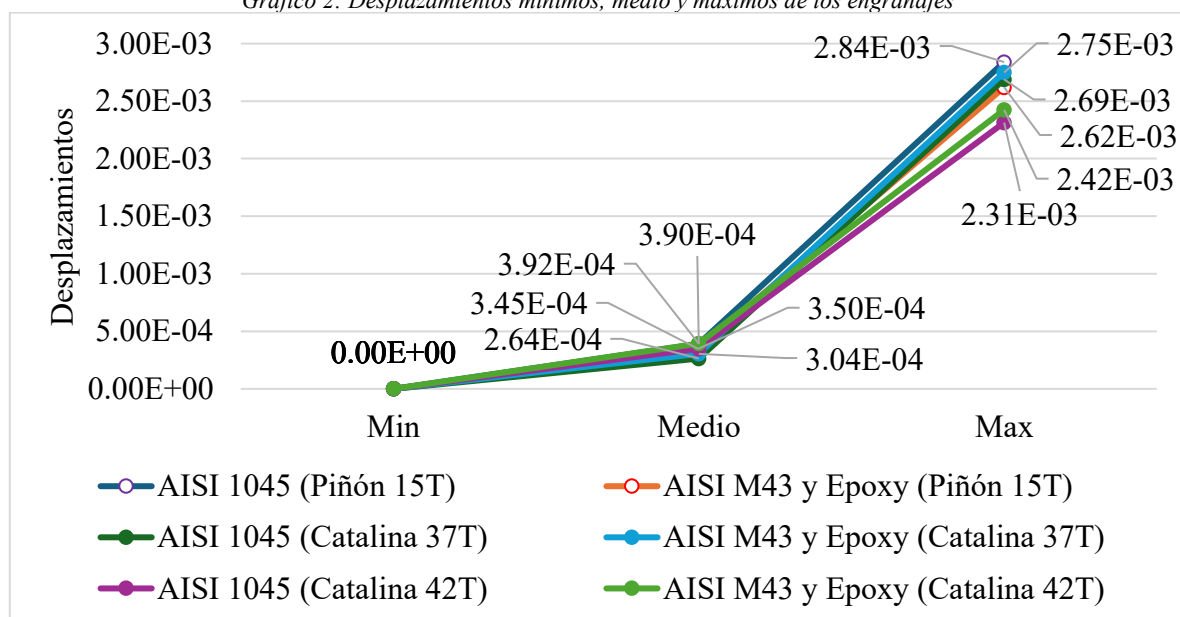
Gráfico 1: Esfuerzos mínimos, medio y máximos de los engranajes



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los desplazamientos, estos son muy pequeños en todos los casos, por ejemplo, en el piñón y con el material convencional su máximo desplazamiento es de 0,0028393 mm mientras que con los materiales seleccionados es de 0,0026203 mm, este valor disminuyó con la combinación de materiales, al igual que para la catalina de 42T, pero para la de 37T, este valor aumentó poco con respecto al AISI 1045. Esto se observa en el gráfico 2. Los desplazamientos se centran en la cresta del engrane.

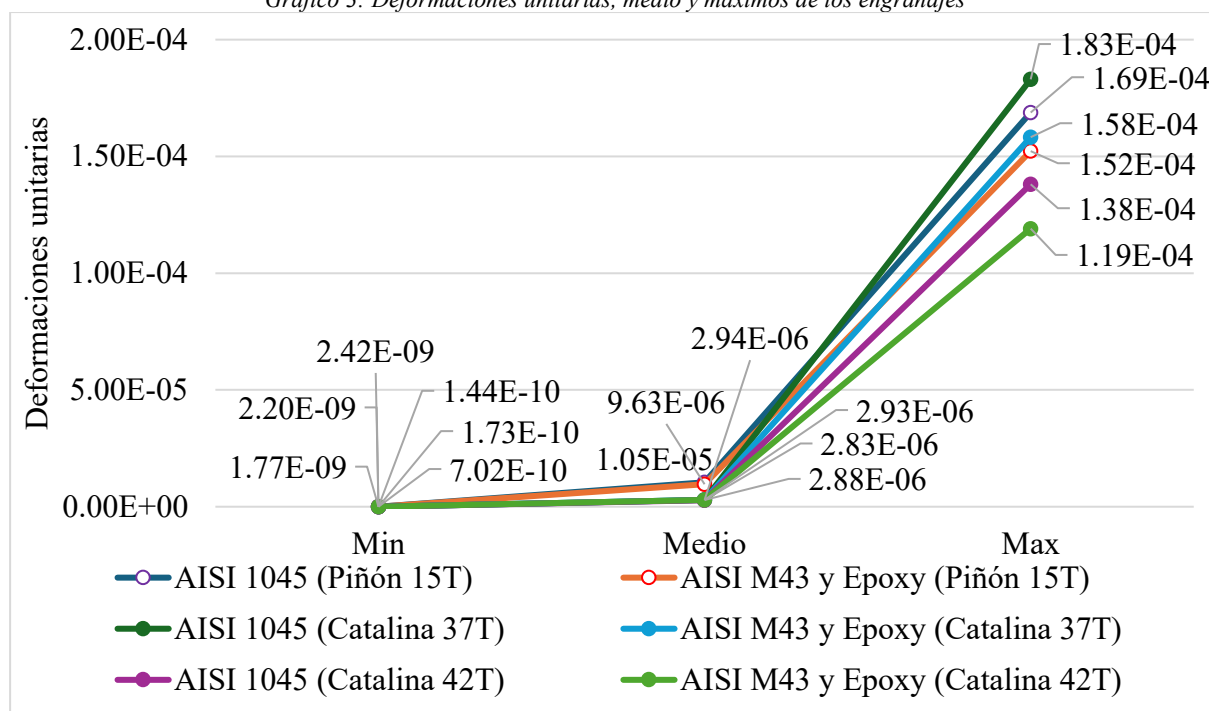
Gráfico 2: Desplazamientos mínimos, medio y máximos de los engranajes



Fuente: Elaboración propia

De igual manera, las deformaciones unitarias que presenta cada componente son muy pequeñas. Por ejemplo, en la catalina 37T y con el material AISI 1045, tiene un valor máximo de 0,000183 mm/mm; con los materiales seleccionados el valor disminuye a 0,00015823 mm/mm. Observar gráfico 3. Esto significa que la pieza no se deformará de manera permanente. La máxima deformación unitaria se encuentra en el entalle del diente, ver figura 135 como ejemplo.

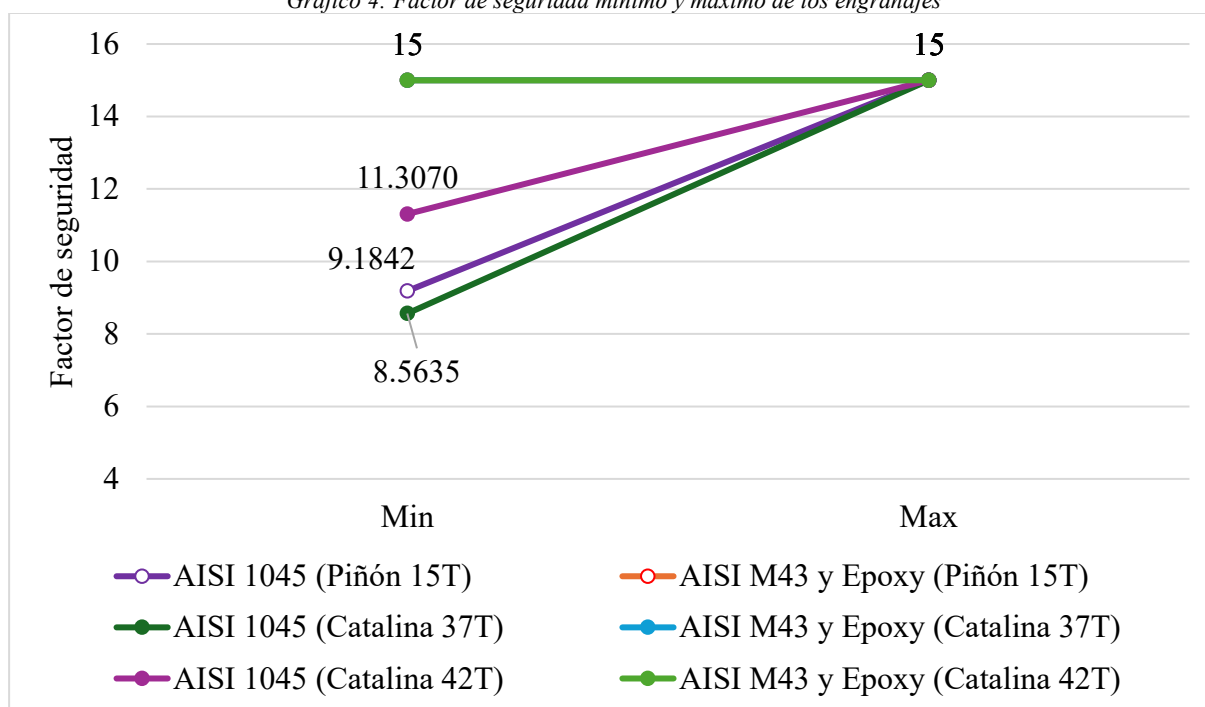
Gráfico 3: Deformaciones unitarias, medio y máximos de los engranajes



Fuente: Elaboración propia

El último punto a resaltar del análisis estático estructural es el factor de seguridad. Este es fundamental, pues indica si la pieza fallará o no ante la carga elegida. Además, confirma la funcionalidad segura de la pieza ante variaciones inesperadas por cargas e incluso por propiedades del material. Por lo tanto, para cada pieza con todos los materiales elegidos, el convencional frente al nuevo, presentan el mismo factor de seguridad, es decir es mayor 1. Esto indica que la pieza no fallará. Cabe resaltar que para el material convencional su valor mínimo es de 8,5635 en la catalina 37T. Para el caso de todos los engranajes, pero con los nuevos materiales su valor mínimo y máximo es de 15. Se presenta en el siguiente gráfico:

Gráfico 4: Factor de seguridad mínimo y máximo de los engranajes



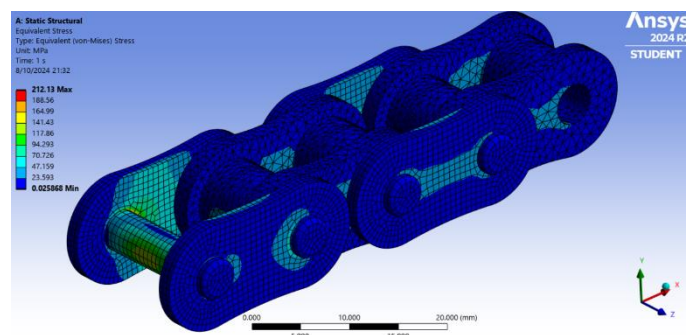
Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, al igual que la investigación de Shinde, Nikam y Mulla [63], los máximos esfuerzos en los engranajes se muestran en el entalle del diente. Además, estos esfuerzos varían en esa zona debido a que los materiales utilizados en la simulación con el software ANSYS son distintos, por ende, sus propiedades también difieren.

#### Cadena 428H - AISI M43 (high speed) – Masa 4,7596e-002 kg

- Estático estructural
- Esfuerzo (Pa)

Figura 96 : Esfuerzos (MPa) en el piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed)

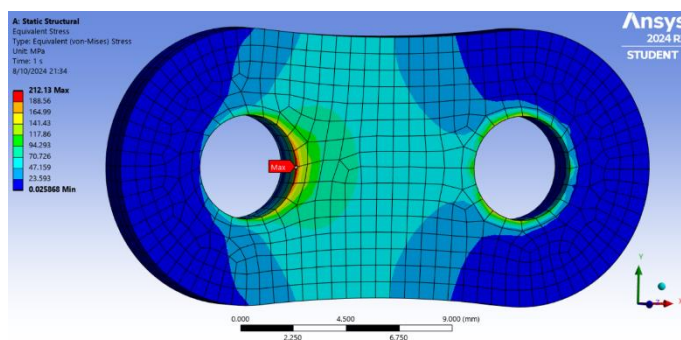


Fuente: Elaboración propia

En la figura 96, se observan los diferentes esfuerzos, en pascuales, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 0,025868 MPa y un valor máximo de 212,13 MPa, este esfuerzo se presenta en el plato externo de la cadena, muy cerca del agujero donde va el pin, representado

de color rojo como se muestra en la figura 97. Por último, se tiene un esfuerzo promedio de 1,75 MPa. Cabe resaltar que todos estos resultados fueron con una carga de 1000N.

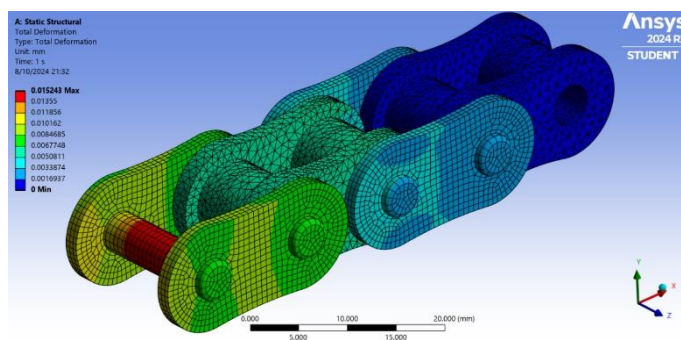
Figura 97: Máximos esfuerzos en el diente del piñón – AISI M43 (high speed)



Fuente: Elaboración propia

- Desplazamientos (m)

Figura 98: Desplazamientos (m) en el piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed)

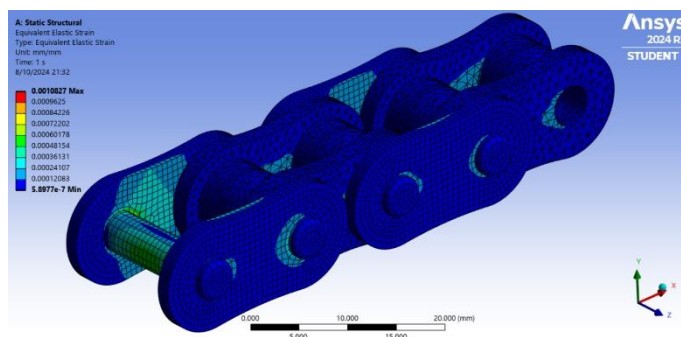


Fuente: Elaboración propia

En la figura 98, se observan los diferentes desplazamientos, en metros, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 0 m y un valor máximo de 0,015243 mm, este desplazamiento se presenta en el pasador de la cadena, representado de color rojo. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de 0,0045672 mm.

- Deformación unitaria (m/m)

Figura 99: Deformaciones unitarias en el piñón 15T 1/2" – AISI M43 (high speed)

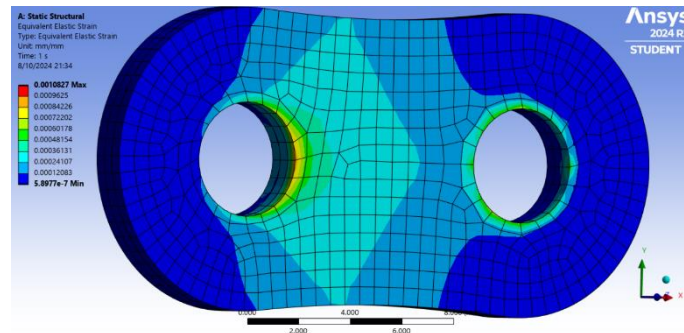


Fuente: Elaboración propia

En la figura 99, se observan las diferentes deformaciones, unidad adimensional, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo  $5,8977e-007$  m/m y un valor máximo de  $1,0827e-003$

m/m, esta deformación se presenta en el plato externo de la cadena, muy cerca del agujero donde va el pasador, representado de color rojo como se muestra en la figura 100. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de  $7,8945e-005$  m/m.

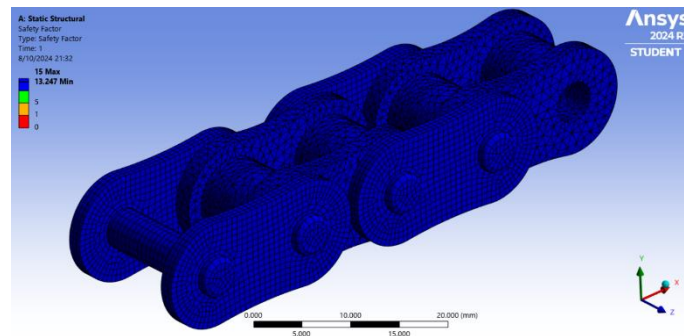
Figura 100: Deformaciones unitarias máximas en el piñón – AISI M43 (high speed)



Fuente: Elaboración propia

- Factor de seguridad

Figura 101: Factor de seguridad del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed)

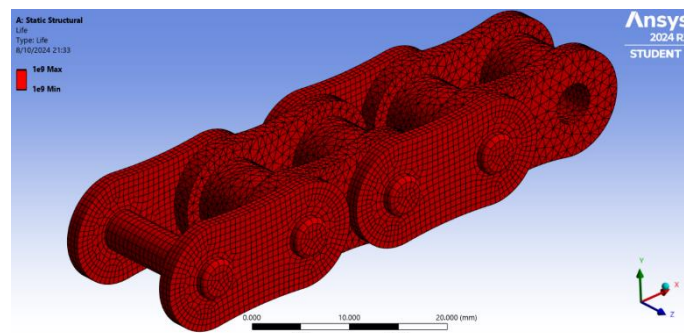


Fuente: Elaboración propia

En la figura 101, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con el material AISI M43 (high speed). Teniendo como valor mínimo 13,247 y un valor máximo de 15. Al ser valores superiores a uno, la pieza no fallará.

- Fatiga
- Vida

Figura 102: Vida del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed)

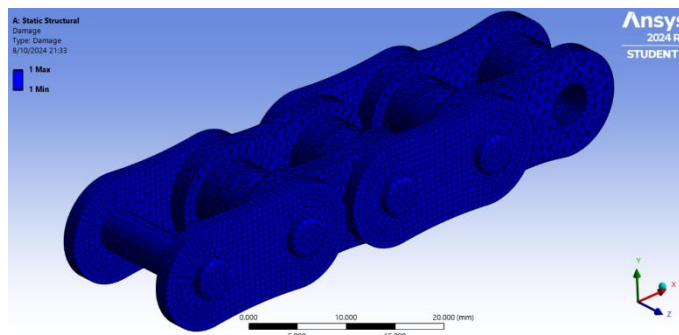


Fuente: Elaboración propia

En la figura 102, se observa la vida que posee la pieza con el material AISI M43 (High speed). Teniendo como valor mínimo y máximo  $1 \times 10^9$ , es decir que posee vida infinita.

- Daño

Figura 103: Daño del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed)

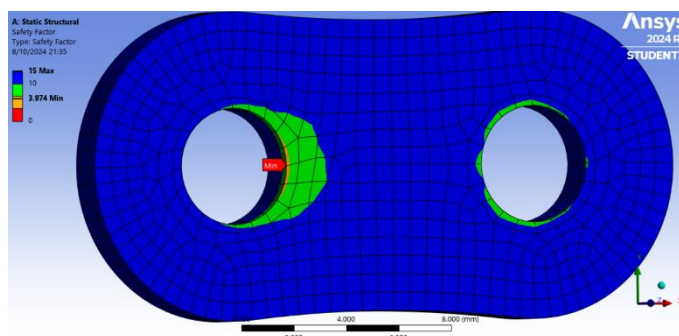


Fuente: Elaboración propia

En la figura 103, se observa el daño que posee la pieza con el material AISI M43 (High speed). Teniendo como valor mínimo y máximo 1. Es decir que el daño será muy pequeño, esto queda comprobado por la vida del componente que es  $10^9$  ciclos.

- Factor de seguridad

Figura 104: Factor de seguridad en fatiga del piñón 15T - 1/2" – AISI M43 (high speed)



Fuente: Elaboración propia

En la figura 98, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con el material AISI M43 (High speed) pero en fatiga. Teniendo como valor mínimo 3,974 y máximo de 15. Es decir que la pieza no tendrá una falla antes de que el componente alcance su vida útil.

- Modal

- Particiones de masa

Tabla 18: Particiones de masa de la cadena 428H con AISI M43

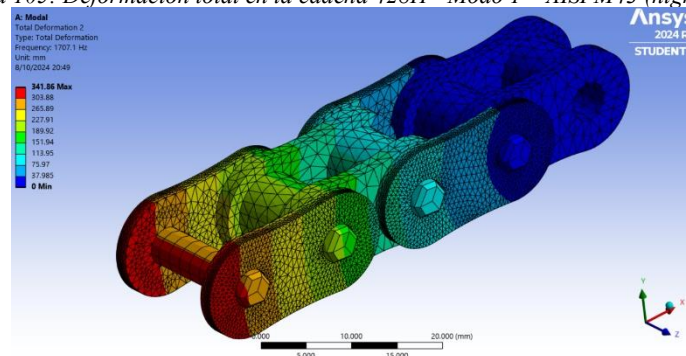
Modos	Frecuencia (Hz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z	Rotación X	Rotación Y	Rotación Z
1	1707.1	4.91E-10	5.52E-01	9.65E-06	2.66E-01	5.67E-06	3.18E-01
2	2423.1	4.65E-08	9.79E-06	6.43E-01	0.22431	0.39553	5.80E-06

3	5390.5	2.22E-08	1.80E-08	7.90E-08	0.12827	4.15E-08	3.24E-08
4	7720.4	8.55E-09	1.34E-05	5.88E-02	2.14E-02	1.07E-01	1.69E-05
5	8635.9	7.00E-07	1.97E-01	2.77E-06	9.36E-02	6.07E-06	2.56E-01
6	13746	7.26E-01	3.02E-07	3.20E-06	4.86E-06	1.61E-02	1.14E-02
7	14633	2.41E-05	6.00E-08	4.60E-07	1.28E-02	4.44E-08	1.16E-07
8	15116	9.91E-06	1.12E-06	1.64E-01	5.79E-02	2.38E-01	2.64E-06
9	16387	9.73E-08	1.03E-06	2.23E-03	7.60E-04	6.72E-04	1.30E-06
10	19102	5.36E-07	7.09E-02	1.23E-06	3.38E-02	2.76E-06	1.01E-01
11	23733	9.16E-07	4.45E-07	5.49E-08	1.09E-02	2.18E-08	4.69E-07
12	27414	9.95E-09	3.21E-02	9.96E-08	1.54E-02	3.38E-07	4.75E-02
13	27809	2.76E-07	2.96E-06	1.59E-03	4.96E-04	3.92E-03	4.16E-06
14	29072	5.89E-07	3.73E-03	1.96E-07	1.74E-03	3.29E-07	5.54E-03
15	32003	1.21E-02	2.06E-10	9.96E-10	4.20E-07	2.62E-04	1.93E-04
<b>Suma</b>		<b>7.38E-01</b>	<b>8.55E-01</b>	<b>8.69E-01</b>	<b>8.67E-01</b>	<b>7.62E-01</b>	<b>7.39E-01</b>

Fuente: Elaboración propia

- Deformación total

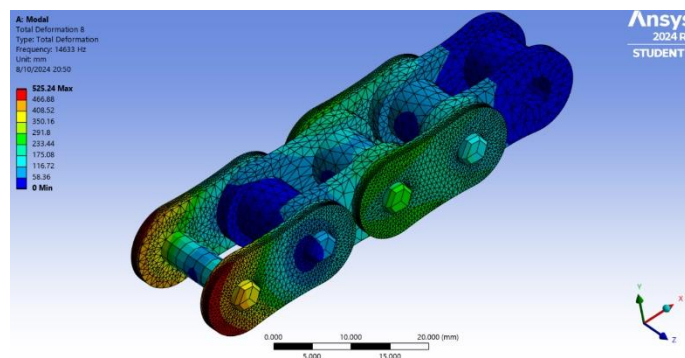
Figura 105: Deformación total en la cadena 428H - Modo 1 – AISI M43 (high speed)



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la cadena en el modo 1 (Figura 105), tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 341,86 mm. Además, posee una frecuencia natural de 1707,1 Hz.

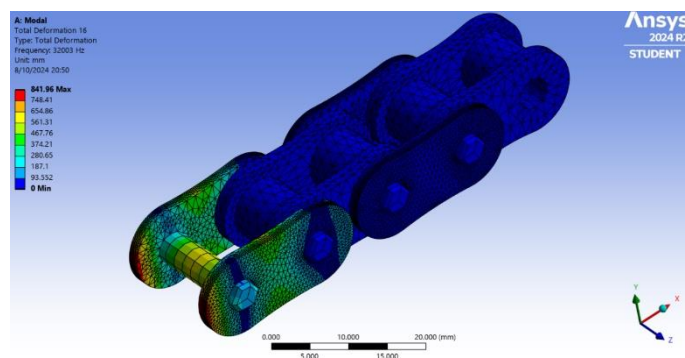
Figura 106: Deformación total en la cadena 428H - Modo 7 – AISI M43 (high speed)



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 7 (Figura 106), tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 525,24 mm. Además, su frecuencia natural aumenta considerablemente hasta 14633 Hz.

Figura 107: Deformación total de la catalina 42T - Modo 15 - AISI M43 (high speed)



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 15 (Figura 107), tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 841,96 mm. Además, su frecuencia natural sigue aumentando hasta 32003 Hz.

Terminadas las simulaciones de la cadena con todas las cargas indicada en la tabla 9 y con los dos materiales indicados, se registraron todos los valores obtenidos en la siguiente tabla: En la tabla 19, se presentan las fuerzas (N), masa (kg), esfuerzos (Pa), desplazamientos (mm), deformaciones (m/m) y factor de seguridad de la cadena 428H, estos valores se obtuvieron en el análisis estático estructural realizado, con el material AISI 304.

Tabla 19: Resultados del análisis estático estructural de la cadena 428H con diferentes cargas con el material AISI 304

AISI 304	Fuerza (N)	Esfuerzos (Pa)			Desplazamientos (m)			Deformaciones unitarias (m/m)			FS	
		Min	Max	Medio	Min	Max	Medio	Min	Max	Medio	Min	Max
1	1000	3.81E-02	2.13E+02	1.75E+01	0	1.74E-02	5.21E-03	6.97E-07	1.25E-03	9.03E-05	1.455	15

2	3000	1.14E-01	6.39E+02	5.24E+01	0	5.22E-02	1.56E-02	2.09E-06	3.76E-03	2.71E-04	0.4850	15
3	6000	2.29E-01	1.28E+03	1.05E+02	0	1.04E-01	3.13E-02	4.18E-06	7.52E-03	5.42E-04	0.24249	15
4	9000	3.43E-01	1.92E+03	1.57E+02	0	1.56E-01	4.69E-02	6.27E-06	1.13E-02	8.13E-04	0.16166	15
5	12000	4.57E-01	2.56E+03	2.10E+02	0	2.09E-01	6.25E-02	8.36E-06	1.50E-02	1.08E-03	1.21E-01	15

*Fuente: Elaboración propia*

Ahora, en la tabla 20, se presentan la vida, daño y factor de seguridad de la cadena utilizada en este tipo de sistema de arrastre del mototaxi, estos valores se obtuvieron en el análisis de fatiga, previo análisis estático estructural realizado, con el material AISI 304.

*Tabla 20: Resultados del análisis de fatiga de la cadena 428H con diferentes cargas con el material AISI 304*

Vida		Daño		FS	
Min	Max	Min	Max ( $10^9$ )	Min	Max
$1 \times 10^9$	$1 \times 10^9$	1	1	1.1874	15
0	$1 \times 10^9$	1	1.00E+32	0.39581	15
0	1x110	1	1.00E+32	1.98E-01	15
0	$1 \times 10^9$	1	1.00E+32	1.32E-01	15
0	$1 \times 10^9$	1	1.00E+32	9.90E-02	15

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 21, se presentan las fuerzas (N), masa (kg), esfuerzos (Pa), desplazamientos (mm), deformaciones (m/m) y factor de seguridad de la cadena 428H, estos valores se obtuvieron en el análisis estático estructural realizado, con el material AISI M43 (High Speed).

Tabla 21: Resultados del análisis estático estructural de la cadena 428H con diferentes cargas con el material AISI M43 (high speed)

AISI M43	Fuerza (N)	Desplazamientos (m)						Deformaciones unitarias (m/m)			FS	
		Esfuerzos (Pa)			Min	Max	Medio	Min	Max	Medio	Min	Max
		Min	Max	Medio								
1	1000	2.59E-02	2.12E+02	1.75E+01	0	1.52E-02	4.57E-03	5.90E-07	1.08E-03	7.89E-05	13.247	15
2	3000	7.76E-02	6.36E+02	5.24E+01	0	4.57E-02	1.37E-02	1.77E-06	3.25E-03	2.37E-04	4.4156	15
3	6000	1.55E-01	1.27E+03	1.05E+02	0	9.15E-02	2.74E-02	3.54E-06	6.50E-03	4.74E-04	2.2078	15
4	9000	2.33E-01	1.91E+03	1.57E+02	0	1.37E-01	4.11E-02	5.31E-06	9.74E-03	7.11E-04	1.4719	15
5	12000	3.10E-01	2.55E+03	2.10E+02	0	1.83E-01	5.48E-02	7.08E-06	1.30E-02	9.47E-04	1.1039	15

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la tabla 22, se presenta la vida, daño y factor de seguridad la cadena empleada en el sistema de arrastre del mototaxi, estos valores se obtuvieron en el análisis de fatiga, que tiene como base el análisis estático estructural realizado con anterioridad, con el material AISI M43.

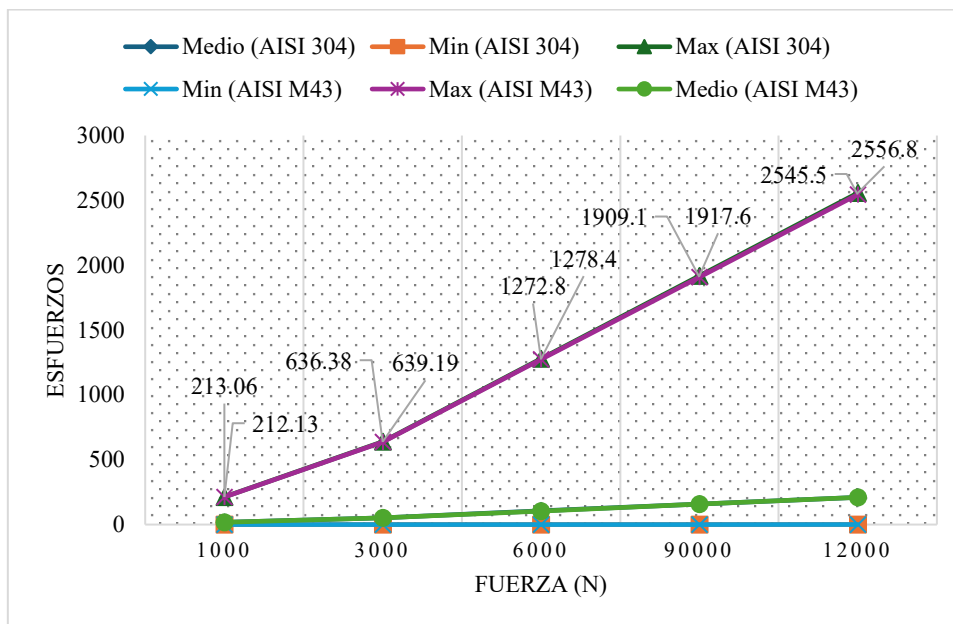
Tabla 22: Resultados del análisis de fatiga de la cadena 428H con diferentes cargas con el material AISI M43 (High Speed)

Vida		Daño		FS	
Min	Max	Min	Max (10 <sup>9</sup> )	Min	Max
1x10 <sup>9</sup>	1x10 <sup>9</sup>	1	1	3.974	15
1x10 <sup>9</sup>	1x10 <sup>9</sup>	1	1	1.3247	15
85527	1x10 <sup>9</sup>	1	11692	0.66234	15
7604.8	1x10 <sup>9</sup>	1	1.32E+05	0.44156	15
1365.8	1x10 <sup>9</sup>	1	7.32E+05	0.33117	15

Fuente: Elaboración propia

Teniendo todos estos valores, se comprueba que el material AISI 304, para la cadena con fuerzas desde 1000-12000N, sus esfuerzos máximos son mayores con respecto al material seleccionado AISI M43 (High Speed), esto se observa en el gráfico. Para todos los casos, este esfuerzo se presenta principalmente en la placa de enlace de la cadena, ver figura 97.

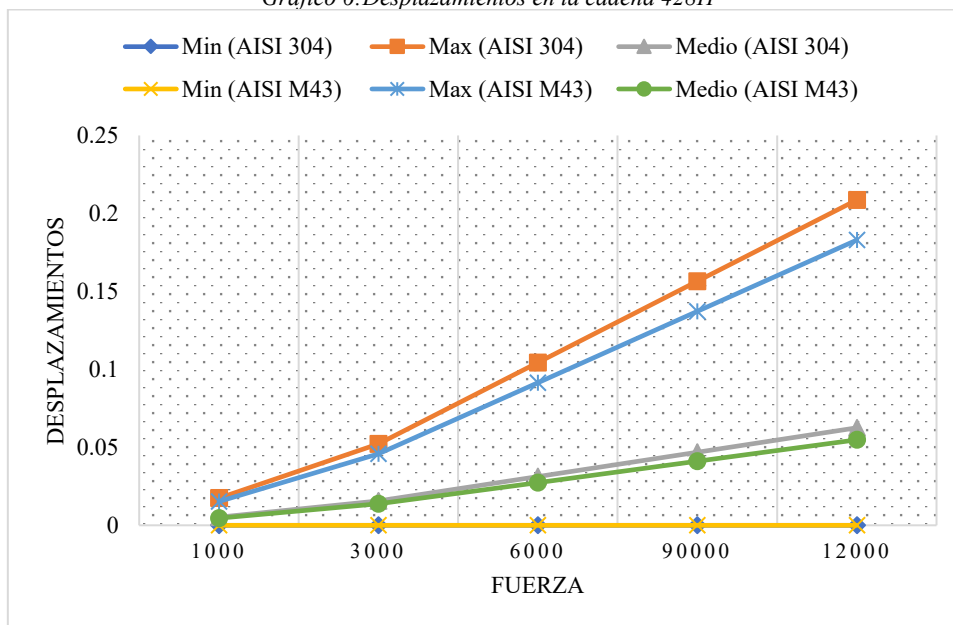
Gráfico 5: Esfuerzos en la cadena 428H



Fuente: Elaboración propia

Por parte de los desplazamientos, su máximo valor con el AISI 304 es de 0,017387 mm. En cambio, con el material seleccionado disminuye a 0,015243mm. Este desplazamiento, se presenta en el pasador de la cadena. Esto debido a que está la fuerza de 1000-12000N en dirección -X en esa zona (Figura 98).

Gráfico 6: Desplazamientos en la cadena 428H

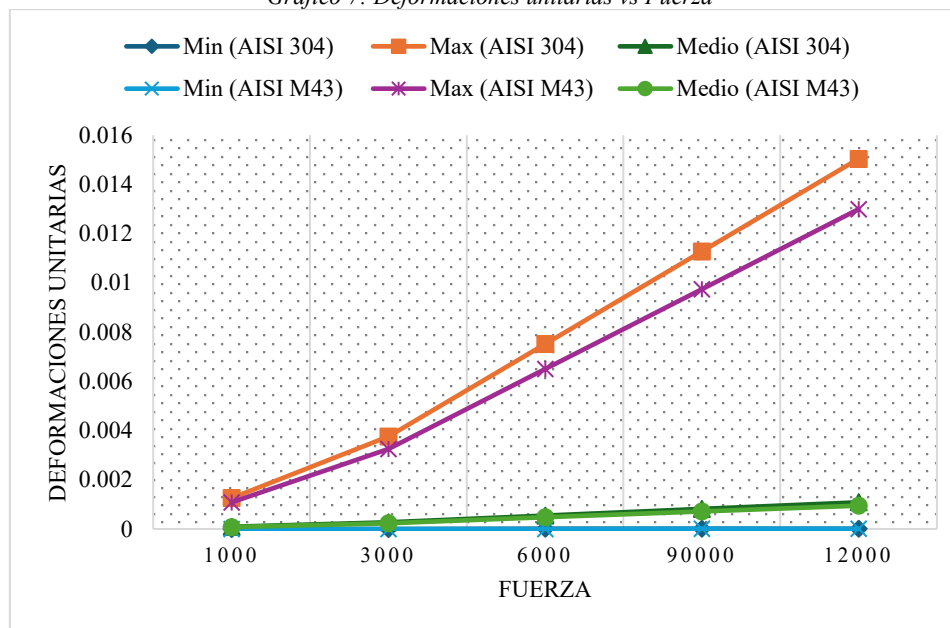


Fuente: Elaboración propia

De igual manera, las deformaciones unitarias que presenta la pieza son pequeñas. Empezando con el material AISI 304, tiene un valor máximo de 0,0012532 mm/mm. En cambio, con el AISI M43 (High speed), el valor desciende hasta 0,0010827mm/mm. Esto

significa que la pieza no se deformará de manera permanente. En este caso, la máxima deformación unitaria muy cerca del orificio donde va el pasador de la cadena (Figura 100).

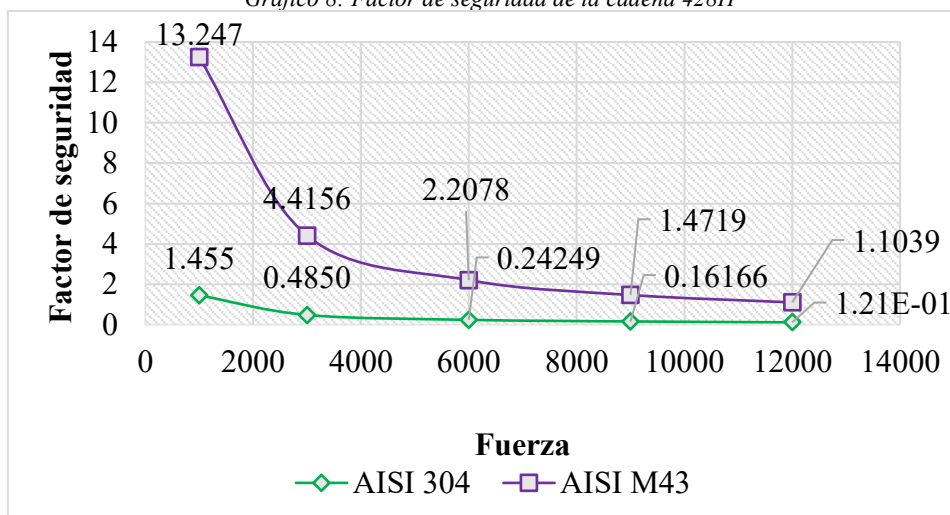
Gráfico 7: Deformaciones unitarias vs Fuerza



Fuente: Elaboración propia

Por último, en el análisis estático estructural se obtuvo el factor de seguridad. En el caso del material AISI 304, su factor de seguridad empieza en 1,455, con la fuerza de 1000N, este valor al ser mayor que uno indica que la pieza no fallará. La pieza, desde la fuerza de 3000-12000N, su factor se vuelve menor a uno por lo tanto ante estas cargas, la pieza si fallará. Por otra parte, con el material AISI M43 (High Speed), su factor de seguridad se mantiene mayor a uno desde las cargas 1000-12000N. Estos valores se observan en las tablas 19 y 21.

Gráfico 8: Factor de seguridad de la cadena 428H



Fuente: Elaboración propia

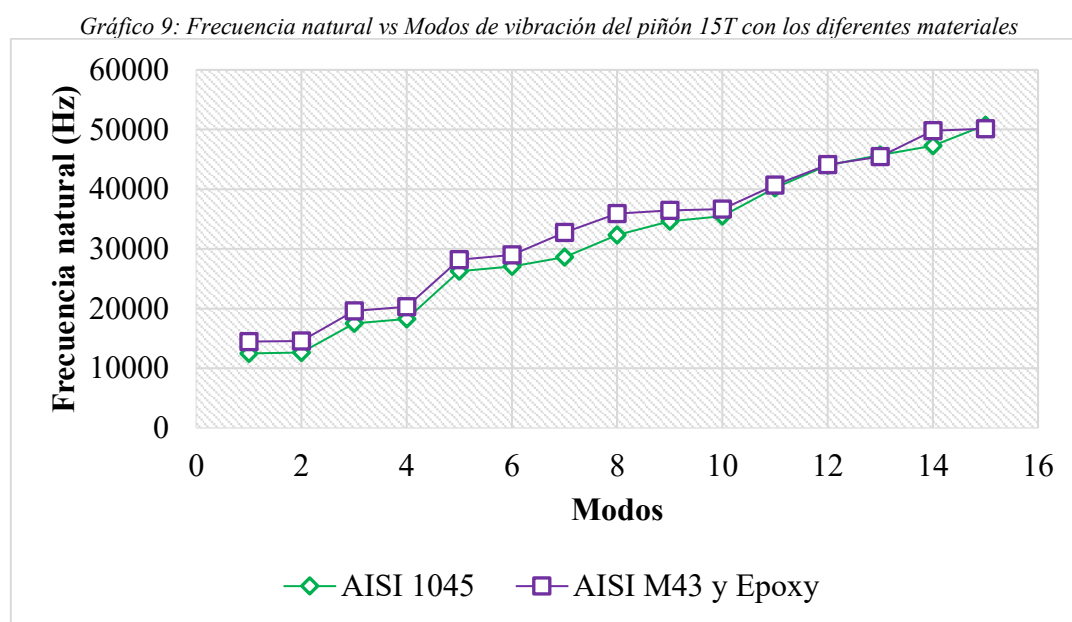
Por lo tanto, similar a la investigación de Saito, Noda, Sano, Song, Minami, Birou, Miyagi y Huang [68], los máximos esfuerzos y desplazamientos en las cadenas se encuentran en la placa de enlace de estas. De la misma forma, en la investigación de Durgam y Waghmare [25],

utilizaron AISI 304 para la cadena, en este caso no se obtuvieron los mismos resultados, pues la comparación de materiales en la investigación de ellos fue frente a un AISI 316, resultando la mejor opción el AISI 304. En cambio, en la simulación realizada con el material seleccionado, AISI M43, el AISI 304 no es la mejor opción, pues su factor de seguridad es inferior al obtenido con el AISI M43.

Por otra parte, se tienen los resultados del análisis modal, que muestran las deformaciones totales (mm) de los engranajes y sus frecuencias naturales. Esta última aparece de acuerdo con el modo de vibración que presentará la pieza. Esta simulación se realizó para observar las frecuencias naturales de la pieza, y minimizarlas antes de operar, proporcionando así una idea a los ingenieros de cómo responderá el diseño a diferentes tipos de carga dinámica. Por ello, es fundamental comparar estas frecuencias con las de operación y evitar que ambas coincidan, de lo contrario la pieza fallaría por resonancia.

Se elaboraron gráficas de modos vs frecuencia natural, obteniendo los siguientes resultados:

#### - Piñón 15T

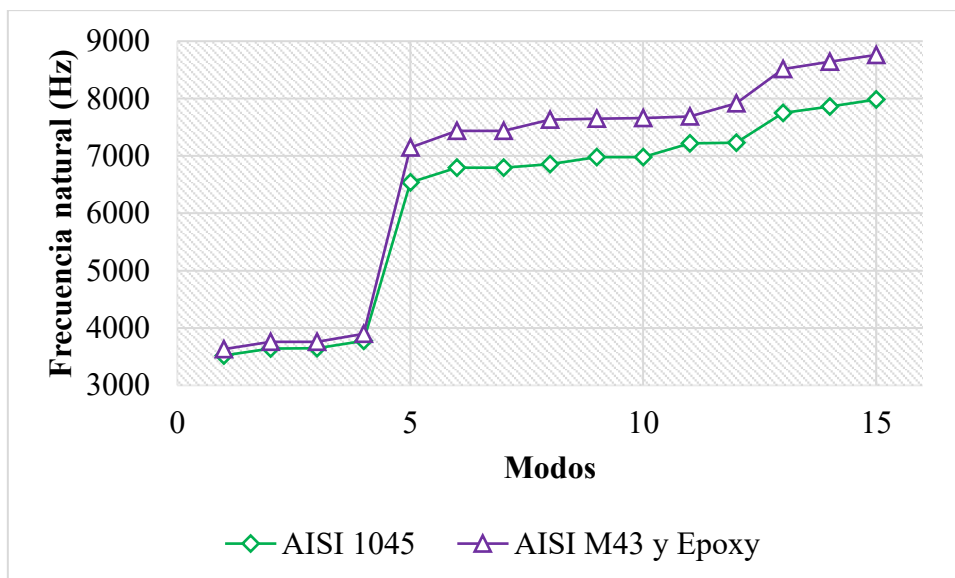


*Fuente: Elaboración propia*

En el gráfico 1, se observa que las vibraciones van aumentando de acuerdo con el número de modos de vibración. Es decir, mientras aumentan los modos, de igual manera aumenta la frecuencia del piñón. Esto cambia en función al material usado en el elemento, teniendo al AISI 1045 como el material que menor frecuencia natural tiene, mientras que los materiales seleccionados son los que presentan mayores frecuencias naturales.

#### - Catalina 37T

*Gráfico 10: Frecuencia natural vs Modos de vibración de la catalina 37T con los diferentes materiales*

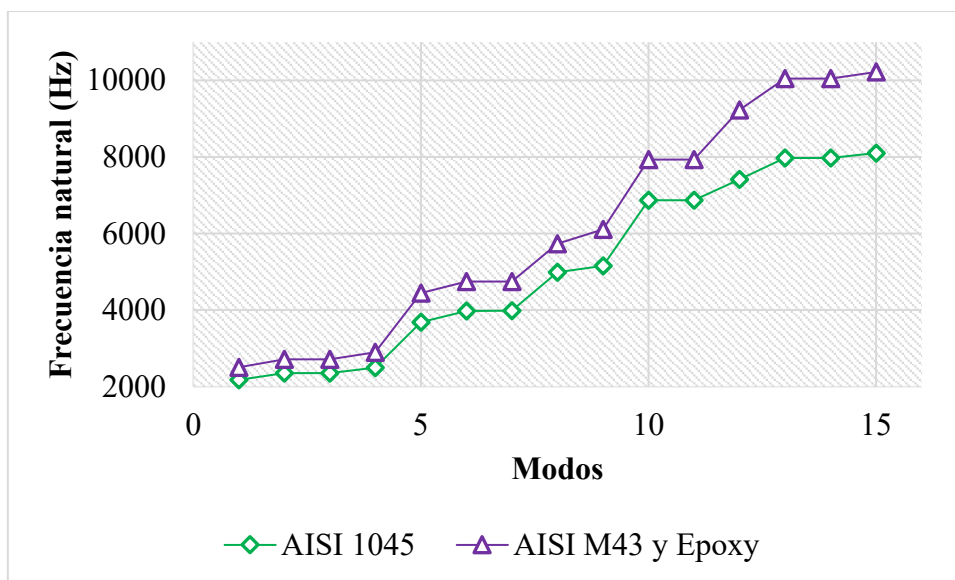


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 2, de la misma forma que en el anterior, se observa que las vibraciones van aumentando de acuerdo con el número de modos. Esto cambia en función al material usado en el elemento, teniendo al AISI 1045 como el material que menor frecuencia natural presenta, mientras que los materiales seleccionados son los que presentan mayores frecuencias naturales.

#### - Catalina 42T

Gráfico 11: Frecuencia natural vs Modos de vibración de la catalina 42T con los diferentes materiales



Fuente: Elaboración propia

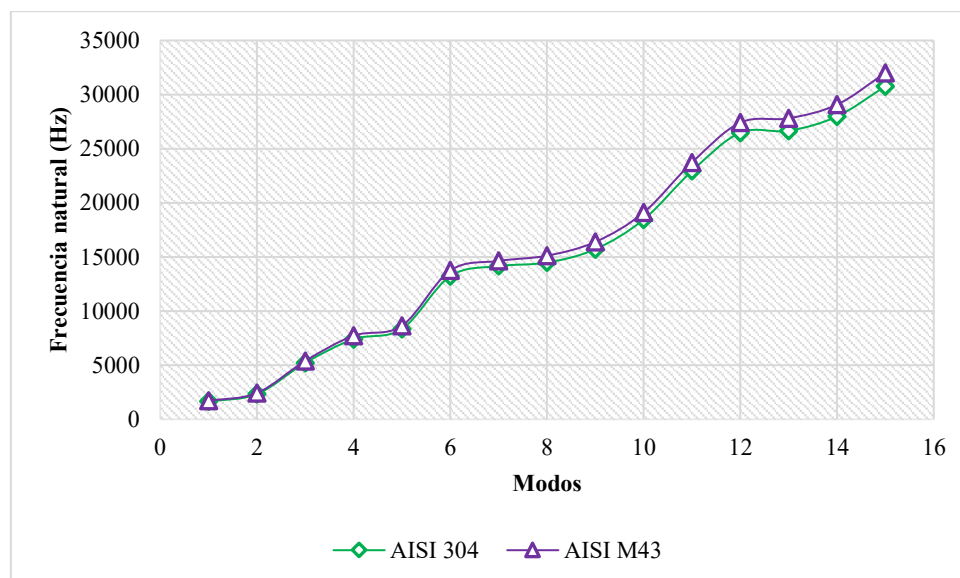
En el caso de la catalina de 42T, presentado en el gráfico 10, de la misma forma que en los anteriores, se observa que las vibraciones van aumentando de acuerdo con el número de modos. Además, esto varía por el material utilizado en la pieza, teniendo al AISI 1045 como el material que menor frecuencia natural presenta, mientras que los materiales seleccionados son los que presentan mayores frecuencias naturales.

A diferencia de Kumar J, Kumar S y Mukanavar [26], el análisis modal no se realizó para observar cómo influye la modificación del perfil del engrane en su funcionamiento, en este caso se hizo para ver cómo se comporta la pieza bajo diferentes materiales. En este caso, los engranajes con los materiales seleccionados en el objetivo dos, muestran una mayor frecuencia natural, esto significa que pueden operar a velocidades más altas en comparación al material convencional que permanece en todos los casos con frecuencias bajas.

Ahora, en la investigación de Syam, Badri, Sassi y Renno [27], su engranaje en buen estado tiene una frecuencia alta y sigue en aumento, al igual que en este caso con los engranajes con los materiales seleccionados. En cambio, si existiera una grieta esta frecuencia iría decreciendo, esto no sucede en este caso debido a que los engranajes utilizados en las simulaciones están correctos, sin ninguna grieta.

#### - Cadena 428H

Gráfico 12: Frecuencia natural vs Modos de vibración de la cadena 428H con los diferentes materiales



Fuente: Elaboración propia

Por último, en el caso de la cadena 428H, en el gráfico 11, de la misma forma que en los anteriores, se observa que las vibraciones van aumentando de acuerdo con el número de modos. Además, esto varía por el material utilizado en la pieza, teniendo al AISI M43 (High Speed) como el material que mayor frecuencia natural presenta, mientras que el material convencional posee menores frecuencias naturales.

Ahora, referente a la cadena, mediante la investigación de Durgam y Waghmare [25], quienes determinaron las frecuencias naturales y el modo de vibración del componente mecánico. Sus valores obtenidos en deformaciones totales, se presentan números altos con el material AISI 304, al igual que los resultados en esta investigación, este material tiene altas

deformaciones (figura 206), pero no superan a las generadas con el AISI M43. Por lo tanto, este material es la mejor opción debido a que las deformaciones son menores. Pero, con respecto a las frecuencias naturales de este material, AISI 304 tiene números bajos al igual que en este trabajo, se puede observar en la gráfica 4, mediante el color rojo se observa que sus frecuencias naturales son bajas en comparación al AISI M43 (High Speed).

#### **4.4 Comparar la vida útil del sistema de la transmisión con el material nuevo respecto al convencional.**

Mediante el término del objetivo tres, se obtuvieron diferentes resultados que se generaron mediante las simulaciones realizadas. Este objetivo solo se centra en los valores obtenidos en la simulación de fatiga, debido a que mediante este análisis se puede observar la vida útil de cada pieza y que partes empiezan a desgastarse hasta fallar. A continuación, se realiza la comparación de resultados con los materiales seleccionados frente a los convencionales.

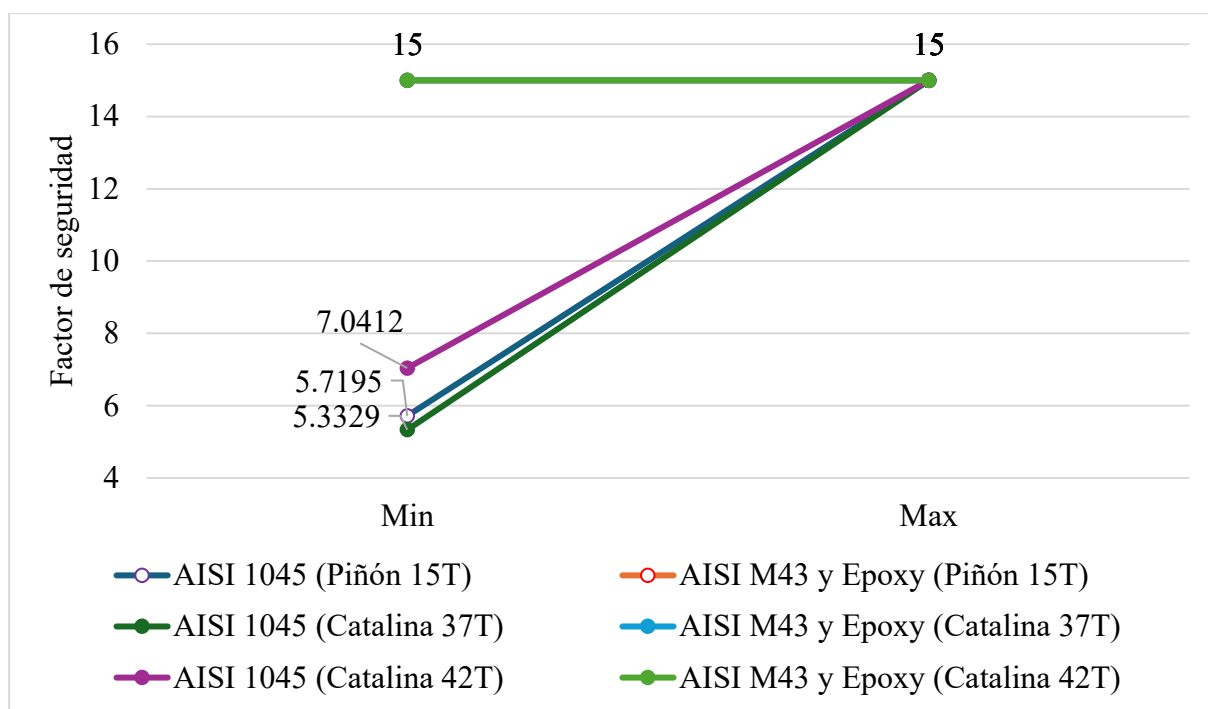
##### **Engranajes**

Empezando con el piñón 15T, su material convencional es el AISI 1045, los resultados (Tabla 15) de este material nos indican que sí supera la vida útil, pero en zonas del entalle y raíz del diente del engrane (Figura 147) se observa un valor mínimo con respecto al factor de seguridad de 5,7195. En cambio, con los materiales seleccionados su factor de seguridad en fatiga, máximo y mínimo es de 15. Esto indica que la mejor opción es el AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber (Tabla 17).

Lo mismo sucede con la catalina de 37T, pues con el material AISI 1045 sí supera la vida útil, pero su factor de seguridad es 5,3329, frente a un valor mínimo de 15 que presenta con la combinación de materiales AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber en el engranaje (Tabla 17).

Por último, con respecto a los engranajes, se tiene a la catalina de 42T, al igual que los dos engranajes anteriores con el AISI 1045 sí resiste la vida útil, pero en este caso el factor de seguridad incrementó a 7,0412. De igual manera, no supera a los materiales seleccionados, pues continua con un valor mínimo de 15. Mediante esto se observa que los materiales escogidos en la matriz ponderada del objetivo dos, son más resistentes ante el desgaste.

*Gráfico 13: Factor de seguridad en fatiga*



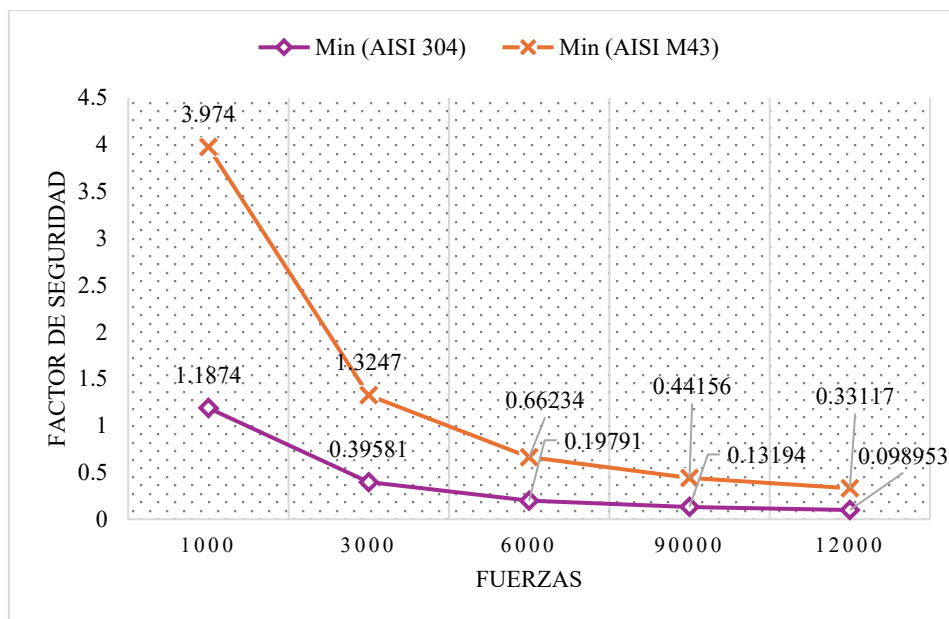
Fuente: Elaboración propia

Por ende, al igual que en la investigación de Merukar y Tawade [20], la rotura por fatiga que presentará el engranaje debido a fatiga por lo general será una grieta que se origina en la sección de la raíz del diente del engranaje. Resaltando que esta falla puede generarse por cargas excesivas de los dientes, resultando ser superiores al límite de resistencia del material. Por ello, como solución se mencionan el uso de materiales que tengan mayor resistencia, como se hizo en esta investigación, se pospuso el AISI M43 y Epoxy HS carbon fiber, demostrando que tienen mayor resistencia al desgaste.

### Cadena

En la cadena solo se utilizaron dos materiales, el convencional que es el AISI 304 frente al AISI M43. Con respecto al AISI 304, este material solo resistió hasta el valor de  $10^6$  ciclos aproximadamente, mientras que su daño fue un poco alejado de cero, indicando que la pieza empezaría a fallar por el borde de la placa interior de cadena, muy cerca donde va el pasador.

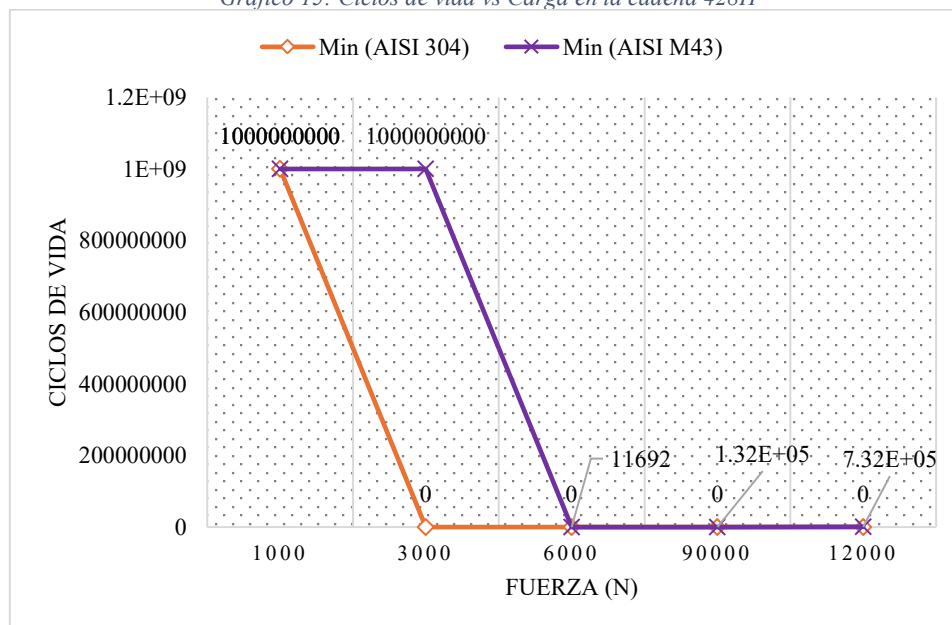
Gráfico 14: Factor de seguridad en fatiga de la cadena 428H



Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que esto sucede con una carga de 1000N (Tabla 20). Ahora, con respecto al material seleccionado, mediante la tabla 22, se confirma que con el AISI M43 la cadena aguanta hasta una carga de 3000N en vida, pero por daño la pieza empieza a mostrar por donde se desgasta que es la misma zona que con el material AISI 304. En cambio, con respecto a factor de seguridad en fatiga, el componente solo aguantaría una carga de 1000N.

Gráfico 15: Ciclos de vida vs Carga en la cadena 428H



Fuente: Elaboración propia

Por ello, al igual que en la investigación de Saito, Noda, Sano, Song, Minami, Birou, Miyagi y Huang [68], se confirma que los fallos en la cadena por desgaste se generan en la placa interna de la cadena hasta llegar a la fractura confirmando así que esta zona de la cadena es la más crítica (Figura 104).

#### 4.5 Elaborar un presupuesto para el sistema de transmisión con el nuevo material

Para elaborar el presupuesto, primero se debe saber que materiales son los utilizados y en qué partes del sistema se utilizarán. Además, de su cantidad en kilogramos, esto se realizó mediante el software Granta Edupack se obtiene el precio en S/. /kg de cada material. Esto se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 23: Resumen de materiales

Elemento	Material
Piñón 15T	AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber
Catalina 37T	AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber
Catalina 42T	AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber
Cadena 428H	AISI M43 (High Speed)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Masa de cada componente utilizado según el material

Elemento	AISI M43 (High Speed)	Epoxy HS carbon fiber
Piñón 15T	0.112042 kg	6.37E-03 kg
Catalina 37T	0.331519 kg	4.92E-02 kg
Catalina 42T	0.54493 kg	8.18E-02 kg
Cadena 150L	7.18E-01 kg	1,91 kg
428H 142L	6.80E-01 kg	1,81 kg

Fuente: Elaboración propia

Se obtienen los costos de los materiales empleados:

Tabla 25: Costo total de los materiales

Elemento	AISI M43 (High Speed)	Epoxy HS carbon fiber
Piñón 15T	6.54	0.91
Catalina 37T	19.36	7.03
Catalina 42T	31.82	11.70
Cadena 150L	1.12E+02	-
428H 142L	1.06E+02	-
Total (S/.)	275.57	19.65

Fuente: Elaboración propia

Presupuesto elaborado:

Tabla 26: Presupuesto total del sistema de arrastre

Descripción	Unidad	Costo unitario	Costo total	
Suministro			295.23	
Piñón 15T	1	7.45	7.44	
Catalina 37T	2	26.40	52.80	
Catalina 42T	1	43.53	43.52	
Cadena 428H	150L	1	111.91	111.90
	142L	1	105.94	105.94
Gatos generales			250	
Mano de obra			500	
Transporte			200	
Total (IGV %)			1848.90	

Fuente: Elaboración propia

Mediante la tabla 26, se observa el costo total del nuevo sistema de transmisión, teniendo un valor de S/. 1848,90 aproximadamente. En este caso se consideraron todos los componentes del sistema de arrastre, como muestra la figura 41.

## V. Conclusiones

Al finalizar la presente investigación se concluyó que, tras analizar mediante fatiga y vibración el sistema de transmisión del mototaxi WX150-A, si es posible aumentar su vida útil mediante el empleo de los materiales AISI M43 (High Speed) y Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up, frente a los convencionales AISI 1045 para los engranajes y el AISI 304 para la cadena.

Para los objetivos específicos se concluyó lo siguiente:

Se diagnosticó el principal factor de falla que afecta la integridad del sistema de transmisión de mototaxis, para ello se utilizó la entrevista y se realizó a conductores de mototaxi y principalmente a los técnicos de los talleres dedicados a la reparación de estas. Donde se conoció que la pieza principal de falla es la cadena por fractura, de igual manera se tuvieron en segundo lugar los engranajes, pero de estos dos la que falla por fatiga es la catalina de 37T hasta llegar a la fractura de algunos dientes.

Luego, se seleccionó el material adecuado para el aumento de la vida útil del sistema de transmisión, mediante dos matrices ponderas se obtuvieron los dos materiales empleados, uno para la cadena, AISI M43 (High Speed) con un puntaje de 3,91, y para los engranajes se utilizó igual pero adicionalmente el material compuesto Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay

up, que obtuvo un puntaje de 3,72. Definidos ambos materiales, se colocaron sus propiedades mecánicas y físicas de cada material en tablas, obtenidas del programa CES Edupack, para poder ser ingresadas en el software ANSYS para las respectivas simulaciones.

Después, se simuló el comportamiento del sistema de transmisión bajo diferentes escenarios de carga. Se empezó con el estático estructural, obteniendo valores de esfuerzos, desplazamientos y deformaciones unitarias máximas, seguido de su factor de seguridad que para el caso del AISI 1045 de los engranajes obtuvo un mínimo de 8,5635, al ser mayor a uno indica que la pieza no fallará, pero frente a los materiales seleccionados, estos su mínimo esfuerzo es de 15. El segundo análisis fue el de fatiga, obteniendo un valor mínimo de 5,3329 para el AISI 1045, mientras que con el AISI M43 y Epoxy sus valores siguen siendo de 15. Resaltando que las mejores opciones son los seleccionados. Por último, se hizo el análisis de vibración el que indicó que, con los nuevos materiales, los engranajes podrán soportar mayores velocidades, mientras que con la cadena sus deformaciones totales son mayores los del AISI M43 en comparación con el AISI 304 pero las frecuencias son más bajas.

De igual manera, se comparó la vida útil del sistema de la transmisión con el material nuevo respecto al convencional, para ello se utilizaron los resultados obtenidos del análisis de fatiga. Teniendo como mejor material, los seleccionados debido a que su vida supera los  $10^9$  ciclos, su daño es muy pequeño y su factor de seguridad mínimo es de 15. Con respecto a la cadena pasa casi lo mismo con el AISI M43 (High Speed) pero con la carga de 1000N, mientras que la carga aumenta, su factor de seguridad va disminuyendo hasta llegar la fuerza de 3000N que su factor baja hasta 1,3247.

Por último, se elaboró un presupuesto detallado para el sistema de arrastre empleando el nuevo material seleccionado. Después de evaluar todos los costos asociados, se determinó que el costo total asciende aproximadamente a S/.1316,86. Esta estimación proporciona una visión clara del impacto económico del nuevo material en el diseño y su implementación.

## **VI. Recomendaciones**

Búsqueda de materiales compuestos más económicos para disminuir costos del sistema de arrastre, pero sin comprometer la calidad y durabilidad de estos. Una investigación alternativa puede resultar en opciones más accesibles para los conductores de mototaxis chicleyanos.

Obtener las frecuencias de operación de los engranajes y la cadena del mototaxi WX150-A. Esto permitirá realizar la comparación respectiva de frecuencias y comprobar si las piezas pudieran fallar por resonancia, siendo un paso crucial para garantizar la durabilidad y seguridad del sistema.

Por último, se recomienda que para futuras investigaciones se continúe y estudie a detalle los procesos de elaboración de un engranaje híbrido, considerando no solo la cantidad de suministros empleados para cada pieza de engranaje sino también incluyendo los procesos de manufactura los cuales son parte significativa del proceso de (fabricación) de los componentes de un sistema de transmisión de este tipo de vehículos.

## VII. Referencias

- [1] Livfast, «4 Benefits of Using an Auto Rickshaw,» [En línea]. Available: <https://www.livfast.in/4-benefits-of-using-an-auto-rickshaw/#:~:text=They%20are%20also%20a%20cheap,a%20run%20for%20their%20money..> [Último acceso: 16 Octubre 2023].
- [2] Editorial Perú, «Sunarp: Motocicletas lideraron inscripción de vehículos en el 2020,» *El Peruano*, 27 Marzo 2021.
- [3] L. M. Camones Soriano, «Congreso de la República,» 26 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://wb2server.congreso.gob.pe/spley-portal-service/archivo/MjIxOTI=/pdf/UNANIMIDAD%20PL%201273>. [Último acceso: 2 Octubre 2023].
- [4] S. -. E. Comercio, Dirección, *¿Cómo se fabrica una mototaxi?*. [Película]. Perú.2013.
- [5] S. Chalermpong, A. Ratanawaraha y O. Anuchitchanchai, «Motorcycle taxis' varying degrees of complementarity and substitution with public transit in Bangkok,» *Journal of Transport Geography*, vol. CVIII, n° 108, p. 103557, 2023.
- [6] A. A. Obiri-Yeboah, J. F. Xavier Ribeiro, L. Abedi Asante, A. Amoah Sarpong y B. Pappoe, «The new players in Africa's public transportation sector: Characterization of auto-rickshaw operators in Kumasi,» *Case Studies on Transport Policy*, vol. IX, n° 1, pp. 324-335, 2021.
- [7] A. J. Rahi AL-Graitti, «Auto Rickshaw Impacts with Pedestrians - A Computational Analysis of Post-Collision Kinematics and Injury Mechanincs,» Cardiff University School of Engineering, Cardiff, 2019.
- [8] E. Martin, T. Courtright, A. Nkurunziza y O. Lah, «Motorcycle taxis in transition? Review of digitalization and electrification trends in selected East African capital cities,» *Case Studies on Transport Policy*, vol. XIII, n° 101057, pp. 2213-624x, 2023.
- [9] P. Owusu-Ansah, A. A. Obiri-Yeboah, A. R. Abdul-Aziz, S. K. Woangbah, E. K. Nyantakyi y J. N. Asamoah, «Auto-Rickshaw Repair, Servicing and Maintenance for Youth-in-Entrepreneurship in Kumasi,» *Sustainability*, vol. XIV, n° 14, p. 8570, 2022.
- [10] S. E. Harding, M. G. Badami, C. C. Reynolds y M. Kandlikar, «Auto-rickshaws in Indian cities: Public perceptions and operational realities,» *Transport Policy*, vol. LII, n° 52, pp. 143-152, 2016.

- [11] Lubyanza, «Los mototaxis podrían formar parte de la principal solución de transporte urbano de África,» *Mobilise Your City*, 1 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.mobiliseyourcity.net/es/los-mototaxis-podrian-formar-parte-de-la-principal-solucion-de-transporte-urbano-de-africa>. [Último acceso: 2 Octubre 2023].
- [12] A. Behl, P. Rathi y A. Kumar, «Sustainability of the Indian auto rickshaw sector: identification of enablers and their interrelationship using TISM,» *Services and Operations Management*, vol. XXXI, nº 2, pp. 137- 168, 2018.
- [13] *Mira como es dentro de la fábrica de Bajaj Boxer y Torito*. [Película]. India: Bajaj, 2020.
- [14] J. McCay, «Burrow,» *Compare the market*, 3 Mayo 2023. [En línea]. Available: <https://www.comparethemarket.com.au/car-insurance/features/best-countries-for-driving-2023/>. [Último acceso: 1 Octubre 2023].
- [15] K. Kali Pal, R. Li, K. Piaget, S. Baller y S. Zahidi, *Global Gender Gap Report*, Ginebra: World Economic Forum, 2023.
- [16] S. V. Crespo, «Peligro al volante: Perú es el segundo país con el peor tráfico vehicular del mundo,» *Buena Pepa*, 20 Febrero 2023. [En línea]. Available: <https://buenapepa.pe/peru-es-el-segundo-pais-mas-inseguro-para-conducir/>. [Último acceso: 5 Octubre 2023].
- [17] N. Hadnagy, «The Burrow,» *Compare the market*, 1 Febrero 2023. [En línea]. Available: <https://www.comparethemarket.com.au/car-insurance/features/worlds-best-drivers/>. [Último acceso: 1 Octubre 2023].
- [18] U. Schmucker, R. Dandona, G. A. Kumar y L. Dandona, «Crashes involving motorised rickshaws in urban India: characteristics and injury patterns,» *Injury*, vol. XLII, nº 42, pp. 104-111, 2011.
- [19] Kapla Motor Industries, «El lado oscuro de Tuk Tuks en Sri Lanka: desvelando a los peligros,» *Aprender*, 3 Agosto 2023. [En línea]. Available: <https://kaplamotors.com/learn/f/the-dark-side-of-tuk-tuks-in-sri-lanka-unveiling-the-dangers>. [Último acceso: 2 Octubre 2023].
- [20] M. V. Merukar y P. S.V.Tawade, «Transmission Gear Failure Causes and the Remedies,» *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJARSCT)*, vol. 10, nº 2, pp. 299-309, 2020.

- [21] P. Sokolski, «ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF WEAR CRACK OF CHAINDRIVE ON STRESS IN ITS ELEMENTS,» *Tribologia*, vol. 2, n° 304, p. 65–72, 2023.
- [22] I. Mendes, «Structural integrity analysis of a TUK TUK,» Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2019.
- [23] Z. Chen, J. Xu, B. Liu, Y. Zhang y J. Wu, «Structural integrity analysis of transmission structure in flapping-wing micro aerial vehicle via 3D printing,» *Engineering Failure Analysis*, vol. XCVI, n° 96, pp. 18-30, 2019.
- [24] L. Solazzi, D. Bertoli y L. Ghidini, «Static and dynamic study of the industrial vehicle transmission adopting composite materials,» *Composite Structures*, vol. 316, n° 117042, 2023.
- [25] A. W. Vedant Durgam, «Structural and Modal Analysis of Roller Chain,» *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology (IRJIET)*, vol. VI, pp. 15-21, 2021.
- [26] P. K. J, P. K. S y S. I. Mukanavar, «Modal Analysis of Standard and Profile Modified Spur Gears by Finite Element Analysis,» *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. IX, n° 7, pp. 2899-2906, 2022.
- [27] T. Syam, Y. Badri, S. Sassi y J. Renno, «Modal analysis of spur gears for varied teeth root cracks characteristics: finite element analysis (FEA) simulations,» de *International Conference on Vibroengineering*, Dubai, 2022.
- [28] G. Flores, «Qué es un tuktuk?,» Las respuestas, 26 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://la-respuesta.com/pautas/Que-es-un-tuk-tuk/>. [Último acceso: 27 Noviembre 2023].
- [29] S. Kumar y S. Sinha, «A STUDY ON AUTO-RICKSHAW USERS AND DRIVERS CHARACTERISTICS IN PATNA,» Research Gate, Bihar, 2014.
- [30] s. vlogs, «Partes de una mototaxi,» Youtube, 20 Junio 2020. [En línea]. Available: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=198&v=2r35q-m4vuc&embeds\\_referring\\_euri=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2Fsearch%3Fq%3Dpartes%2Bde%2Bla%2Bmototaxi%26oq%3Dpartes%2Bde%2Bla%2Bmototaxi%26gs\\_lcrp%3DEgZjaHJvbWUqDAgAEcMYJxiABBiKBTIMCAAQIxgnG&source\\_ve\\_](https://www.youtube.com/watch?time_continue=198&v=2r35q-m4vuc&embeds_referring_euri=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2Fsearch%3Fq%3Dpartes%2Bde%2Bla%2Bmototaxi%26oq%3Dpartes%2Bde%2Bla%2Bmototaxi%26gs_lcrp%3DEgZjaHJvbWUqDAgAEcMYJxiABBiKBTIMCAAQIxgnG&source_ve_). [Último acceso: 29 Noviembre 2023].

- [31] Renting Finders, «¿Qué Es El Espejo Retrovisor De Un Coche?,» Renting Finders, [En línea]. Available: <https://rentingfinders.com/glosario/espejo-retrovisor/#:~:text=Los%20espejos%20retrovisores%20son%20dispositivos,la%20ca%20beza%20o%20el%20cuerpo..> [Último acceso: 29 Noviembre 2023].
- [32] Romasilence, «Guía para usar los intermitentes de moto,» La primera moto inteligente, 2 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.romasilence.com/blog/intermitentes-de-moto/>. [Último acceso: 29 Noviembre 2023].
- [33] Tu ITV de confianza, «Qué función tienen las llantas del coche,» TÜV Rheinland, 7 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.itv-tuvrheinland.es/que-funcion-tienen-las-llantas-del-coche/#:~:text=La%20principal%20funci%C3%B3n%20de%20las,por%20tanto%2C%20un%20mayor%20desgaste..> [Último acceso: 29 Noviembre 2023].
- [34] Honda Motor Valencia, «Qué tipos de transmisión de moto existen,» [En línea]. Available: <https://www.hondamotovalencia.es/blog/que-tipos-de-transmision-de-moto-existen/>. [Último acceso: 24 Abril 2024].
- [35] MAPFRE, «Los tipos de transmisión de moto,» 17 Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://www.motor.mapfre.es/motos/noticias-motos/transmision-moto-cadena-correa-cardan/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2023].
- [36] Pilot Solution, «Ranking Perú: los más vendidos a Febrero 2022,» 25 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://blog.pilotsolution.net/es/peru-mas-vendidos-febrero-2022/#:~:text=Las%20marcas%20de%20motos%20m%C3%A1s,BAJAJ.> [Último acceso: 20 Abril 2024].
- [37] D. -. EXPOIMSA, «Cadenas industriales y agrícolas,» 23 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.expoimsa.com/que-es-una-cadena/#:~:text=Los%20cinco%20tipos%20de%20cadenas&text=Por%20ejemplo%2C%20la%20cadena%20de,a%C3%A9reos%20para%20f%C3%A1bricas%20de%20autom%C3%B3viles..> [Último acceso: 24 Abri 2024].
- [38] M. Kanehira, The Complete Guide to Chain, Illinois: Tsubaki, 1997.
- [39] HPC, «Gears and Sprockets,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.hpceurope.com/cat16HPC/HPC-T4-2016-GearsAndSprockets.pdf>. [Último acceso: 22 Septiembre 2024].

- [40] Nippon Piston Company, «Hoja tecnica cadenas moto npc,» Leonardo Victoria, [En línea]. Available: [https://issuu.com/lvictoriae/docs/hoja\\_tecnica\\_-\\_cadenas\\_moto\\_npc](https://issuu.com/lvictoriae/docs/hoja_tecnica_-_cadenas_moto_npc). [Último acceso: 22 Septiembre 2024].
- [41] J. Taylor, Gears and Gearing, London: Telepen, 1979.
- [42] Full time motos, «Catalina de motocicleta: cadena y piñón para transmisión,» 19 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://fulltimemotos.com.ar/catalina-de-motocicleta-con-su-cadena-y-pinion/>. [Último acceso: 22 Abril 2024].
- [43] M. T. Búa, «Engranajes,» 3 Abril 2014. [En línea]. Available: [https://recursos.edu.xunta.gal/sites/default/files/recurso/1464947673/43\\_engranajes.html](https://recursos.edu.xunta.gal/sites/default/files/recurso/1464947673/43_engranajes.html). [Último acceso: 24 Abril 24].
- [44] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shingley, New York: Mc Graw Hil, 2012.
- [45] J. E. Shigley, Diseño en ingeniería mecánica, Mexico: McGraw-Hill, 2012.
- [46] G. Lira, «Este contenido pertenece a Autofact. Queda expresamente prohibido copiarlo o explotarlo en cualquier forma que no esté explícitamente exceptuada por la ley y convenios internacionales vigentes sobre propiedad intelectual. <https://www.autofact.pe/blog/mi-m>,» Autofact, 8 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.autofact.pe/blog/mi-moto/mecanica/transmision-moto#toc-index-1>. [Último acceso: 22 Abril 2024].
- [47] Full Time Motos, «Engranajes para motos: tipos, funciones y consejos,» [En línea]. Available: [https://fulltimemotos.com.ar/engranajes-para-motos/#cual\\_es\\_la\\_diferencia\\_entre\\_un\\_pi\\_on\\_y\\_un\\_engranaje](https://fulltimemotos.com.ar/engranajes-para-motos/#cual_es_la_diferencia_entre_un_pi_on_y_un_engranaje). [Último acceso: 22 Abril 2024].
- [48] J. L. García, «¿Qué es el piñón de salida? ¿Cuál es su función en la transmisión?,» Motociclismo , 28 Marzo 2023. [En línea]. Available: [https://www.motociclismo.es/consejos/mantenimiento/que-es-pinon-salida-cual-es-su-funcion-en-transmision\\_274339\\_102.html](https://www.motociclismo.es/consejos/mantenimiento/que-es-pinon-salida-cual-es-su-funcion-en-transmision_274339_102.html). [Último acceso: 22 Abril 024].
- [49] «Iwis wir bewegen die welt,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.iwis.com/as-handbook/iwis-handbook-for-chain-engineering-design-and-construction.pdf>. [Último acceso: 22 Septiembre 2024].
- [50] Rodavigo, «PIÑONES PARA CADENAS DE RODILLOS DIN 8187,» [En línea]. Available:

- <https://rodavigo.net/catalogos/TRANSMISION/11%20Pi%C3%B1ones%20y%20discos/07%20Pi%C3%B1ones%20para%20cadenas%20de%20rodillos%20DIN%208187.pdf>. [Último acceso: 22 Septiembre 2024].
- [51] A. Massobrio, «Static Structural Analysis: Basics and Applications,» [En línea]. Available: <https://www.neuralconcept.com/post/static-structural-analysis-basics-and-applications#:~:text=Static%20structural%20analysis%20determines%20with,for%20static%20and%20explicit%20structures..> [Último acceso: 29 Septiembre 2024].
- [52] F. Udoeyo, Structural Analysis, Pennsylvania: North Broad Press, 2020.
- [53] Motovated - Engineering Your Vision., «FEA: Static and Dynamic Analysis of Mechanical Parts,» 2024 Motovated, [En línea]. Available: <https://www.motovated.co.nz/fea-static-and-dynamic-analysis-of-mechanical-parts/#:~:text=The%20static%20analysis%20of%20mechanical,the%20applied%20loads%20change%20rapidly..> [Último acceso: 29 Septiembre 2024].
- [54] FEA Solutions, «Fatigue Analysis,» [En línea]. Available: <https://fea-solutions.co.uk/fatigue-analysis/#:~:text=A%20fatigue%20analysis%20is%20performed,crack%20somewhere%20in%20the%20component..> [Último acceso: 29 Septiembre 2024].
- [55] ANSYS, «How To Perform Modal Analysis — Lesson 1,» 2021. [En línea]. Available: <https://innovationspace.ansys.com/courses/courses/modal-analysis-in-ansys-mechanical/lessons/how-to-perform-modal-analysis-lesson-1-2/#:~:text=Modal%20analysis%20provides%20valuable%20insight,be%20harmful%20to%20the%20structure..> [Último acceso: 29 Septiembre 2024].
- [56] S. L. Gjelstrup, «What is Modal Analysis: The Ultimate Guide,» 31 Agosto 2023. [En línea]. Available: <https://dewesoft.com/blog/what-is-modal-analysis>. [Último acceso: 29 Septiembre 2024].
- [57] INVAP Ingeniería S.A., «Integridad Estructural,» [En línea]. Available: <https://www.invapingenieria.com.ar/integridad-estructural/>. [Último acceso: 23 Abril 2024].
- [58] Joining Innovation with Expertise - TWI, «What is Structural Integrity and Why is it Important?,» [En línea]. Available: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/structural-integrity>. [Último acceso: 2024 Abril 22].

- [59] J. Toribio, «Towards a new concept of structural integrity,» *Procedia Structural Integrity*, nº 26, pp. 354-359, 2020.
- [60] V. Harutyunyan, «Tipos Comunes de Fallos en Dientes de Engranajes,» [En línea]. Available: <https://hvhindustrial.com/es/blog/Fallos-en-Dientes-de-Engranaje>. [Último acceso: 22 Abril 2024].
- [61] D. Szwed, «Sprocket Tooth Wear: The Causes and Solutions,» 21 Agosto 2023. [En línea]. Available: <https://www.mechanicalpower.net/blog/industrial-machinery/sprocket-tooth-wear-the-causes-and-solutions/>. [Último acceso: 23 Abril 2024].
- [62] J. J. C. Eras, R. G. Espinosa, J. M. Rodríguez y E. Alvarez, «Cálculo de los dientes de engranajes abierto al flujo plástico,» *Ingeniería Mecánica*, pp. 49-55, 1999.
- [63] M. S.P, M. N. A.A. y M. M. T.S., «Static Analysis of Spur Gear Using Finite Element Analysis,» *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)* , pp. 26-31, 2012.
- [64] David, «MANTENIMIENTO DE CADENAS,» 27 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.expoimsa.com/mantenimiento-de-cadenas/>. [Último acceso: 22 Abril 2024].
- [65] Allied-Locke Industries Inc., «CHAIN CARE & TROUBLE SHOOTING,» [En línea]. Available: <https://chains.alliedlocke.com/Asset/Chain-Care---Trouble-Shooting.pdf>. [Último acceso: 19 Agosto 2024].
- [66] W. Fletcher, «The 4 Chief Causes Of Transmission Chain Failure And How To Combat Them,» Hayley, [En línea]. Available: <https://www.hayley-group.co.uk/2021/06/02/the-4-chief-causes-of-transmission-chain-failure-and-how-to-combat-them/>. [Último acceso: 23 Abril 2024].
- [67] R. George, «Factors Affecting Bicycle Transmission Efficiency,» Cozy Beehive, 12 Enero 2012. [En línea]. Available: <https://cozybeehive.blogspot.com/2012/01/factors-affecting-bicycle-transmission.html>. [Último acceso: 23 Abril 2024].
- [68] R. Saito, N.-A. Noda, Y. Sano, J. Song, T. Minami, Y. Birou, A. Miyagi y Y. Huang, «Fatigue Strength Analysis and Fatigue Damage Evaluation of Roller Chain,» *MDPI - Metals*, vol. VIII, nº 10, p. 847, 2018.
- [69] AIMPLAS, «Fatiga,» [En línea]. Available: <https://www.aimplas.es/laboratorio/ensayos->

- fatiga/#:~:text=Los%20ensayos%20de%20fatiga%20permiten,la%20aplicaci%C3%B3n%20repetida%20de%20carga.. [Último acceso: 22 Abril 2024].
- [70] Zwick Roell, «Ensayo de fatiga,» [En línea]. Available: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-fatiga/>. [Último acceso: 22 Abril 2024].
- [71] R. C. García Gómez, «Departamento de Metal-Mecánica,» 2018. [En línea]. Available: <https://s1b0d3d77136c1679.jimcontent.com/download/version/1532278084/module/14147538830/name/diapos%20u3.pdf>. [Último acceso: 2024 Agosto 26].
- [72] Universidad Nacional de Rosario, «Fatiga de los materiales,» [En línea]. Available: <https://www.fceia.unr.edu.ar/materialescivil/presentaciones/06%20Fatiga%20de%20los%20materiales%202020.pdf>. [Último acceso: 2024 Agosto 26].
- [73] Mecapedia, «Criterio de Gerber,» 16 Septiembre 2022. [En línea]. Available: [https://www.mecapedia.uji.es/pages/criterio\\_de\\_Gerber.html](https://www.mecapedia.uji.es/pages/criterio_de_Gerber.html). [Último acceso: 22 Abril 2024].
- [74] AIMPLAS, «Tipos de materiales compuestos,» 3 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.aimplas.es/blog/tipos-de-materiales-compuestos/#:~:text=Un%20material%20compuesto%20o%20material,de%20los%20componentes%20por%20separado..> [Último acceso: 2024 Abril 2024].
- [75] A. K. Kaw, Mechanics of Composite Materials, Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006.
- [76] Dassault Systèmes - SolidWorks Corporation, «SolidWorks,» AutoDesk, [En línea]. Available: <https://www.solidworks.com/es>. [Último acceso: 20 Agosto 2024].
- [77] Montajes Soluciones Ingeniería, «Ventajas y Desventajas SolidWorks,» 13 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.ms-ingenieria.com.mx/dibujo/ventajas-y-desventajas-de-solidworks/>. [Último acceso: 20 Agosto 2024].
- [78] Edutools Tec, «Ansys Granta Edupack,» [En línea]. Available: <https://edutools.tec.mx/es/colecciones/tecnologias/ansys-granta-edupack/#:~:text=Ansys%20Granta%20EduPack%20es%20una,habilidades%20importantes%20en%20los%20estudiantes..> [Último acceso: 24 Abril 2024].
- [79] Ansys, «Ansys Granta EduPack,» [En línea]. Available: <https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack>. [Último acceso: Abril 24 2024].

- [80] C. Vega, «SemoCAD,» [En línea]. Available: <https://www.semco.com.pe/ansys-software-de-simulacion/>. [Último acceso: 24 Abril 2024].
- [81] Ansys, «Ansys Workbench,» [En línea]. Available: <https://www.ansys.com/products/ansys-workbench>. [Último acceso: 24 Abril 2024].
- [82] Universidad de Piura, «Maestria en Integridad Estructural,» 9 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.udep.edu.pe/ingenieria/wp-content/uploads/sites/7/2022/03/Maestria-en-Integridad-Estructural.pdf>. [Último acceso: 5 Noviembre 2023].
- [83] Auto Crash, «Sistema de transmisión en motocicletas,» 19 Marzo 2016. [En línea]. Available: <https://www.revistaautocrash.com/sistema-de-transmision-en-motocicletas/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2023].
- [84] REDD, «Consejos para mantener la transmisión de nuestra moto siempre en perfecto estado,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.redd.es/consejos-para-mantener-la-transmision-de-nuestra-moto-siempre-en-perfecto-estado/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2023].
- [85] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), «PRINCIPALES INDICADORES MACROECONÓMICOS,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>. [Último acceso: 16 Mayo 2024].
- [86] Asociación Automotiz del Perú, «Venta e inmatriculación de vehículos menores nuevos 2024,» Febrero 2024. [En línea]. Available: [https://aap.org.pe/estadisticas/ventas\\_inmatriculaciones\\_vehiculos\\_nuevos/venta-e-inmatriculacion-de-vehiculos-nuevos-2024/](https://aap.org.pe/estadisticas/ventas_inmatriculaciones_vehiculos_nuevos/venta-e-inmatriculacion-de-vehiculos-nuevos-2024/). [Último acceso: 16 Mayo 2024].
- [87] Devexpo, «Mundo Expomotor,» Expomotor, 20 Febrero 2024. [En línea]. Available: <https://expomotor.pe/venta-de-vehiculos-menores-en-2023/>. [Último acceso: 16 Mayo 2024].
- [88] Gneesteel, «Aleación de acero AISI 4140,» [En línea]. Available: <https://www.gneesteel.com/es/products/steel-plate/alloy-steel-plate/aisi-4140-alloy-steel.html>. [Último acceso: 26 Agosto 2024].
- [89] Aceros Llobregat, «16MnCr5, 20MnCr5 y 21MnCr5,» 2 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.acerosllobregat.com/16mncr5-20mncr5-y-21mncr5/>. [Último acceso: 26 Agosto 2024].

- [90] K. Hyunwoong, K. Cheol, K. Sanghyeon, K. Bongjoon y L. Chaehong, « NOVEL STEEL AND ARAMID/PHENOL COMPOSITE GEAR FOR A TRANSMISSION WITH OPTIMUM DESIGN AND FEM VIBRATION ANALYSIS,» *International Journal of Automotive Technology*, vol. 20, n° 4, pp. 749-754, 2019.
- [91] K. Ulrich y S. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos*, México: Mc Graw Hill Education, 2013.
- [92] Wanxin, «Wanxin,» 2023. [En línea]. Available: <https://motoswanxin.com.pe/producto/wx150-a-trimoto/>. [Último acceso: 21 Septiembre 2024].
- [93] Wanxin, «Wanxin,» 2016. [En línea]. Available: <https://wanxinchiclayo.wordpress.com/wp-content/uploads/2019/07/catalogo-virtual.pdf>. [Último acceso: 21 Septiembre 2014].
- [94] R. Flores Garcia, «Honda,» 2012. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/428866292/CATALOGO-PARTES-MOTOKAR-CG-150-pdf>. [Último acceso: 19 Junio 2024].
- [95] TYMA, «TYMA,» [En línea]. Available: <https://www.tyma.eu/pdf/tyma-retezovakola-prislusenstvi-sprockets-plate-wheels.pdf?v=c5003f04a56c5e17dcc3fb03e0741050>. [Último acceso: 22 Septiembre 2024].
- [96] Xingtai Xinmanli Technology Co, «Made in China,» [En línea]. Available: [https://es.made-in-china.com/co\\_xmltech/product\\_420-37t-58mm-Rear-Sprocket-420-Chain-for-Taotao-Mini-Bike-Go-Kart-Dirt-Pit-Bike\\_yseoyuonyg.html?pv\\_id=1i8ecbi6qe3a&faw\\_id=1i8ecbl80bf0](https://es.made-in-china.com/co_xmltech/product_420-37t-58mm-Rear-Sprocket-420-Chain-for-Taotao-Mini-Bike-Go-Kart-Dirt-Pit-Bike_yseoyuonyg.html?pv_id=1i8ecbi6qe3a&faw_id=1i8ecbl80bf0). [Último acceso: 22 Septiembre 2024].
- [97] Shanghai Sinoparts Supply Chain Co, «DIN Industrial chain 08B-1 roller chain pitch 12.7mm conveyor simplex transmission chain from Sinoparts,» Alibaba, [En línea]. Available: [https://www.alibaba.com/product-detail/DIN-Industrial-chain-08B-1-roller\\_1600897822725.html](https://www.alibaba.com/product-detail/DIN-Industrial-chain-08B-1-roller_1600897822725.html). [Último acceso: 22 Septiembre 2024].
- [98] G. Pahl, W. Beitz, J. Felhusen y K.H.Grote, *Engineering Design*, Magdeburg: Springer, 2007.

- [99] C. Rivera, J. Velásquez y Y. Montoya, «Diseño de Prototipo de Prótesis de Miembro Superior para Práctica de Halterofilia de Crossfit,» de *Science and Technology Conference*, Medellín, 2018.
- [100] R. Dean, L. Maglione y F. Cappellari, «Análisis de función y matriz morfológica aplicado al diseño de un implemento agrícola,» *Revista Aporte Santiaguino* , vol. XI, nº 1, pp. 11-20, 2018.
- [101] MegaTiendas Perú, «Mercado Libre,» [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-652734968-pinon-delantero-42817t-20-mm-motocicleta-atv-dirtbike-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-652734968-pinon-delantero-42817t-20-mm-motocicleta-atv-dirtbike-_JM). [Último acceso: 22 Septiembre 2024].
- [102] Tecnimotors, «CATALINA CD-125 42T 10MM TEC,» [En línea]. Available: <https://tecnimotors.com/products/cd-125-42t-10mm-tec-catalina?variant=37557366816930>. [Último acceso: 22 Septiembre 2024].
- [103] Shanghai Sinoparts Supply Chain Co, «DIN Industrial chain 08B-1 roller chain pitch 12.7mm conveyor simplex transmission chain from Sinoparts,» Alibaba, [En línea]. Available: [https://www.alibaba.com/product-detail/DIN-Industrial-chain-08B-1-roller\\_1600897822725.html](https://www.alibaba.com/product-detail/DIN-Industrial-chain-08B-1-roller_1600897822725.html). [Último acceso: 22 Septiembre 2024].


## Anexos

**Constancia de validación por juicio de expertos**

Quien suscribe, Ing. Rocky Pauca Tapia, mediante la presente hago constar que el instrumento utilizado para la recolección de datos de la tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico Eléctrico, titulado **“Integridad estructural del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano para aumentar su vida útil en Chiclayo”**, elaborado por el estudiante, Luciana Paloma Larrea Carranza; reúne los requisitos suficientes y necesarios para ser considerados válidos y confiables y, por tanto, aptos para ser aplicados en el logro del objetivo que se planteó en la investigación.

Atentamente

Chiclayo, 30 de abril del 2024



GENE ROCKY PAUCA TAPIA  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
Ing. Rocky Pauca Tapia

Firma

## PREGUNTAS PARA LA ENTREVISTA

Preguntas dirigidas a personas de talleres mecánicos y mototaxistas. Tenga usted, mis más cordiales saludos, mi nombre es Luciana Larrea Carranza, actualmente, soy estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Santo Toribio de Mogrovejo y me encuentro haciendo la presente entrevista para diagnosticar el principal factor de falla que afecta la integridad del sistema de transmisión de mototaxis de uso urbano en Chiclayo.

### **Instrucciones**

La presente entrevista es de carácter personal y anónima. Por favor responder con claridad y sinceridad. (Preguntar a expertos si se puede mostrar sus nombres).

<b>Cuestionario semiestructurado</b>
1. ¿Cuántos días por semana dedica al servicio de mototaxi?
2. Diga brevemente cuales son las fallas más comunes que ocurren en su mototaxi.
3. ¿Existen factores del entorno urbano de Chiclayo que afectan la integridad del sistema de transmisión de su unidad? Diga brevemente cuales son.
4. ¿Con qué frecuencia realiza mantenimiento al sistema de transmisión de su mototaxi?
5. ¿Son accesibles los repuestos de transmisión de su unidad, que sean de calidad en Chiclayo?
6. ¿Cuál es el costo promedio que gasta por reparación de su unidad?

### Respuestas obtenidas en las entrevistas

1) ¿Cuántos días por semana dedica al servicio de mototaxi?

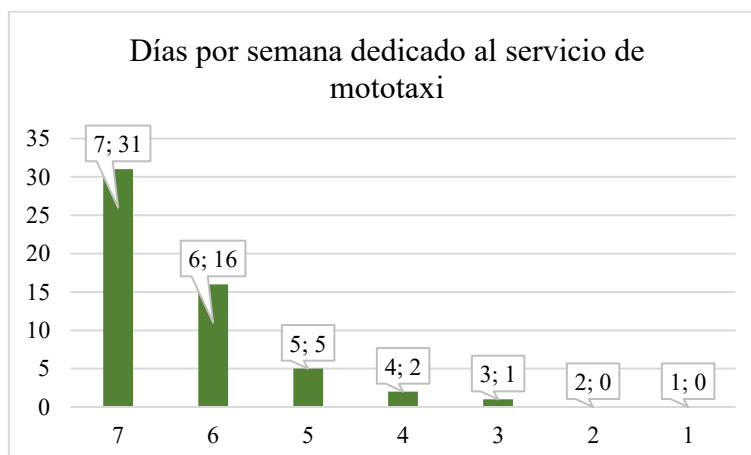


Gráfico 16: Días por semana dedicado al servicio de mototaxi

2) Diga brevemente cuales son las fallas más comunes que ocurren en su mototaxi.

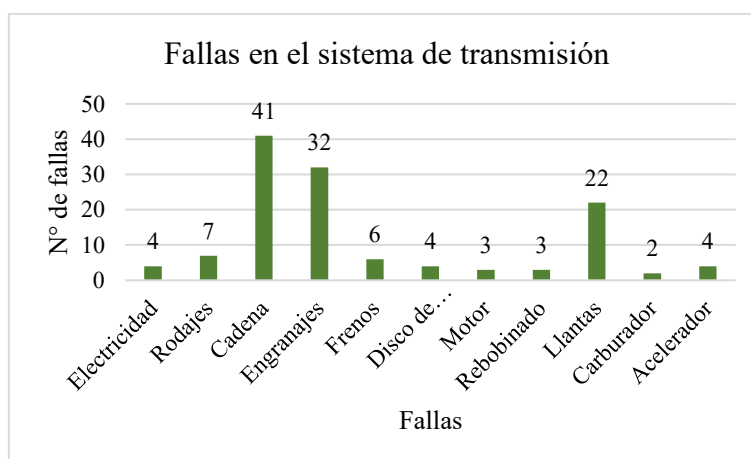


Gráfico 17: Fallas comunes en el sistema de transmisión

3) ¿Existen factores del entorno urbano de Chiclayo que afectan la integridad del sistema de transmisión de su unidad? Diga brevemente cuales son.



Gráfico 18: Factores urbanos que afectan la integridad del sistema de transmisión (Sí o No)

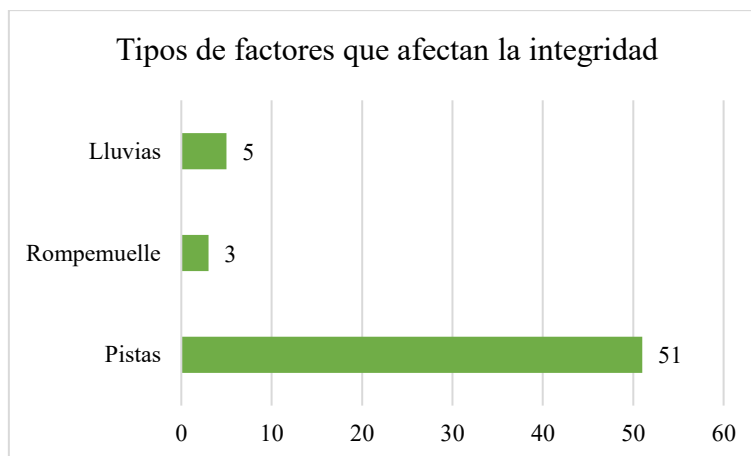


Gráfico 19: Tipos de factores que afectan la integridad del sistema de transmisión

4) ¿Con qué frecuencia realiza mantenimiento al sistema de transmisión de su mototaxi?

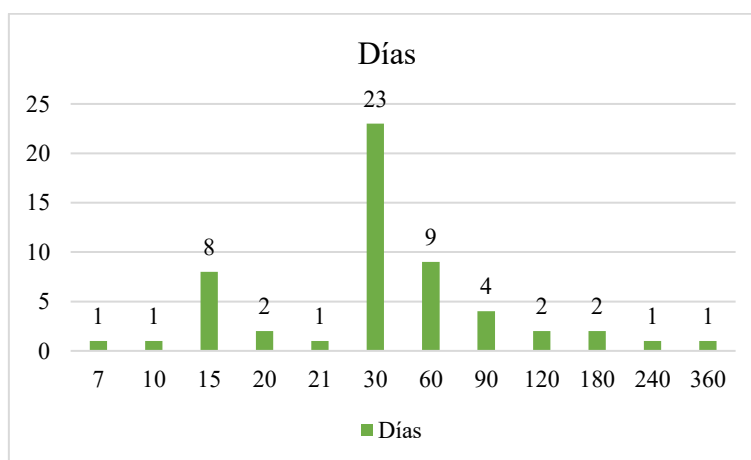


Gráfico 20: Frecuencia con la que realiza mantenimiento (días)

5) ¿Son accesibles los repuestos de transmisión de su unidad, que sean de calidad en Chiclayo?

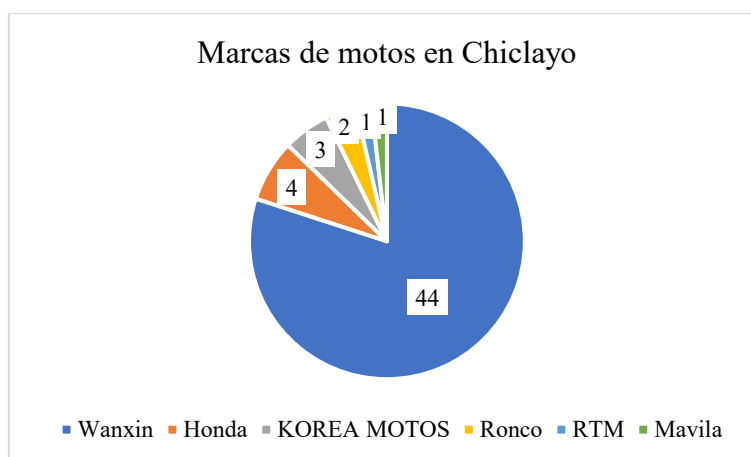


Gráfico 21: Marcas de mototaxis en Chiclayo

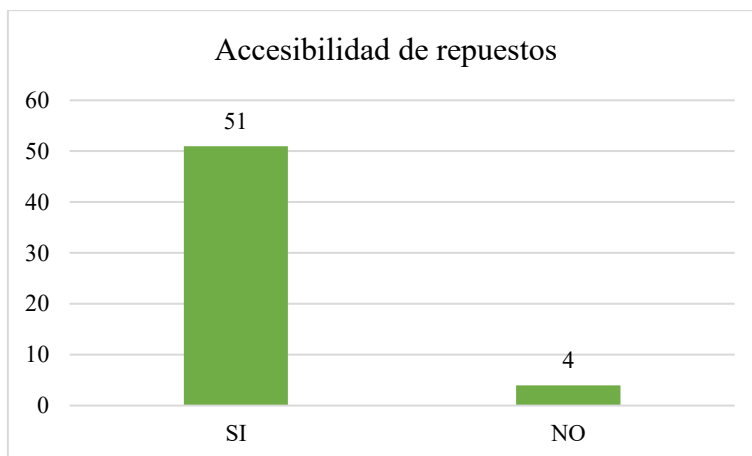


Gráfico 22: Accesibilidad de repuestos para el sistema de transmisión del mototaxi (Sí o No)

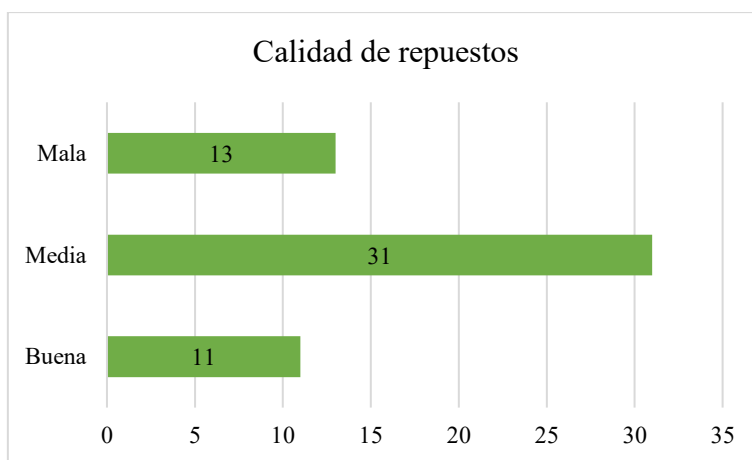


Gráfico 23: Calidad de los repuestos

6) ¿Cuál es el costo promedio que gasta por reparación de su unidad?

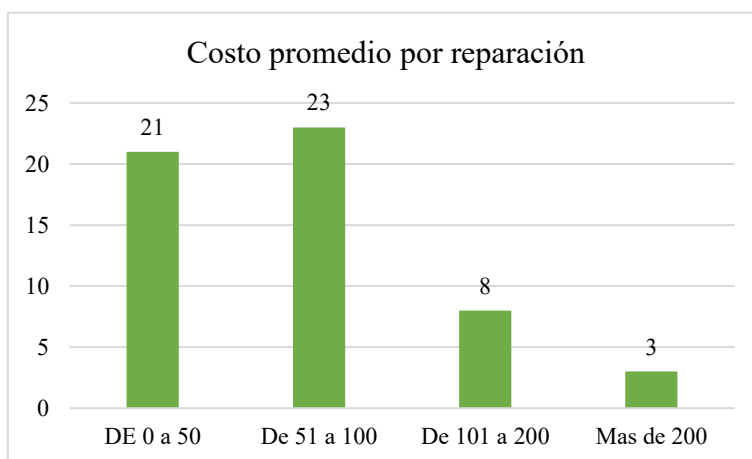


Gráfico 24: Costo promedio por reparación

### Sistema de transmisión al final de su vida útil

Figura 108: Roller link plate fracturado de la cadena 428H (Eslabón 1)



Fuente: Elaboración propia

Figura 109: Roller link plate fracturado de la cadena 428H (Eslabón 2)



Fuente: Elaboración propia

Figura 110: Roller link plate fracturado de la cadena 428H (Eslabón 3)



Fuente: Elaboración propia

Figura 111: Cadena de rodillos 428H, parte no doblada



Fuente: Elaboración propia

Figura 112: Cadena 438H doblada (1)



Fuente: Elaboración propia

Figura 113: Cadena 438H doblada (2)



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 114: Cadena 438H doblada (3)*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 115: Piñón 14T - 1/2"*



*Fuente: Elaboración propia*

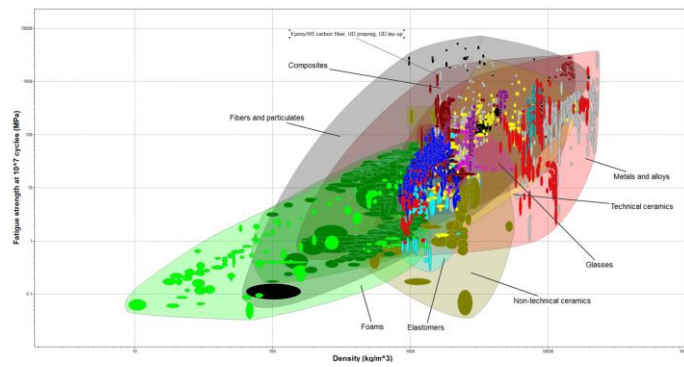
Figura 116: Catalina 37T con dientes fracturados



Fuente: Elaboración propia

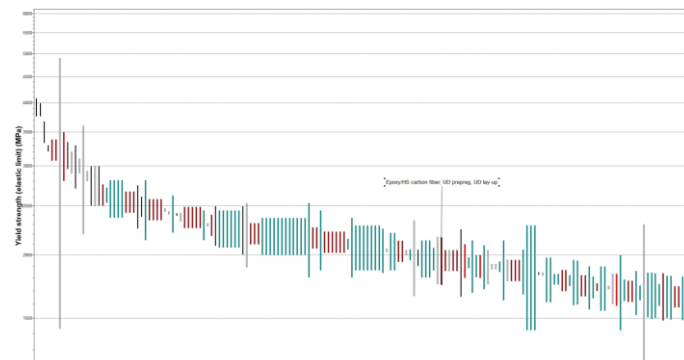
### Gráficas de material compuesto elegido

Figura 117: Ubicación del material epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up en Densidad vs resistencia a la fatiga



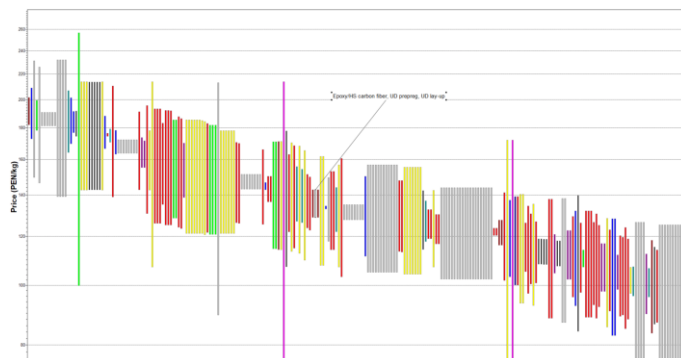
Fuente: Software Granta Edupack

Figura 118: Ubicación del material epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up en Límite elástico



Fuente: Software Granta Edupack

Figura 119: Ubicación del material epoxy HS carbon fiber UD prepeg, ud lay up en precio (S/. /kg)



Fuente: Software Granta Edupack

## Características de material elegido - Epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up

Figura 120: Información general y composición del material epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up

### General information

#### Designation ⓘ

Epoxy (EP) matrix, high strength (HS) carbon fibers (automotive grades) unidirectional non-crimp fabric, unidirectional lay-up [0°], resin transfer molded (RTM), 56-62% fiber by volume

#### Tradenames ⓘ

CYCOM; Voraforce 5300; Araldite XB3585/XB345B; Cytac XM TR750; EPIKOTE™ TRAC 06170; Daron 120, 150, 200

#### Typical uses ⓘ

Lightweight automotive components such as springs and roof arches

### Composition overview

#### Compositional summary ⓘ

Epoxy + Carbon fiber reinforcement

Material family	ⓘ	Plastic (thermoset)
Base material	ⓘ	EP (Epoxy resin)
% filler (by weight)	ⓘ	65 - 70 %
Filler/reinforcement	ⓘ	Carbon
Filler/reinforcement form	ⓘ	Non-crimp fabric, Unidirectional lay-up
Polymer code	ⓘ	EP-CF70

Fuente: Software Granta Edupack

Figura 121: Composición detallada, precio, propiedades físicas, mecánicas, térmicas, eléctricas, impacto y fractura del material epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up

### Composition detail (polymers and natural materials)

Polymer	ⓘ	30 - 35 %
Carbon (fiber)	ⓘ	65 - 70 %

### Price

Price	ⓘ	* 67 - 77.7 PEN/kg
Price per unit volume	ⓘ	* 1.04e5 - 1.23e5 PEN/m <sup>3</sup>

### Physical properties

Density	ⓘ	1.55e3 - 1.58e3 kg/m <sup>3</sup>
---------	---	-----------------------------------

### Mechanical properties

Young's modulus	(i)	* 110	-	131	GPa
Specific stiffness	(i)	* 70	-	83.7	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	(i)	* 1.48e3	-	1.84e3	MPa
Tensile strength	(i)	* 1.48e3	-	1.84e3	MPa
Specific strength	(i)	* 947	-	1.18e3	kN.m/kg
Elongation	(i)	* 1.38	-	1.61	% strain
Compressive modulus	(i)	* 105	-	111	GPa
Compressive strength	(i)	* 1.2e3	-	1.44e3	MPa
Flexural modulus	(i)	97	-	99	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	(i)	1.27e3	-	1.37e3	MPa
Shear modulus	(i)	* 3.2	-	5.4	GPa
Shear strength	(i)	* 96.9	-	102	MPa
Bulk modulus	(i)	* 7.7	-	10.3	GPa
Poisson's ratio	(i)	* 0.32	-	0.34	
Shape factor	(i)	7			
Hardness - Vickers	(i)	* 10.8	-	21.5	HV
Hardness - Rockwell M	(i)	* 80	-	110	
Hardness - Rockwell R	(i)	* 117	-	129	
Elastic stored energy (springs)	(i)	* 9.13e3	-	1.42e4	kJ/m <sup>3</sup>
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	(i)	* 815	-	1.2e3	MPa

### Impact & fracture properties

Fracture toughness	(i)	* 60.2	-	73.5	MPa.m <sup>0.5</sup>
Toughness (G)	(i)	* 30	-	45.4	kJ/m <sup>2</sup>
Impact strength, notched 23 °C	(i)	* 131	-	160	kJ/m <sup>2</sup>

### Thermal properties

Glass temperature	(i)	100	-	140	°C
Heat deflection temperature 0.45MPa	(i)	* 279	-	337	°C
Heat deflection temperature 1.8MPa	(i)	* 250	-	305	°C
Maximum service temperature	(i)	* 140	-	220	°C
Minimum service temperature	(i)	* -123	-	-73	°C
Thermal conductivity	(i)	* 3.9	-	6.6	W/m.°C
Specific heat capacity	(i)	* 902	-	1.04e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	(i)	* -0.44	-	0.16	µstrain/°C
Thermal shock resistance	(i)	* 3.56e4	-	4.35e4	°C

### Electrical properties

Electrical resistivity	(i)	* 9.71e4	-	2.87e5	µohm.cm
Electrical conductivity	(i)	* 6.01e-4	-	0.00178	%IACS
Galvanic potential	(i)	* 0.14	-	0.22	V

Fuente: Software Granta Edupack

Figura 122: Propiedades magnéticas, acústicas, permeabilidad, durabilidad, reciclaje, entre otras características del material epoxy HS carbon fiber UD prepreg, ud lay up

### Magnetic properties

Magnetic type		Non-magnetic
---------------	---	--------------

### Optical, aesthetic and acoustic properties

Transparency		Opaque
Acoustic velocity		* 8.36e3 - 9.16e3 m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)		* 0.0021 - 0.00278

### Critical materials risk

Contains >5wt% critical elements?		No
-----------------------------------	---	----




### Absorption & permeability

Water absorption @ 24 hrs		* 0.036 - 0.0525 %
---------------------------	---	--------------------



### Durability

Water (fresh)		Excellent
Water (salt)		Excellent
Weak acids		Acceptable
Strong acids		Unacceptable
Weak alkalis		Limited use
Strong alkalis		Excellent
Organic solvents		Limited use
Oxidation at 500C		Unacceptable
UV radiation (sunlight)		Good
Flammability		Slow-burning
Oxygen index		* 24 - 26 %


### Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production		* 655 - 723 MJ/kg
CO2 footprint, primary production		* 45.8 - 50.5 kg/kg
Water usage		* 1.34e3 - 1.48e3 l/kg





### Processing energy, CO2 footprint & water

Autoclave molding energy		* 20.9 - 23 MJ/kg
Autoclave molding CO2		* 1.67 - 1.84 kg/kg
Autoclave molding water		* 13.6 - 20.4 l/kg
Compression molding energy		* 3.33 - 3.68 MJ/kg
Compression molding CO2		* 0.266 - 0.294 kg/kg
Compression molding water		* 6.31 - 9.46 l/kg
Matched die (preform) molding energy		* 9.62 - 10.6 MJ/kg
Matched die (preform) molding CO2		* 0.77 - 0.849 kg/kg
Matched die (preform) molding water		* 8.93 - 13.4 l/kg

### Recycling and end of life

Recycle		✗
Recycle fraction in current supply		0.1 %
Downcycle		✓
Combust for energy recovery		✓
Heat of combustion (net)		* 31.3 - 32.9 MJ/kg
Combustion CO2		* 3.17 - 3.33 kg/kg
Landfill		✓
Biodegrade		✗

### Links

ProcessUniverse	
Producers	
Reference	
Shape	

Fuente: Software Granta edupack

Figura 123: Catálogo de la cadena 428 H o SBS-500M

Part number	DIN	Pitch P (mm)	B (mm)	Roller ØD (mm)	F (mm)	H (mm)	S (mm)	Breaking strength (N)	Sold in multiples of	Stock*	Price per metre
SBS-375/M	06B-1	9,52	5,72	6,35	14,0	8,3	1,25	6200	5 mètres	✓	30,89 €
SBS-500/M	08B-1	12,70	7,75	8,51	18,7	11,8	1,65	12000	5 mètres	✓	35,64 €
SBS-625/M	10B-1	15,88	9,65	10,16	21,1	14,7	1,70	14500	5 mètres	✓	48,84 €
SBS-750/M	12B-1	19,05	11,68	12,07	24,5	16,1	1,85	18500	5 mètres	✓	57,01 €

\*Depending on availability - Dimensions in mm

Fuente: [39]

### CAD de las piezas

#### CAD de los elementos del sistema de arrastre

##### Piñón 15T – 1/2"

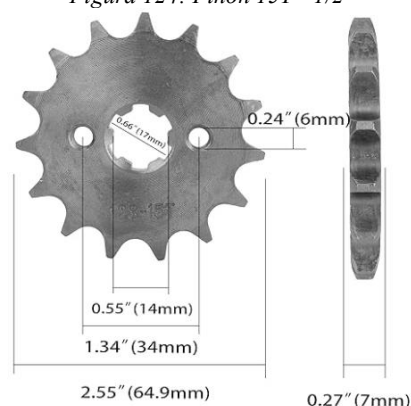
Medidas encontradas en diferentes catálogos. Se muestran a continuación:

Figura 125: Piñón 15T - 1/2"



Fuente: Elaboración Propia

Figura 124: Piñón 15T - 1/2"



Fuente: Mercado Libre [101]

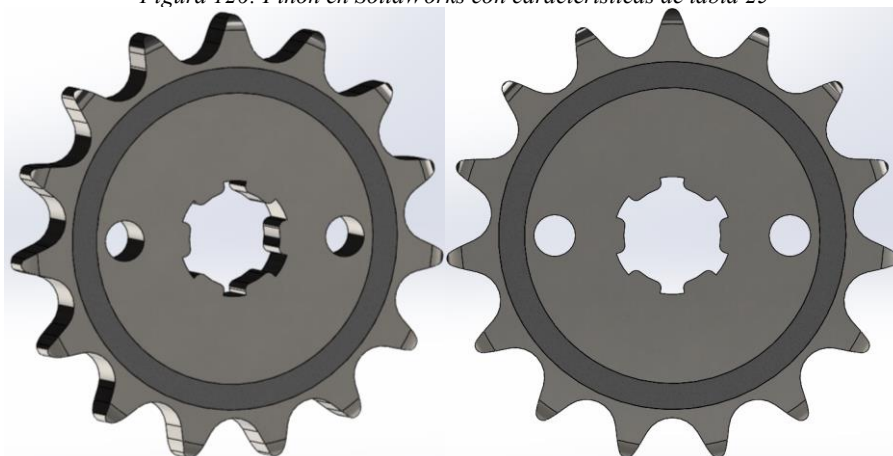
Tabla 27: Medidas del Piñón 37T – 1/2" en mm

z	d <sub>a</sub>	d	r <sub>3</sub>	C	B	P <sub>c</sub>
15	65,9	61,9	13	1,3	7,2	12,7

Fuente: [50], [95], [39]

Siguiendo con la elaboración de la pieza en el software, la forma de los dientes se hizo bajo la norma DIN 8196, obteniendo el siguiente resultado:

Figura 126: Piñón en SolidWorks con características de tabla 25

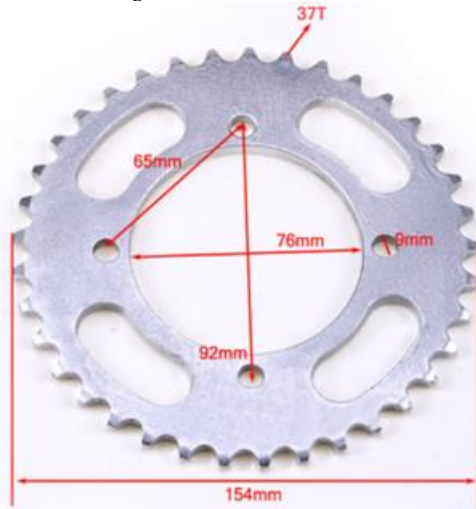


Fuente: Elaboración propia

##### Catalina 37T – 1/2"

Medidas encontradas en diferentes catálogos. Se muestran a continuación:

Figura 127: Catalina 35T - 1/2"



Fuente: [96]

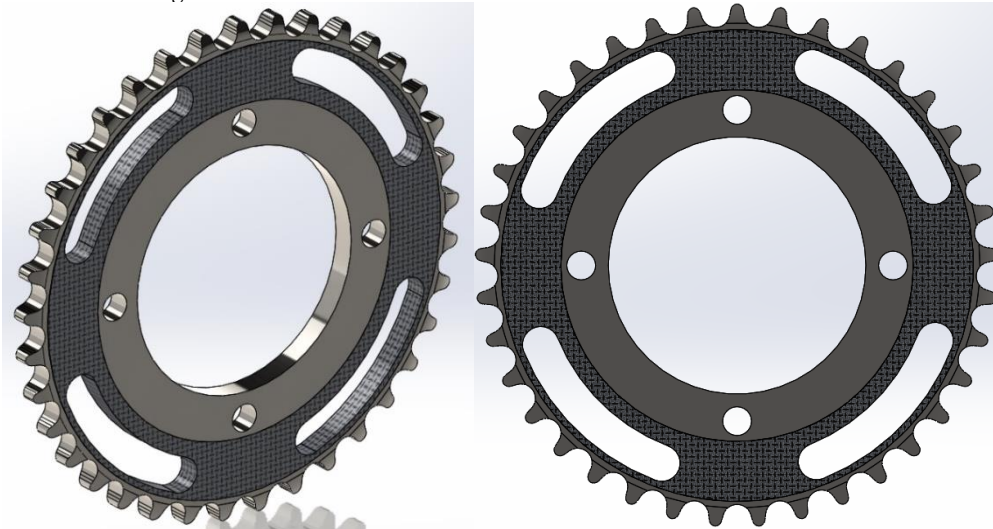
Tabla 28: Medidas de la Catalina 37T - 1/2" en mm

<b>z</b>	<b>d<sub>a</sub></b>	<b>d</b>	<b>r<sub>3</sub></b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>P<sub>c</sub></b>
37	154,6	149,76	13	1,3	7,2	12,7

Fuente: [50], [95], [39]

Siguiendo con la elaboración de la pieza en el software, la forma de los dientes se hizo bajo la norma DIN 8196, obteniendo el siguiente resultado:

Figura 128: Catalina 37T en SolidWorks con características de tabla 26



Fuente: Elaboración propia

## Catalina 42T – 1/2"

Medidas encontradas en diferentes catálogos. Se muestran a continuación:

Figura 129: Catalina 42T - 1/2"



Fuente: Tecnimotors [102]

Figura 130: Catalina 42T - 1/2"



Fuente: Elaboración Propia

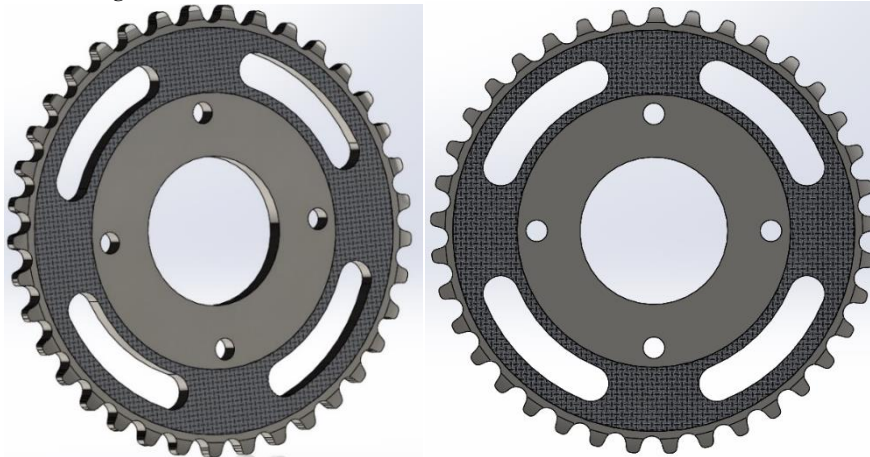
Tabla 29: Medidas del Piñón 37T – 1/2" en mm

$z$	$d_a$	$d$	$r_3$	$C$	$B$	$P_c$
15	175,40	169,95	13	1,3	7,2	12,7

Fuente: [95]

Siguiendo con la elaboración de la pieza en el software, la forma de los dientes se hizo bajo la norma DIN 8196, obteniendo el siguiente resultado:

Figura 131: Catalina 42T en SolidWorks con características de tabla 27



Fuente: Elaboración propia

## Cadena SBR 500 – DIN 08B-1

Medidas encontradas en diferentes catálogos. Se muestran a continuación:

Figura 132: Cadena SBR 500



Fuente: [97]

Tabla 30: Medidas de la cadena SBR 500 en mm

P	d1	b1	d2	L	h2	T
12,7	8,51	7,75	4,45	18,2	11,8	1,6

Fuente: [50], [95], [39]

Siguiendo con la elaboración de la pieza en el software, la forma de los dientes se hizo bajo la norma DIN 8187 e ISO 606, obteniendo el siguiente resultado:

Figura 133: Cadena 428H en SolidWorks con características de tabla 28



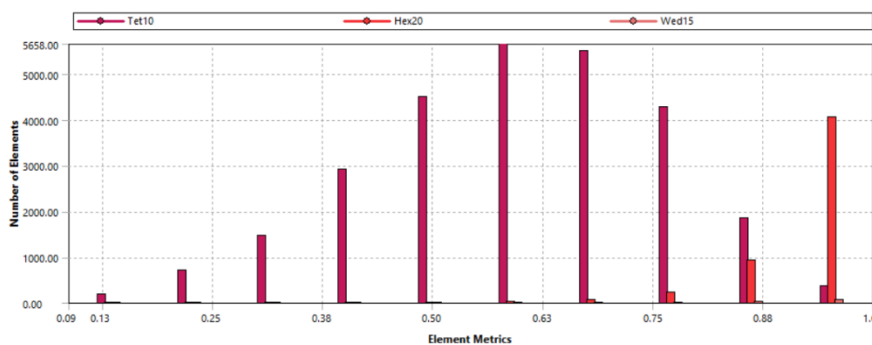
Fuente: Elaboración propia

**Datos del mallado**

– Calidad de malla de Catalina 37T

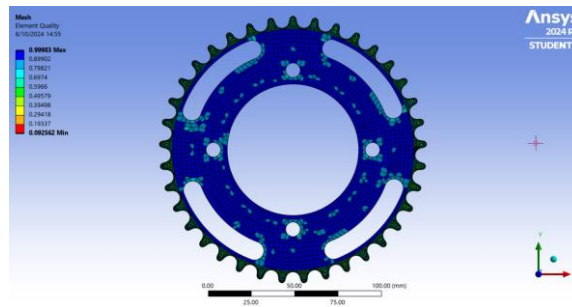
Element Quality

Figura 134: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elemento – Catalina 37T



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 135: Calidad de elemento en la catalina 37T

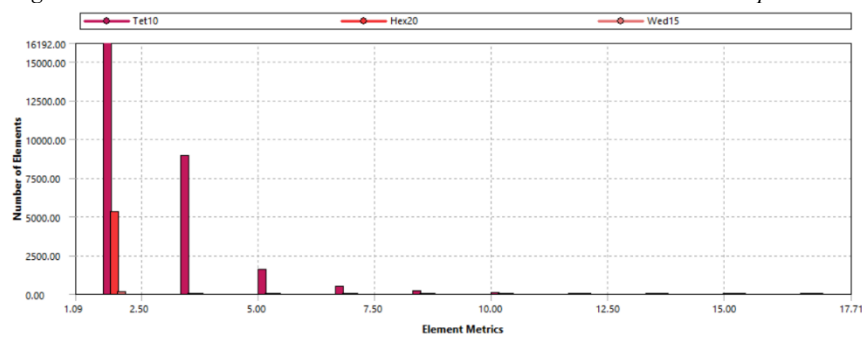


Fuente: ANSYS Workbench

La mayor parte de elementos de mala calidad se encuentran en los dientes del engranaje. Su porcentaje es pequeño en comparación a los elementos de calidad media.

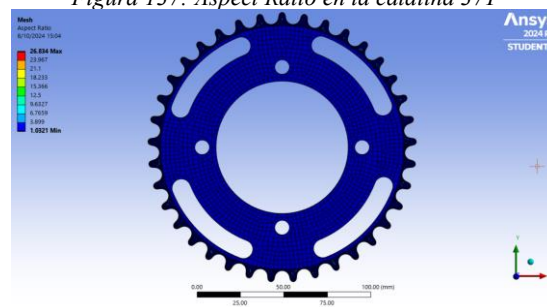
Aspect Ratio

Figura 136: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect Ratio



Fuente: ANSYS Workbench

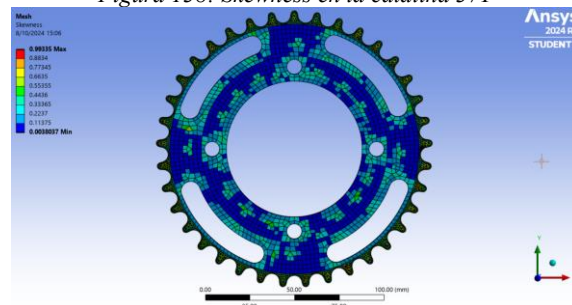
Figura 137: Aspect Ratio en la catalina 37T



Fuente: ANSYS Workbench

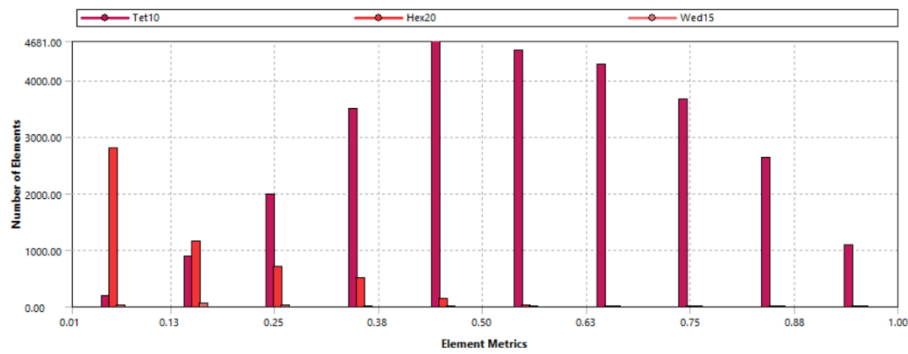
Skewness

Figura 138: Skewness en la catalina 37T



Fuente: Elaboración propia

Figura 139: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness



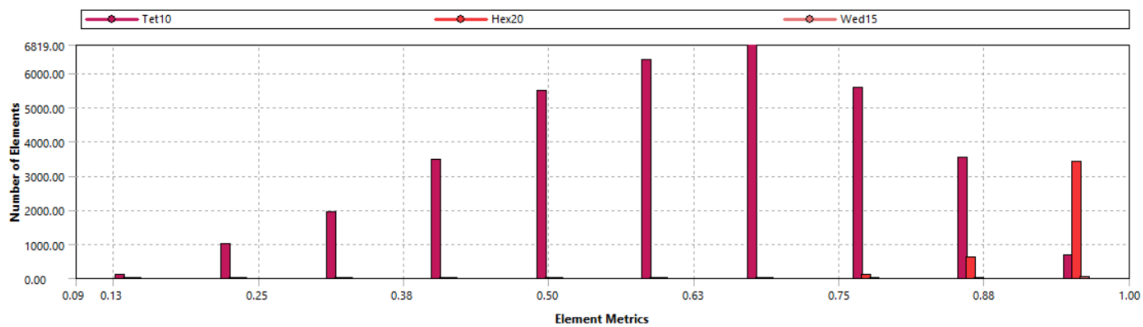
Fuente: ANSYS Workbench

Después de observar estos tres criterios, se puede determinar que la malla empleada es de una calidad media.

– Calidad de malla de Catalina 42T

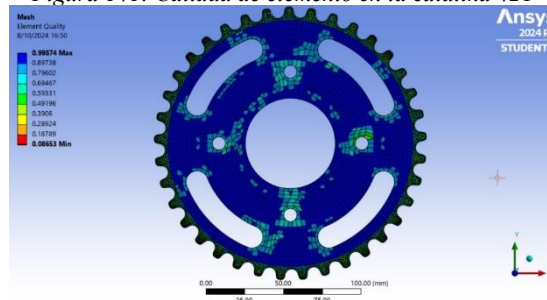
Element Quality

Figura 140: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elemento – Catalina 42T



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 141: Calidad de elemento en la catalina 42T

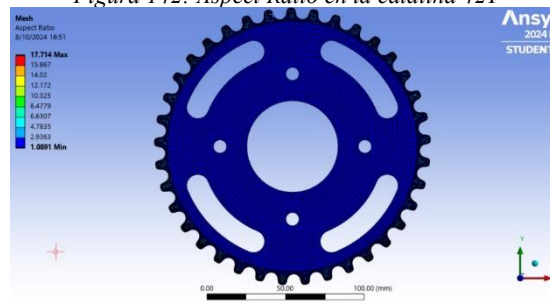


Fuente: ANSYS Workbench

La mayor parte de elementos de mala calidad se encuentran en los dientes del engranaje. Su porcentaje es pequeño en comparación a los elementos de calidad media.

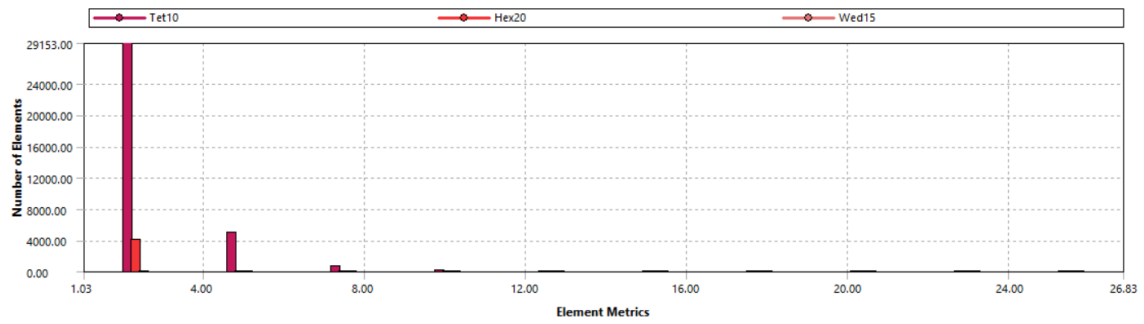
Aspect Ratio

Figura 142: Aspect Ratio en la catalina 42T



Fuente: ANSYS Workbench

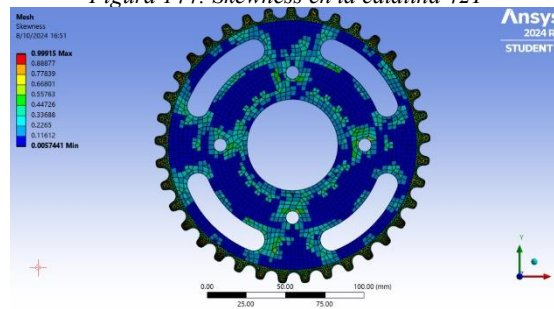
Figura 143: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect Ratio – Catalina 42T



Fuente: ANSYS Workbench

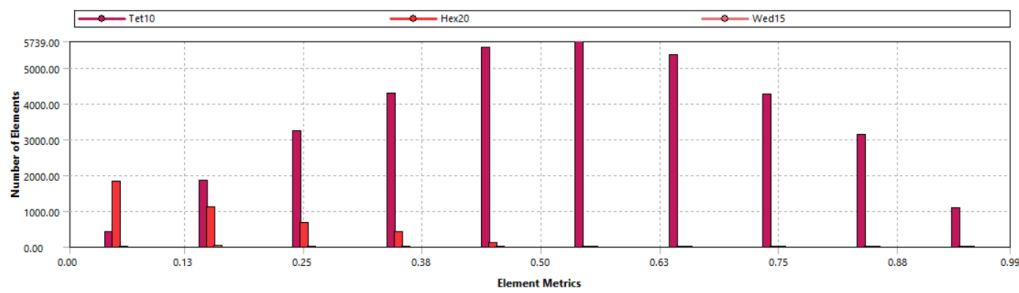
Skewness

Figura 144: Skewness en la catalina 42T



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 145: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness



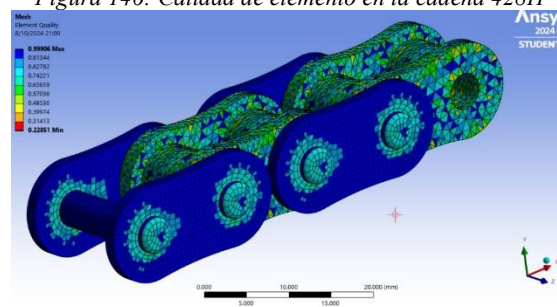
Fuente: ANSYS Workbench

Después de observar estos tres criterios, se puede determinar que la malla empleada es de una calidad media.

- Calidad de malla de la cadena 428H

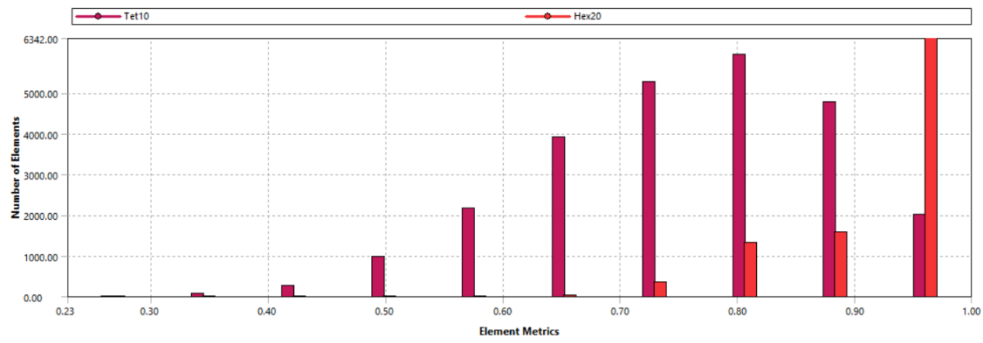
Element Quality

Figura 146: Calidad de elemento en la cadena 428H



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 147: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elemento - Cadena 428H

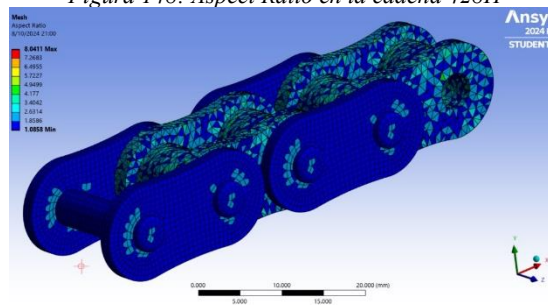


Fuente: ANSYS Workbench

La mayor parte de elementos de mala calidad se encuentran en los dientes del engranaje. Su porcentaje es pequeño en comparación a los elementos de calidad media.

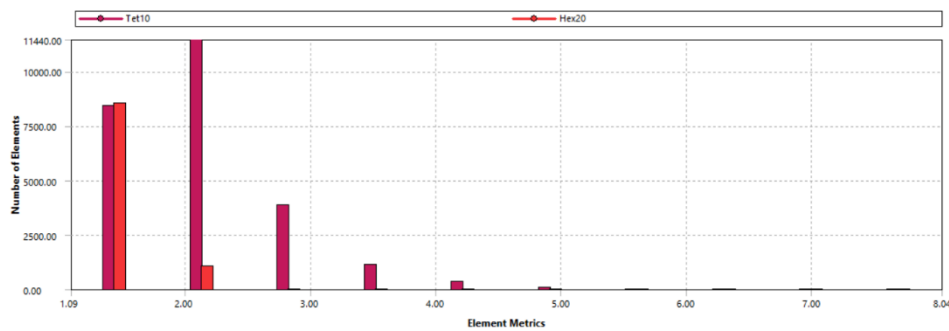
Aspect Ratio

Figura 148: Aspect Ratio en la cadena 428H



Fuente: ANSYS Workbench

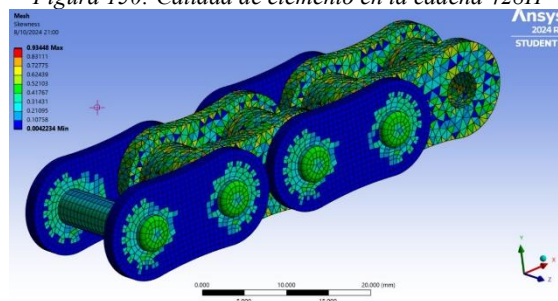
Figura 149: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect Ratio – Cadena 428H



Fuente: ANSYS Workbench

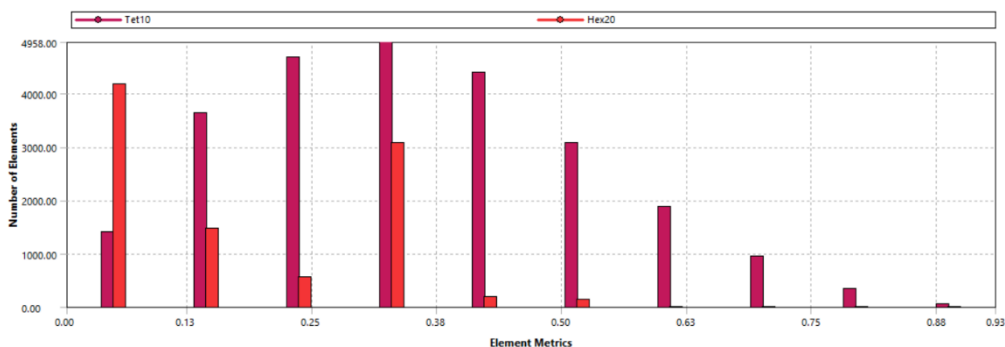
Skewness

Figura 150: Calidad de elemento en la cadena 428H



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 151: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness



Fuente: ANSYS Workbench

Después de observar estos tres criterios, se puede determinar que la malla empleada es de una calidad media.

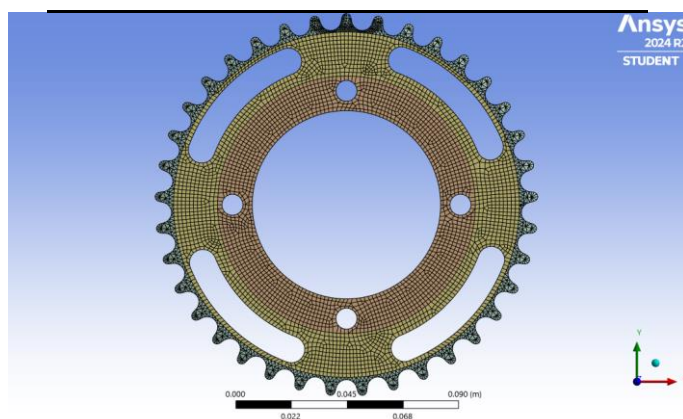
- Estático estructural y fatiga

Tabla 31: Datos de mallado para la simulación de la catalina 37T - 1/2"

Parámetros	Resultados
Preferencia física	Mecánica
Transición	Rápida
Diagonal del cuadro delimitador	218.46 mm
Alisado	Medio
Número de nodos	97353
Número de elementos	39024

Fuente: Elaboración propia  
 Figura 152: Mallado en la

catalina 37T



Fuente: Elaboración propia

Parámetros	Resultados
Preferencia física	Mecánica
Transición	Rápida
Diagonal del cuadro delimitador	247.97 mm
Alisado	Medio

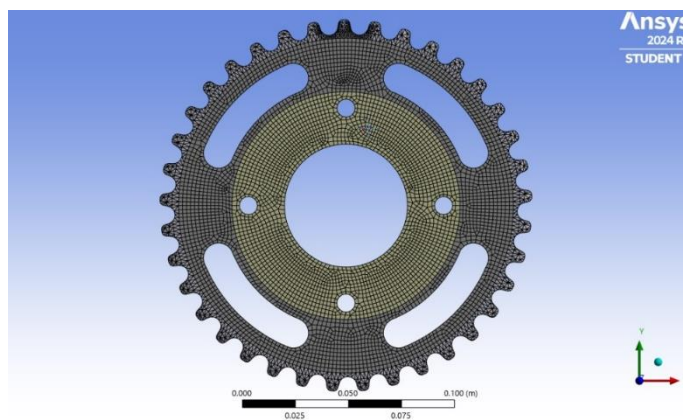
Tabla 32: Datos de mallado  
catalina 42T - 1/2"

Número de nodos	87593
Número de elementos	32735

para la simulación de la

Fuente: Elaboración propia

Figura 153: Mallado en la catalina 42T

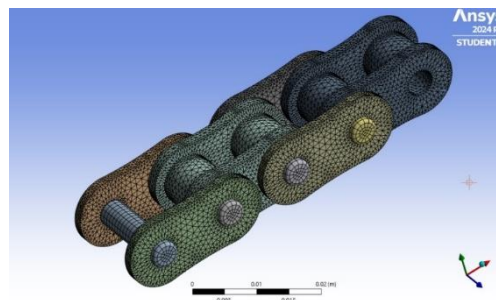


Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Datos de mallado para la simulación de la cadena 428H

Parámetros	Resultados
Preferencia física	Mecánica
Transición	Rápida
Diagonal del cuadro delimitador	66,251 mm
Alisado	Medio
Número de nodos	95020
Número de elementos	34886

Fuente: Elaboración propia  
 Tabla 34: Mallado de la cadena 428H

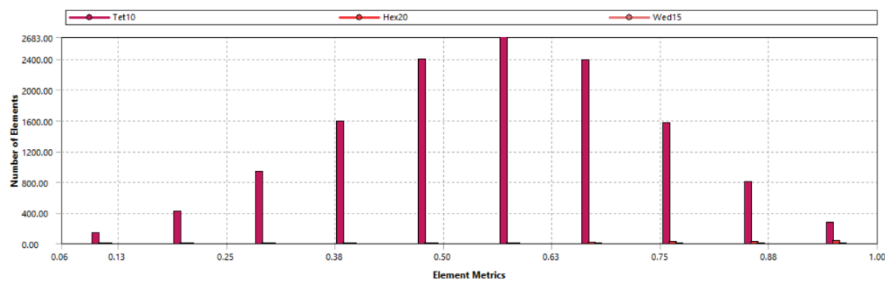


Fuente: Elaboración propia

**Datos de mallado para el análisis modal**

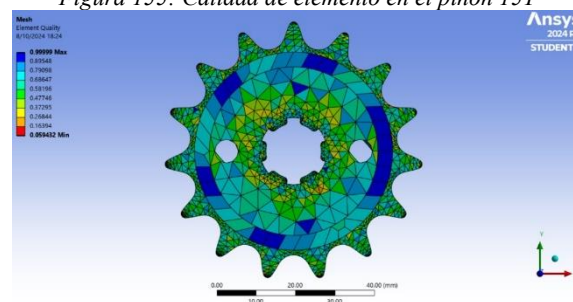
- Piñón 15T
- Element Quality

Figura 154: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elemento - Piñón 15T



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 155: Calidad de elemento en el piñón 15T

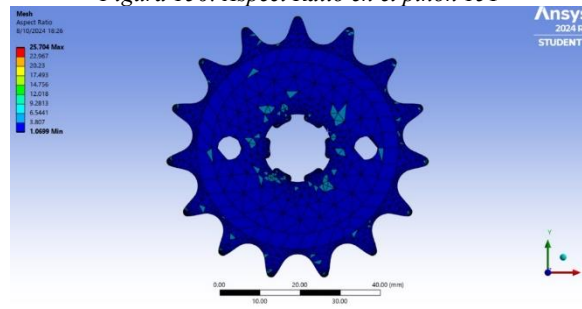


Fuente: ANSYS Workbench

La mayor parte de elementos de mala calidad se encuentran en los dientes del engranaje. Su porcentaje es pequeño en comparación a los elementos de calidad media.

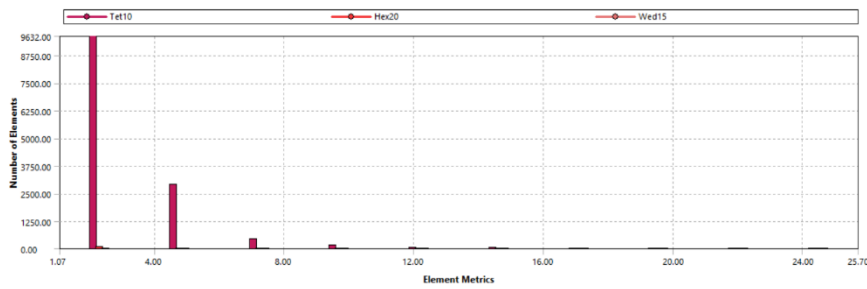
Aspect Ratio

Figura 156: Aspect Ratio en el piñón 15T



Fuente: ANSYS Workbench

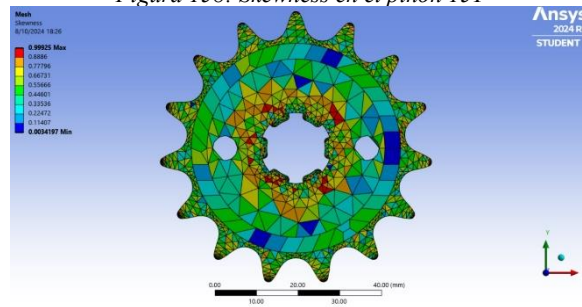
Figura 157: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect Ratio - Piñón 15T



Fuente: ANSYS Workbench

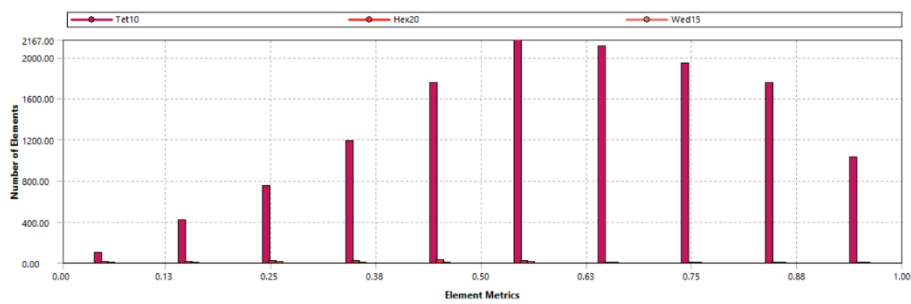
Skewness

Figura 158: Skewness en el piñón 15T



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 159: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness



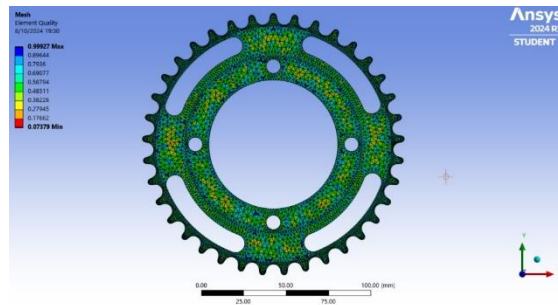
Fuente: ANSYS Workbench

Después de observar estos tres criterios, se puede determinar que la malla empleada es de una calidad media.

– Calidad de malla de Catalina 37T

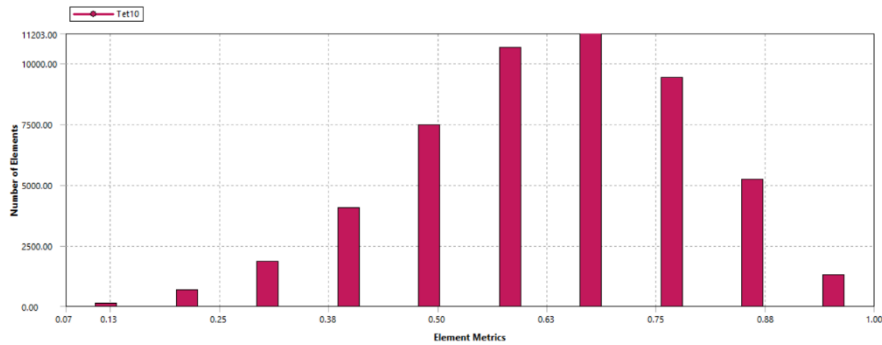
Element Quality

Figura 160: Calidad de elemento en la catalina 37T



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 161: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elemento - Catalina 37T



Fuente: ANSYS Workbench

La mayor parte de elementos de mala calidad se encuentran en los dientes del engranaje. Su porcentaje es pequeño en comparación a los elementos de calidad media.

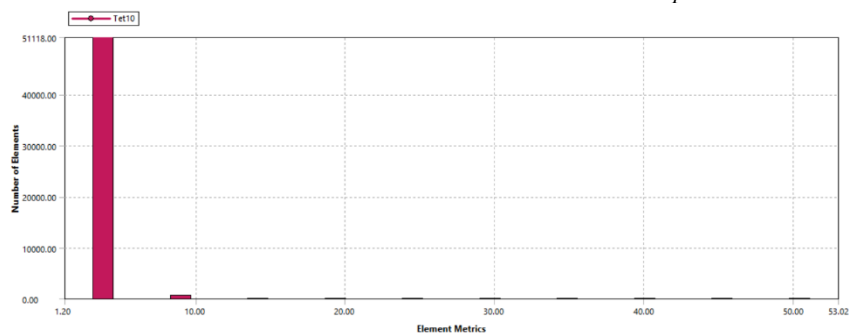
### Aspect Ratio

Figura 162: Aspect Ratio en la catalina 37T



Fuente: ANSYS Workbench

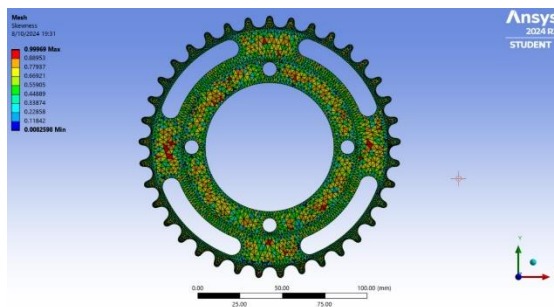
Figura 163: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect ratio - Catalina 37T



Fuente: ANSYS Workbench

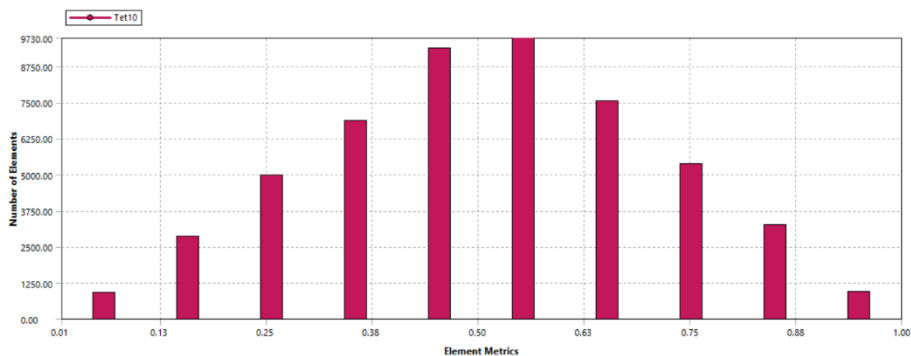
### Skewness

Figura 164: Skewness en la catalina 37T



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 165: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness - Catalina 37T



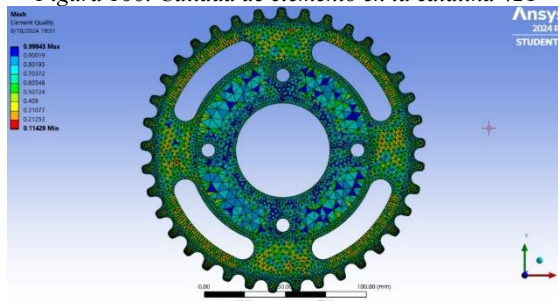
Fuente: ANSYS Workbench

Después de observar estos tres criterios, se puede determinar que la malla empleada es de una calidad media.

– Calidad de malla de Catalina 42T

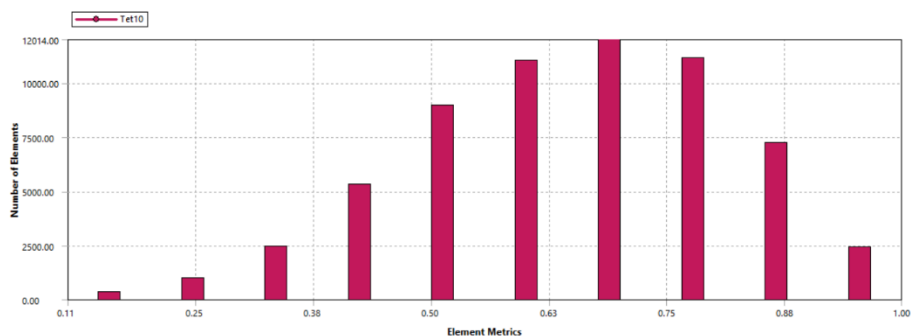
Element Quality

Figura 166: Calidad de elemento en la catalina 42T



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 167: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elementos - Catalina 42T

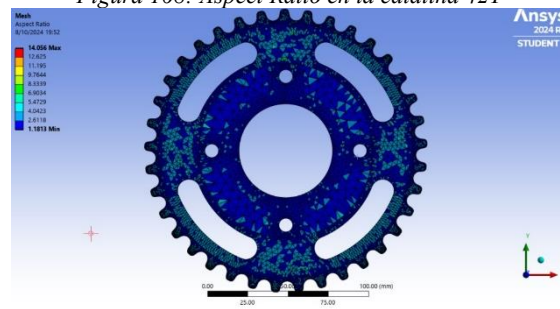


Fuente: ANSYS Workbench

La mayor parte de elementos de mala calidad se encuentran en los dientes del engranaje. Su porcentaje es pequeño en comparación a los elementos de calidad media.

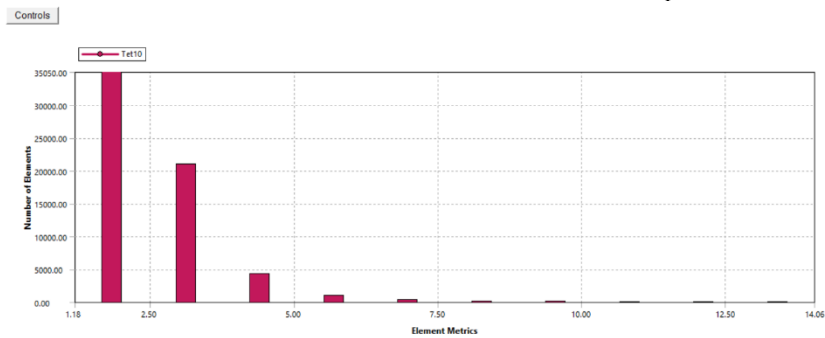
Aspect Ratio

Figura 168: Aspect Ratio en la catalina 42T



Fuente: ANSYS Workbench

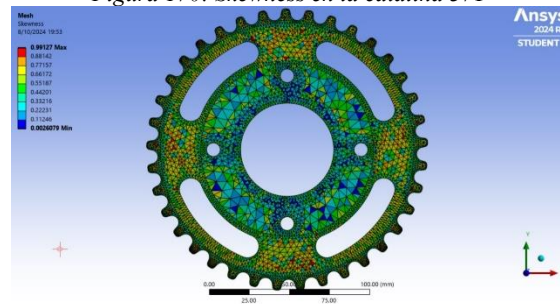
Figura 169: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect Ratio - Catalina 42T



Fuente: ANSYS Workbench

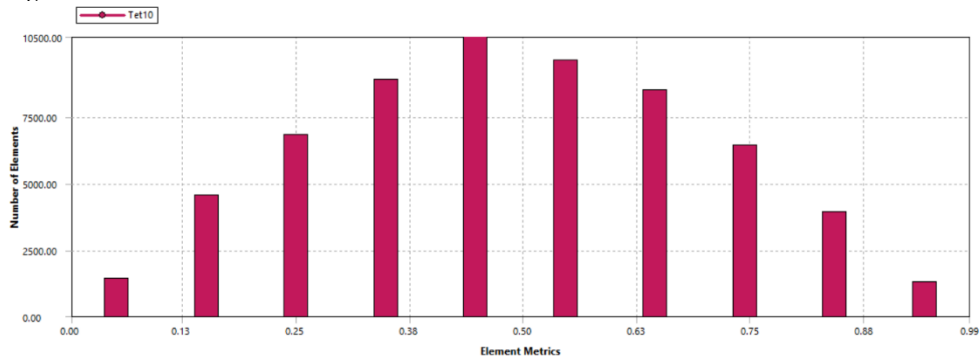
Skewness

Figura 170: Skewness en la catalina 37T



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 171: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness - Catalina 42T



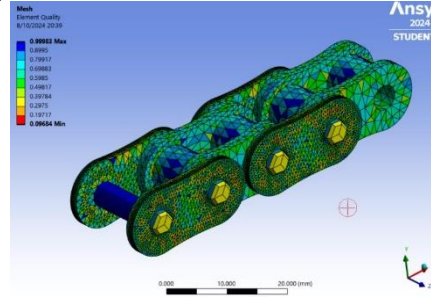
Fuente: ANSYS Workbench

Después de observar estos tres criterios, se puede determinar que la malla empleada es de una calidad media.

– Calidad de malla de la cadena 428H

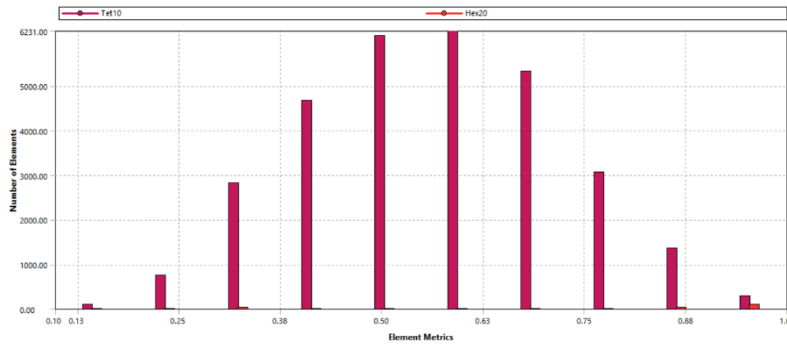
Element Quality

Figura 172: Calidad de elemento en la cadena 428H



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 173: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Calidad de elemento - Cadena 428H

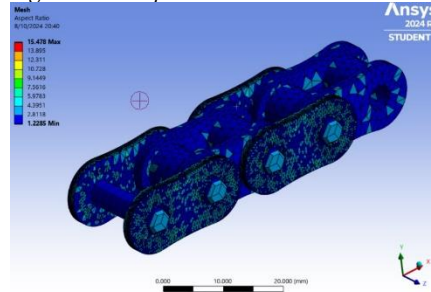


Fuente: ANSYS Workbench

La mayor parte de elementos de mala calidad se encuentran en los dientes del engranaje. Su porcentaje es pequeño en comparación a los elementos de calidad media.

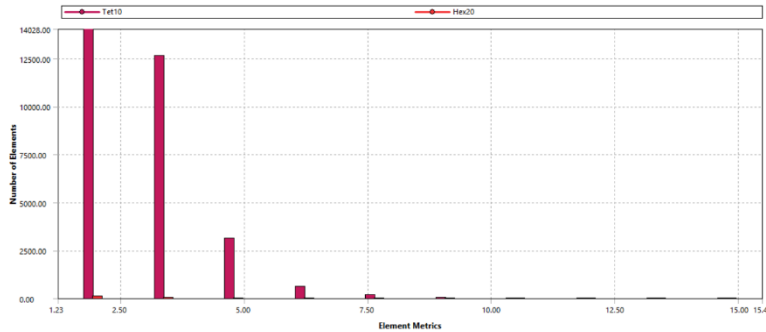
Aspect Ratio

Figura 174: Aspect Ratio en la cadena 428H



Fuente: ANSYS Workbench

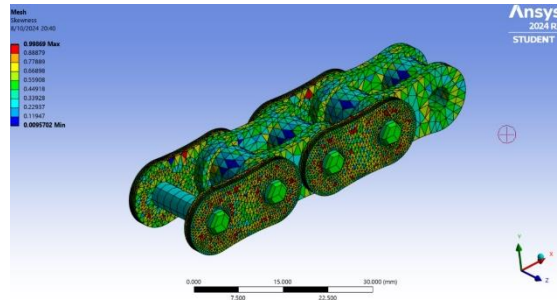
Figura 175: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Aspect Ratio - Cadena 428H



Fuente: ANSYS Workbench

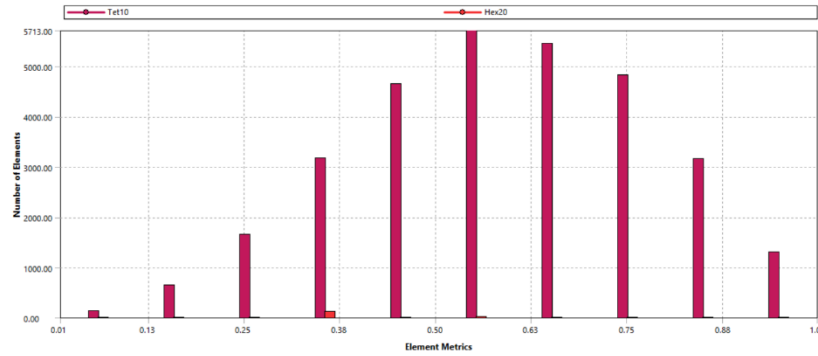
Skewness

Figura 176: Skewness en la cadena 428H



Fuente: ANSYS Workbench

Figura 177: Número de elementos vs métricas de elementos con el criterio Skewness - Cadena 428H



Fuente: ANSYS Workbench

Después de observar estos tres criterios, se puede determinar que la malla empleada es de una calidad media.

Tabla 35: Mallado para el análisis modal del piñón 15T

Parámetros	Resultados
Preferencia física	Mecánica
Transición	Rápida
Diagonal del cuadro delimitador	93,196 mm
Alisado	Medio
Número de nodos	28413
Número de elementos	13251

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36: Mallado para el análisis modal de la catalina 37T

Parámetros	Resultados
Preferencia física	Mecánica
Transición	Rápida
Diagonal del cuadro delimitador	218,46 mm
Alisado	Medio

Número de nodos	107662
Número de elementos	51685

---

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 37: Mallado para el análisis modal de la catalina 42T*

Parámetros	Resultados
Preferencia física	Mecánica
Transición	Rápida
Diagonal del cuadro delimitador	247,97 mm
Alisado	Medio
Número de nodos	122591
Número de elementos	61883

---

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 38: Datos de mallado para el análisis modal de la cadena 428H*

Parámetros	Resultados
Preferencia física	Mecánica
Transición	Rápida
Diagonal del cuadro delimitador	66,251 mm
Alisado	Medio
Número de nodos	62308
Número de elementos	30837

---

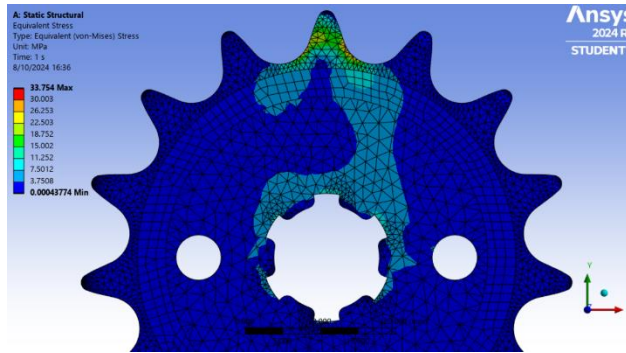
*Fuente: Elaboración propia*

## Simulaciones de los engranajes

### Piñón 15T – 1/2" AISI 1045 – Masa 0,13511 kg

- Estático estructural
- Esfuerzo (Pa)

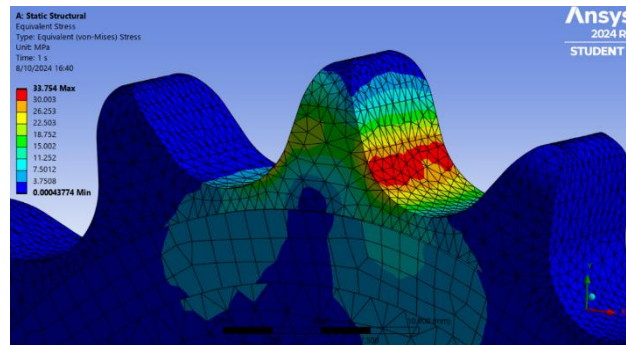
Figura 178 : Esfuerzos (Pa) en el piñón 15T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

En la figura 178, se observan los diferentes esfuerzos, en pascuales, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 437,74 Pa y un valor máximo de 33,754 MPa, este esfuerzo se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 179. Por último, se tiene un esfuerzo promedio de 2,04 MPa.

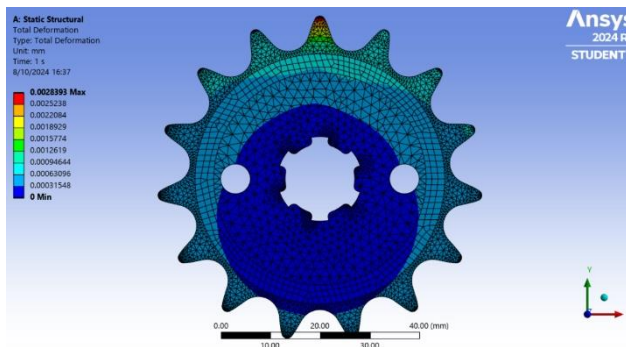
Figura 179: Máximos esfuerzos en el diente del piñón 15T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

- Desplazamientos (mm)

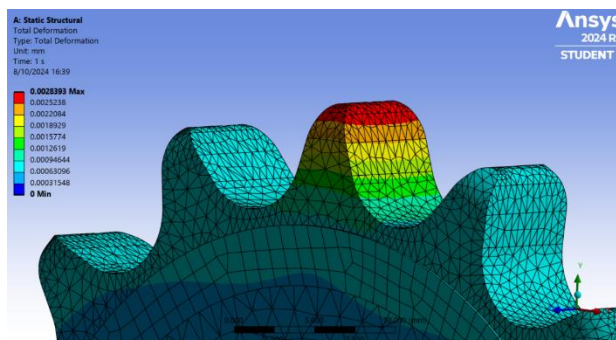
Figura 180: Desplazamientos (m) en el piñón 15T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

En la figura 180, se observan los diferentes desplazamientos que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 0 mm y un valor máximo de 0,0028393 mm, este desplazamiento se presenta en la cresta del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 181. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de 0,00039026 mm.

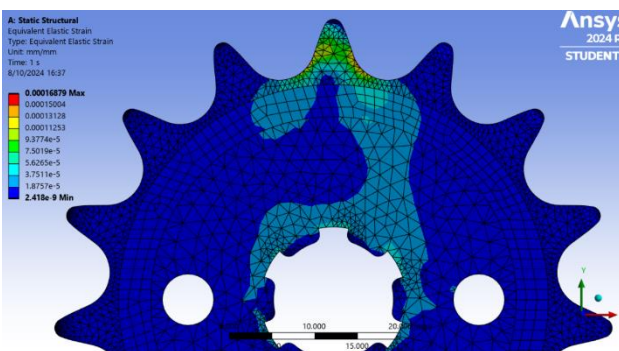
Figura 181: Desplazamientos máximos en el diente del piñón – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

- Deformación unitaria (mm/mm)

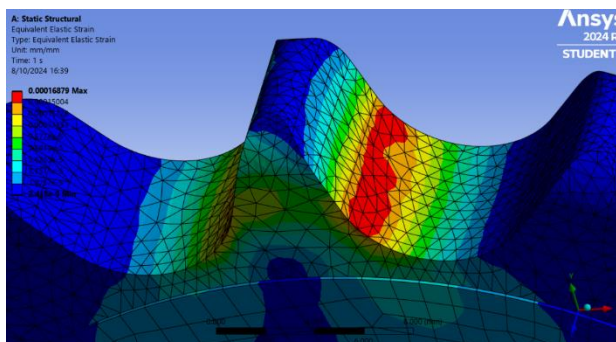
Figura 182: Deformaciones unitarias en el piñón 15T 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

En la figura 182, se observan las diferentes deformaciones, unidad adimensional, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 2,418e-009 mm/mm y un valor máximo de 1,6879e-004 mm/mm, esta deformación se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 183. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de 1,0455e-005 mm/mm.

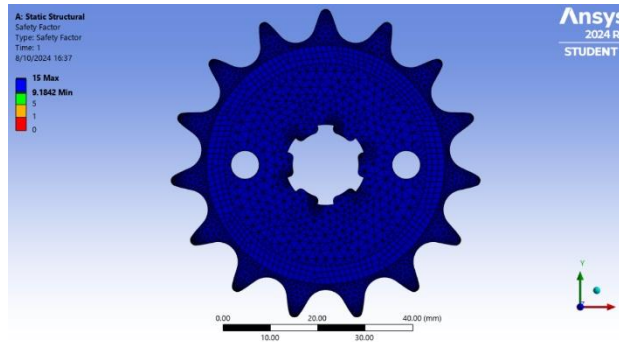
Figura 183: Deformaciones unitarias máximas en el piñón – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

- Factor de seguridad

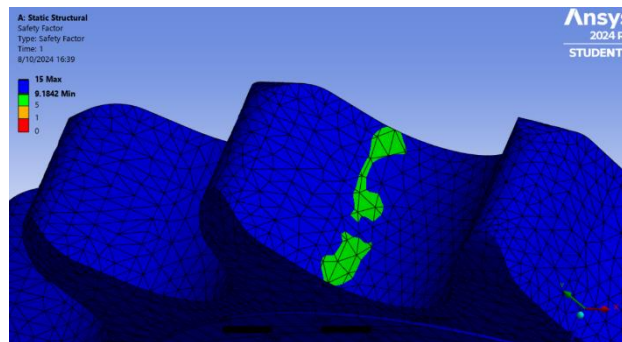
Figura 184: Factor de seguridad del piñón 15T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

En la figura 184, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con el material AISI 1045. Teniendo como valor mínimo 9,1842 y un valor máximo de 15, el valor mínimo se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de color verde como se muestra en la figura 185.

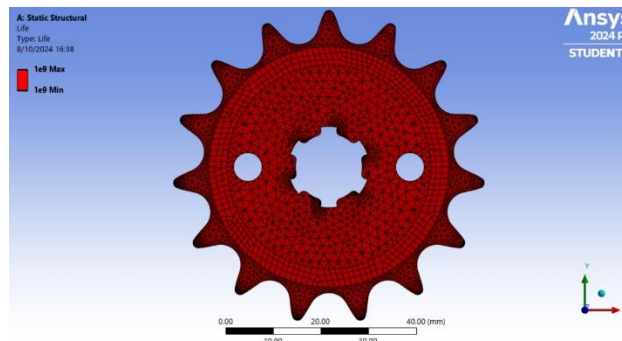
Figura 185: Factor de seguridad mínimo del piñón 15T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

- Fatiga
- Vida

Figura 186: Vida del piñón 15T - 1/2" – AISI 1045

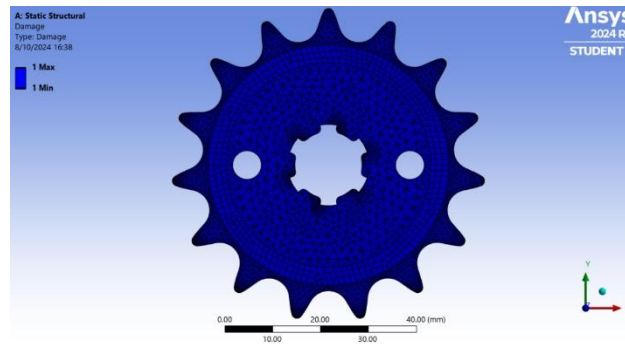


Fuente: Elaboración propia

En la figura 186, se observa la vida que posee la pieza con el material AISI 1045. Teniendo como valor mínimo y máximo  $1 \times 10^9$ , es decir que posee vida infinita.

- Daño

Figura 187: Daño del piñón 15T - 1/2" – AISI 1045

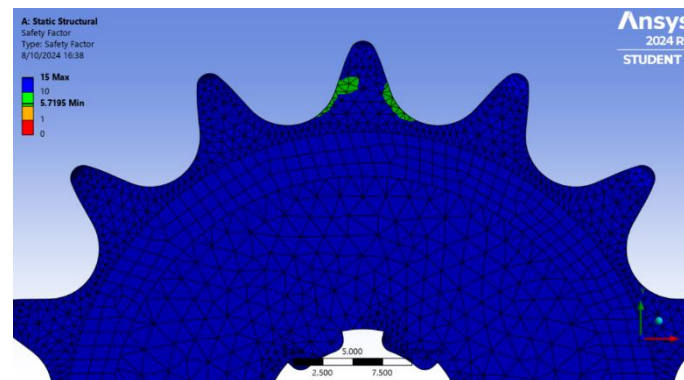


Fuente: Elaboración propia

En la figura 187, se observa el daño que posee la pieza con el material AISI 1045. Teniendo como valor mínimo y máximo 1. Es decir que el daño será muy pequeño, esto queda comprobado por la vida del componente que es  $10^9$  ciclos.

- Factor de seguridad

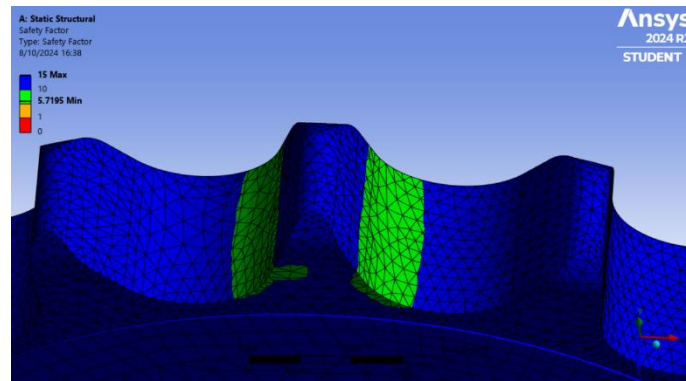
Figura 188: Factor de seguridad en fatiga del piñón 15T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

En la figura 188, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con el material AISI 1045 pero en fatiga. Teniendo como valor mínimo 5,7195 y un valor máximo de 15, el valor mínimo al ser mayor a uno indica que no tendrá una falla antes de que el componente alcance su vida útil. Este valor se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de color verde como se muestra en la figura 189.

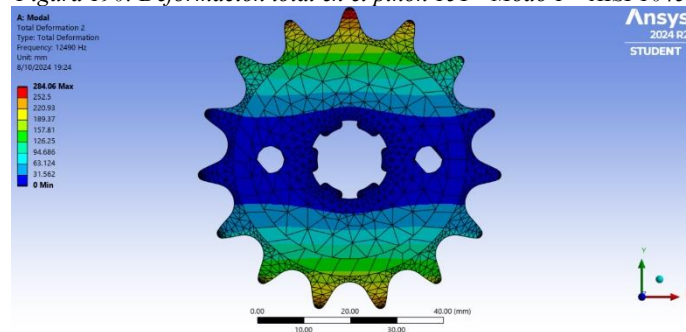
Figura 189: Factor de seguridad mínimo en fatiga del piñón 15T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

- Modal
- Deformación total

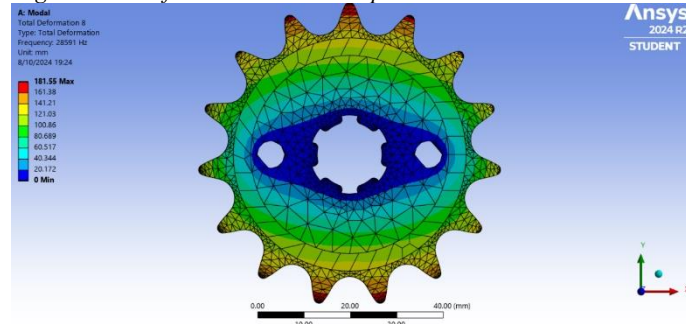
Figura 190: Deformación total en el piñón 15T - Modo 1 – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 1, tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 284,06 mm. Además, posee una frecuencia natural de 12490 Hz.

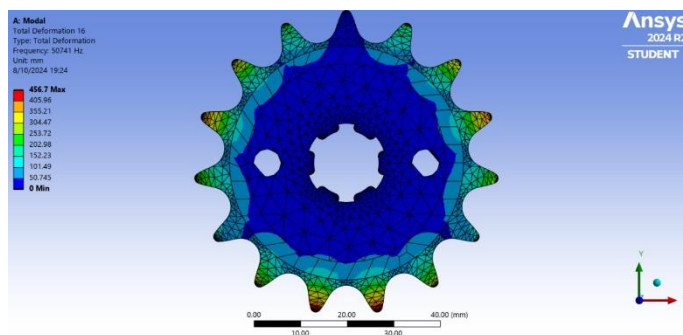
Figura 191: Deformación total en el piñón 15T – Modo 7 – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta el piñón en el modo 7, tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 181,55 mm. Además, su frecuencia natural aumenta considerablemente hasta 28591 Hz.

Figura 192: Deformación total de en el piñón 15T - Modo 15 – AISI 1045



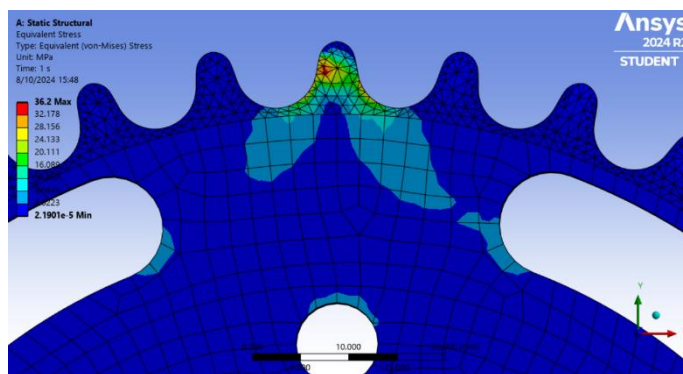
Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta el piñón en el modo 15, tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 456,7 mm. Además, su frecuencia natural sigue aumentando hasta 50741 Hz.

### Catalina 37T – 1/2" AISI 1045 – Masa 0,55104 kg

- Estático estructural
- Esfuerzo (Pa)

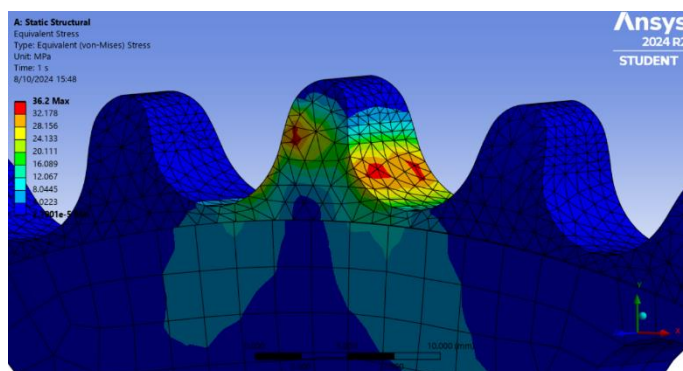
Figura 193 : Esfuerzos (Pa) en la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

En la figura 193, se observan los diferentes esfuerzos, en pascuales, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 21,901 Pa y un valor máximo de 36,2 MPa, este esfuerzo se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 194. Por último, se tiene un esfuerzo promedio de 0,56577 MPa.

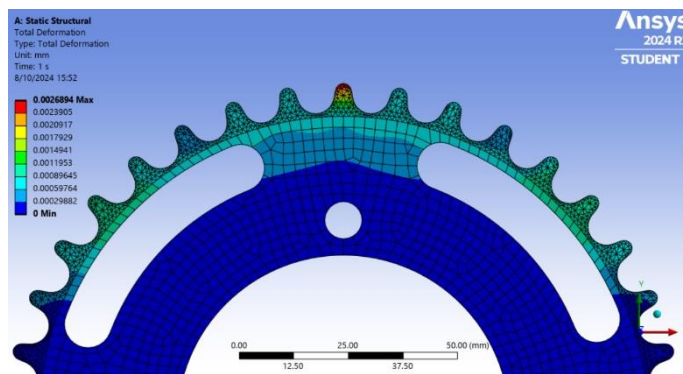
Figura 194: Máximos esfuerzos en el diente de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

- Desplazamientos (mm)

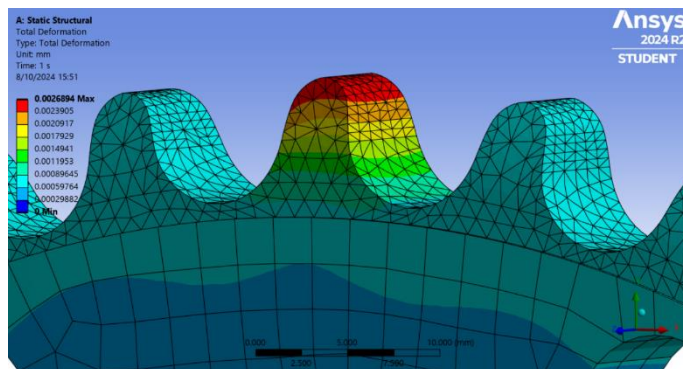
Figura 195: Desplazamientos (m) en la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

En la figura 195, se observan los diferentes desplazamientos que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 0 mm y un valor máximo de 0,0026894 mm, este desplazamiento se presenta en la cresta del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 196. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de 0,00026354 mm.

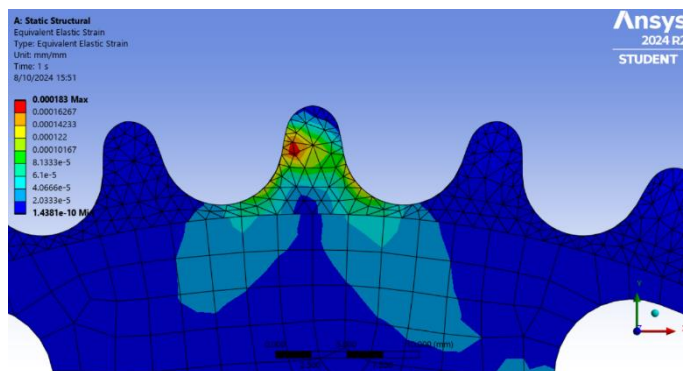
Figura 196: Desplazamientos máximos en el diente de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

- Deformación unitaria (mm/mm)

Figura 197: Deformaciones unitarias en la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045

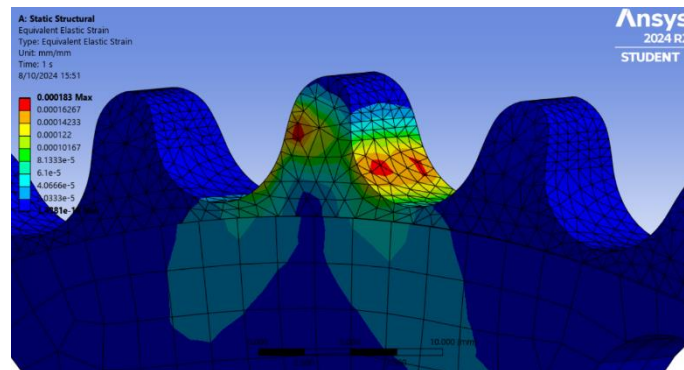


Fuente: Elaboración propia

En la figura 197, se observan las diferentes deformaciones, unidad adimensional, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo  $1,4381e-010$  mm/mm y un valor máximo de  $1,83e-004$  mm/mm, esta deformación se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de

color rojo como se muestra en la figura 198. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de  $2,9431e-006$  mm/mm.

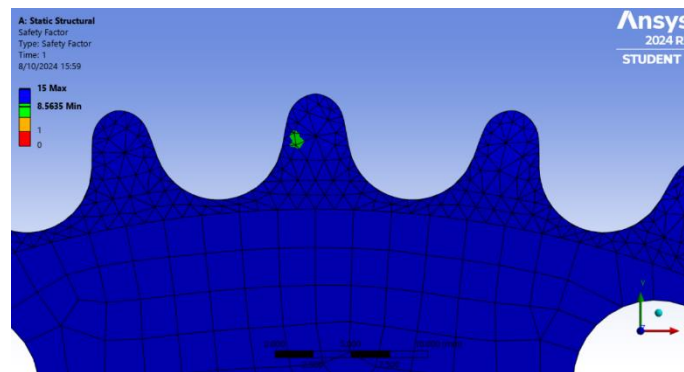
Figura 198: Deformaciones unitarias máximas en la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

- Factor de seguridad

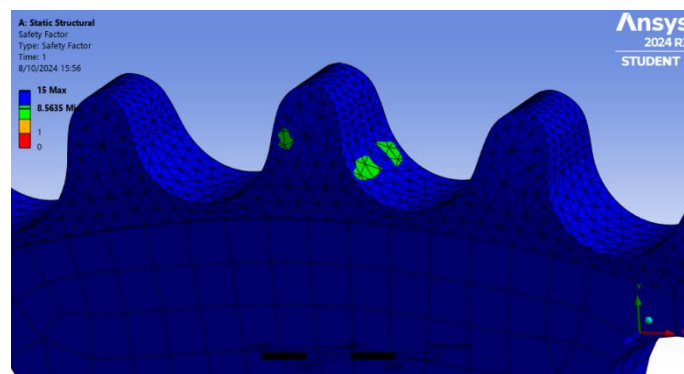
Figura 199: Factor de seguridad de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

En la figura 199, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con el material AISI 1045. Teniendo como valor mínimo 8,5635 y un valor máximo de 15, el valor mínimo se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de color verde como se muestra en la figura 200.

Figura 200: Factor de seguridad mínimo en fatiga de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045

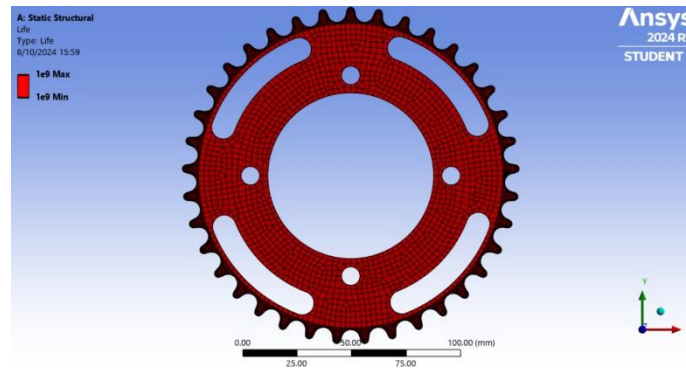


Fuente: Elaboración propia

- Fatiga

- Vida

Figura 201: Vida de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045

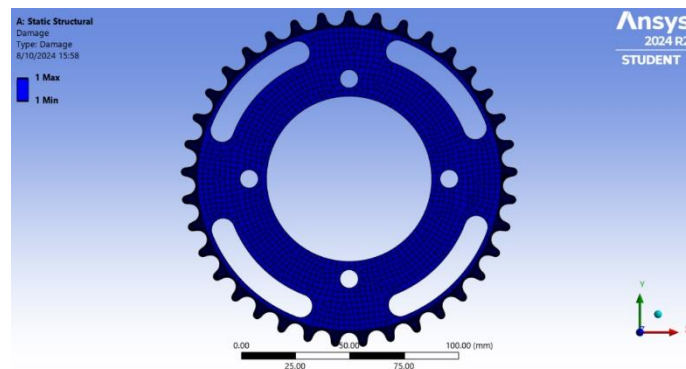


Fuente: Elaboración propia

En la figura 201, se observa la vida que posee la pieza con el material AISI 1045. Teniendo como valor mínimo y máximo  $1 \times 10^9$ , es decir que posee vida infinita.

- Daño

Figura 202: Daño de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045

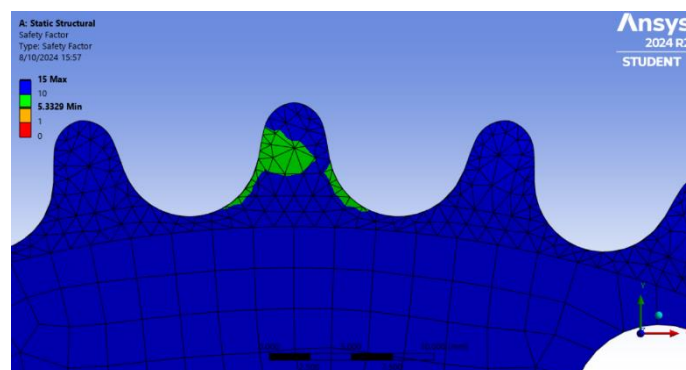


Fuente: Elaboración propia

En la figura 202, se observa el daño que posee la pieza con el material AISI 1045. Teniendo como valor mínimo y máximo 1. Es decir que el daño será muy pequeño, esto queda comprobado por la vida del componente que es  $10^9$  ciclos.

- Factor de seguridad

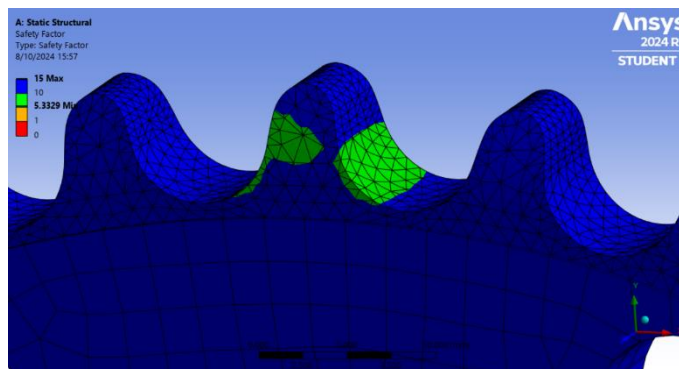
Figura 203: Factor de seguridad en fatiga de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

En la figura 203, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con el material AISI 1045 pero en fatiga. Teniendo como valor mínimo 5,3329 y un valor máximo de 15, el valor mínimo al ser mayor a uno indica que no tendrá una falla antes de que el componen alcance su vida útil. Este valor se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de color verde como se muestra en la figura 204.

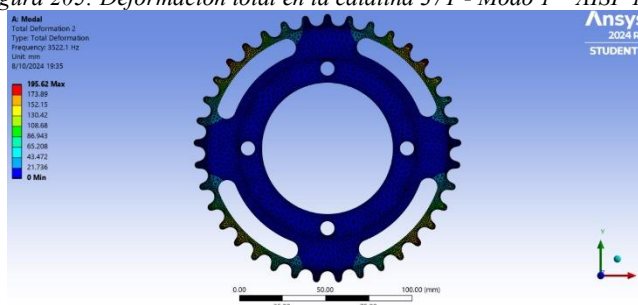
Figura 204: Mínimo factor de seguridad en fatiga de la catalina 37T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

- Modal
- Deformación total

Figura 205: Deformación total en la catalina 37T - Modo 1 – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 1, tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 195,62 mm. Además, posee una frecuencia natural de 3522,1 Hz.

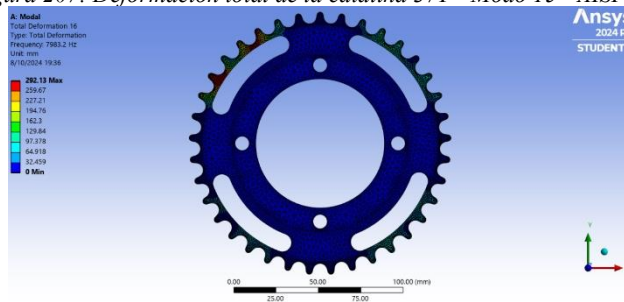
Figura 206: Deformación total en la catalina 37T - Modo 7 – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 7, tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 286,08mm. Además, su frecuencia natural aumenta considerablemente hasta 6796,2 Hz.

Figura 207: Deformación total de la catalina 37T - Modo 15 - AISI 1045



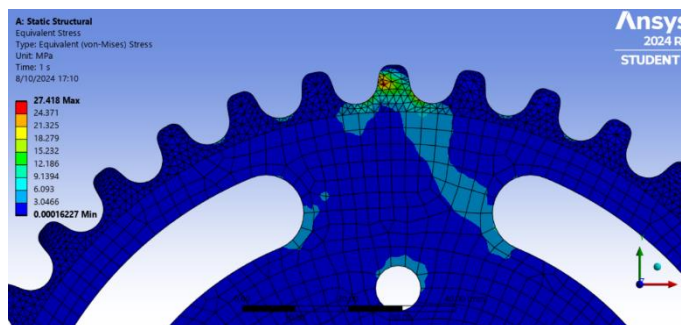
Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 15, tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 292,13mm. Además, su frecuencia natural sigue aumentando hasta 7983,2 Hz.

### Catalina 42T – 1/2" AISI 1045 – Masa 0,91044 kg

- Estático estructural
- Esfuerzo (MPa)

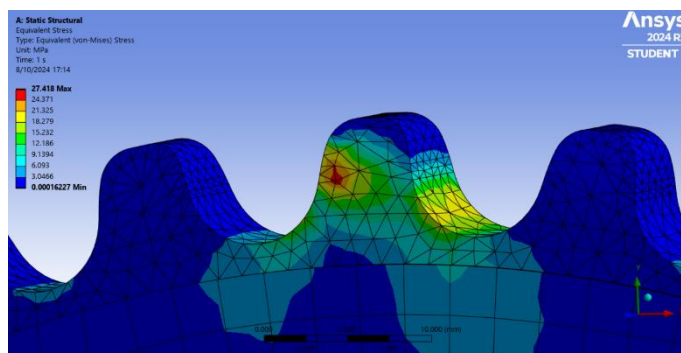
Figura 208 : Esfuerzos (Pa) en la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

En la figura 208, se observan los diferentes esfuerzos, en pascuales, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 0,00016227 MPa y un valor máximo de 27,418 MPa, este esfuerzo se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 209. Por último, se tiene un esfuerzo promedio de 0,54664 MPa.

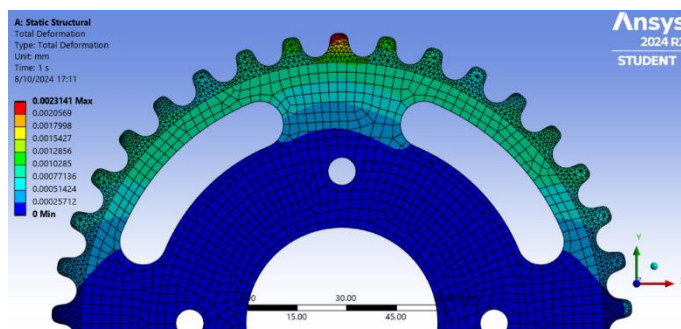
Figura 209: Máximos esfuerzos en el diente de la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

- Desplazamientos (mm)

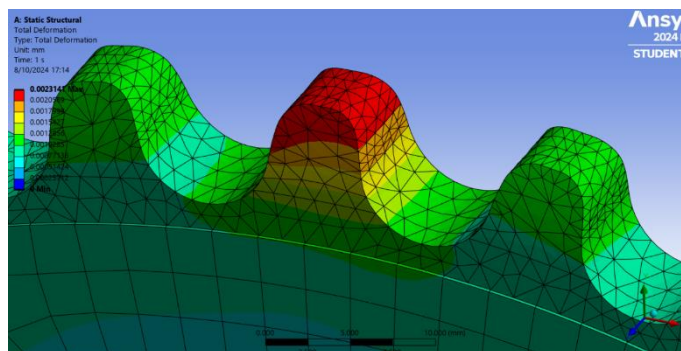
Figura 210: Desplazamientos (m) en la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

En la figura 210, se observan los diferentes desplazamientos que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 0 mm y un valor máximo de 0,0023141 mm, este desplazamiento se presenta en la cresta del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 211. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de 0,00034966 mm.

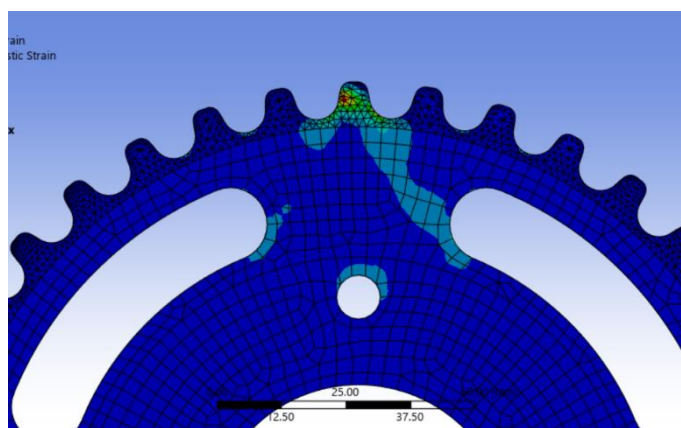
Figura 211: Desplazamientos máximos en el diente de la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

- Deformación unitaria (mm/mm)

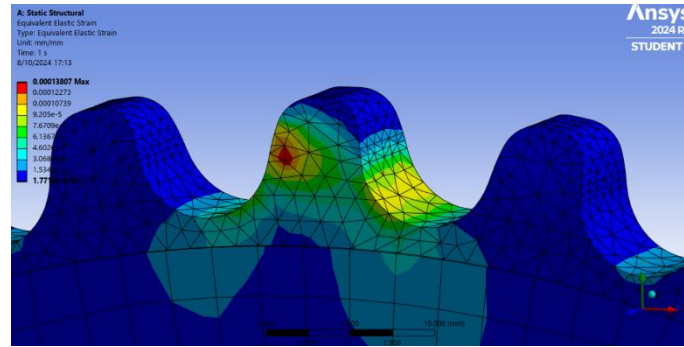
Figura 212: Deformaciones unitarias en la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

En la figura 212, se observan las diferentes deformaciones, unidad adimensional, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo  $1,7718e-009$  mm/mm y un valor máximo de  $1,3807e-004$  mm/mm, esta deformación se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de color rojo como se muestra en la figura 213. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de  $2,8281e-006$  mm/mm.

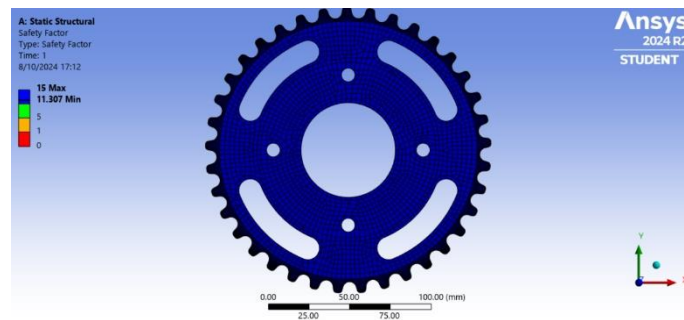
Figura 213: Deformaciones unitarias máximas en la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

- Factor de seguridad

Figura 214: Factor de seguridad de la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045

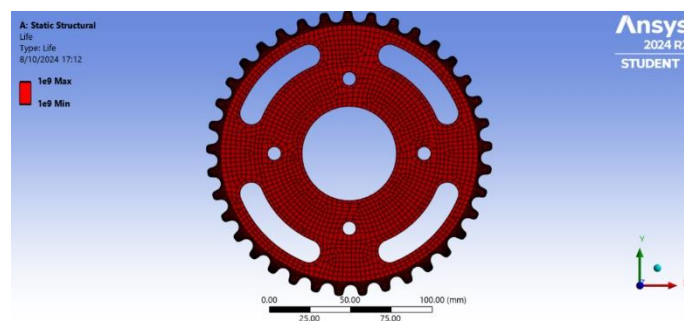


Fuente: Elaboración propia

En la figura 214, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con el material AISI 1045. Teniendo como valor mínimo 11,307 y un valor máximo de 15.

- Fatiga
- Vida

Figura 215: Vida de la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045

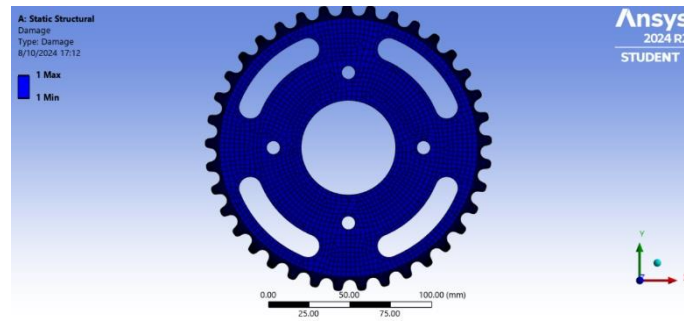


Fuente: Elaboración propia

En la figura 215, se observa la vida que posee la pieza con el material AISI 1045. Teniendo como valor mínimo y máximo  $1 \times 10^9$ , es decir que posee vida infinita.

- Daño

Figura 216: Daño de la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045

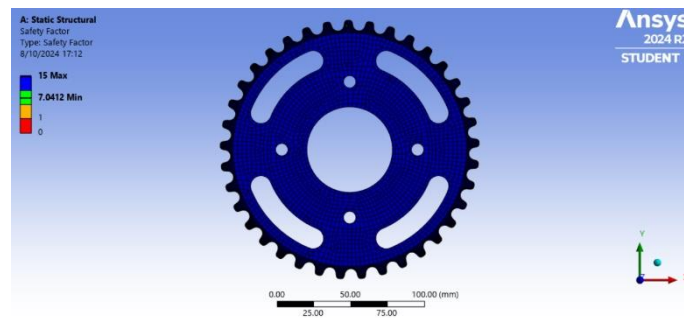


Fuente: Elaboración propia

En la figura 216, se observa el daño que posee la pieza con el material AISI 1045. Teniendo como valor mínimo y máximo 1. Es decir que el daño será muy pequeño, esto queda comprobado por la vida del componente que es  $10^9$  ciclos.

- Factor de seguridad

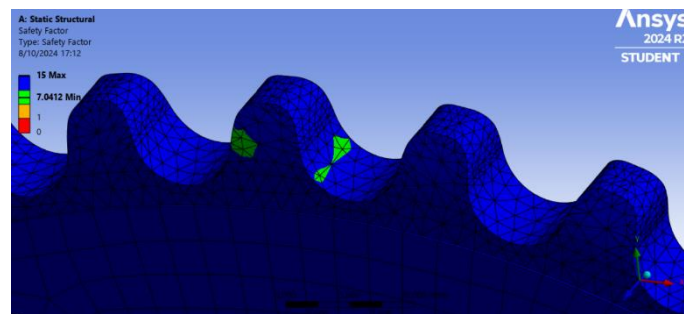
Figura 217: Factor de seguridad en fatiga de la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

En la figura 217, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con el material AISI 1045 pero en fatiga. Teniendo como valor mínimo 7,0412 y un valor máximo de 15, el valor mínimo al ser mayor a uno indica que no tendrá una falla antes de que el componen alcance su vida útil. Este valor se presenta en el entalle del diente del engrane, representado de color verde como se muestra en la figura 218.

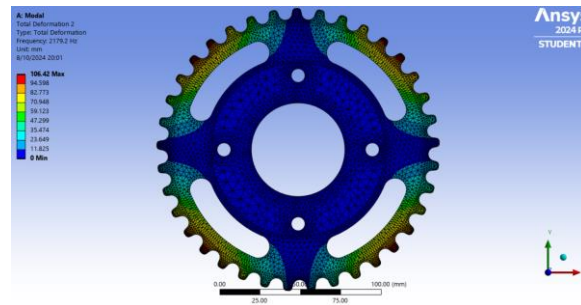
Figura 218: Mínimo factor de seguridad en fatiga de la catalina 42T - 1/2" – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

- Modal
- Deformación total

Figura 219: Deformación total en la catalina 42T - Modo 1 – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 1, tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 106,42 mm. Además, posee una frecuencia natural de 2179,2 Hz.

Figura 220: Deformación total en la catalina 42T - Modo 7 – AISI 1045



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 7, tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 120,55 mm. Además, su frecuencia natural aumenta considerablemente hasta 3984,1 Hz.

Figura 221: Deformación total de la catalina 42T - Modo 15 – AISI 1045



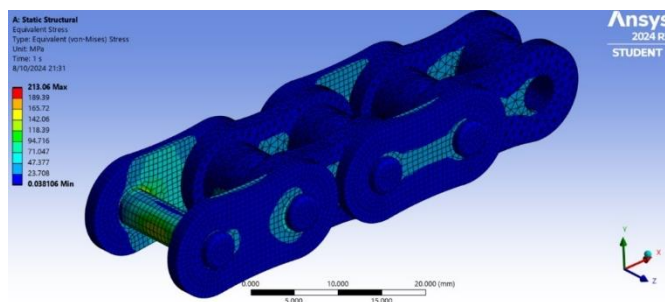
Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 15, tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 110,94 mm. Además, su frecuencia natural sigue aumentando hasta 8104 Hz.

### Cadena 428H – 1/2" AISI 304 – Masa 4,4974e-002 kg (4 eslabones)

- Estático estructural
- Esfuerzo (Pa)

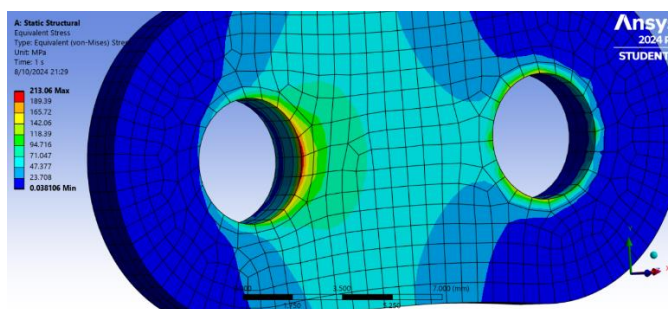
Figura 222 : Esfuerzos (Pa) en la cadena 428H – AISI 304



Fuente: Elaboración propia

En la figura 222, se observan los diferentes esfuerzos, en pascales, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 0.038106 MPa y un valor máximo de 213,06 MPa, este esfuerzo se presenta en el plato externo de la cadena, muy cerca del agujero donde va el pin, representado de color rojo como se muestra en la figura 223. Por último, se tiene un esfuerzo promedio de 17,475 MPa.

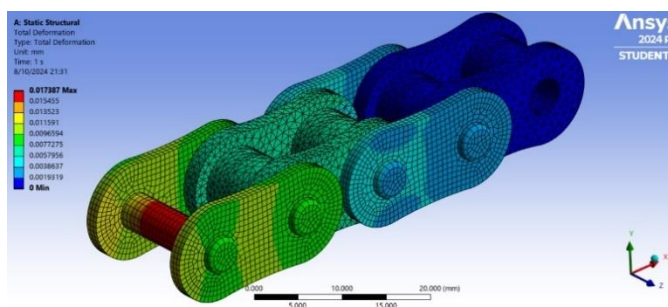
Figura 223: Máximos esfuerzos en la cadena 428H – AISI 304



Fuente: Elaboración propia

- Desplazamientos (mm)

Figura 224: Desplazamientos (mm) en la cadena 428H – AISI 304

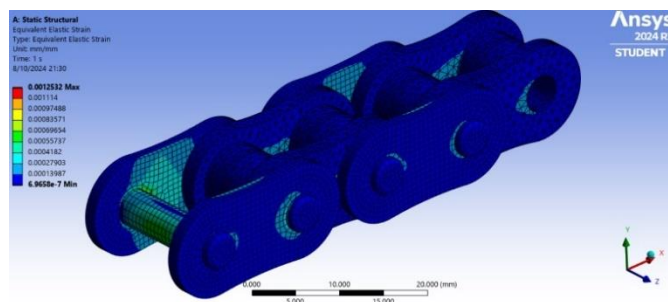


Fuente: Elaboración propia

En la figura 224, se observan los diferentes desplazamientos, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo 0 m y un valor máximo de 0,017387 mm, este desplazamiento se presenta en el pasador, representado de color rojo. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de 5,21E-03 mm.

- Deformación unitaria (m/m)

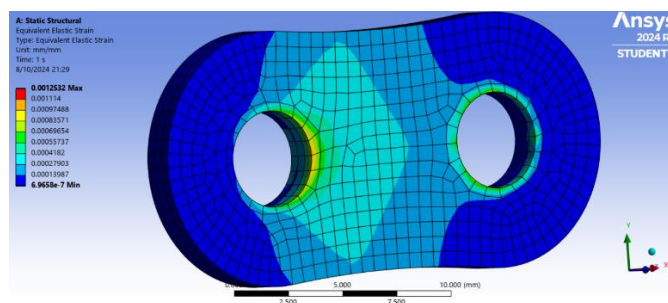
Figura 225: Deformaciones unitarias en la cadena 428H – AISI 304



Fuente: Elaboración propia

En la figura 225, se observan las diferentes deformaciones, unidad adimensional, que soporta la pieza. Teniendo como valor mínimo  $6,9658e-007$  mm/mm y un valor máximo de  $0,0012532$  mm/mm, esta deformación se presenta en el plato externo de la cadena, muy cerca del agujero donde va el pin, representado de color rojo como se muestra en la figura 226. Por último, se tiene un desplazamiento promedio de  $9,03E-05$  mm/mm.

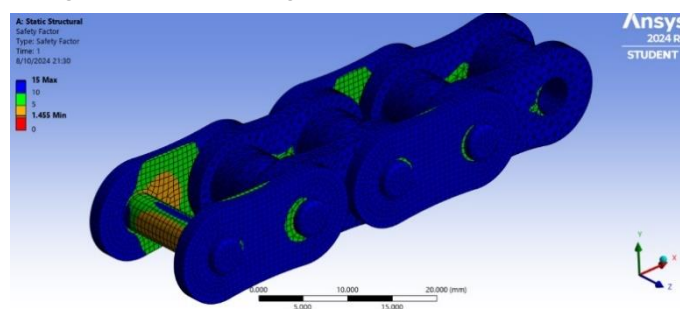
Figura 226: Deformaciones unitarias máximas en la cadena 428H – AISI 304



Fuente: Elaboración propia

- Factor de seguridad

Figura 227: Factor de seguridad de la cadena 428H – AISI 304

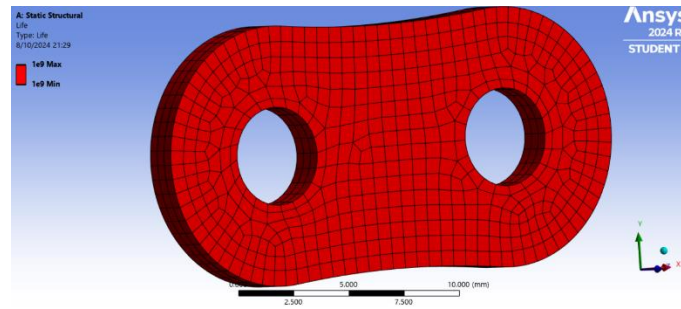


Fuente: Elaboración propia

En la figura 227, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con el material AISI 304. Teniendo como valor mínimo 1,455 y un valor máximo de 15, el valor mínimo se presenta en las zonas donde los eslabones se enlazan, representado de color rojo.

- Fatiga
- Vida

Figura 228: Vida de la cadena 428H – AISI 304

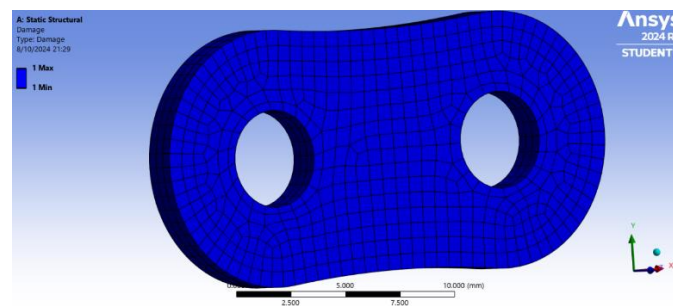


Fuente: Elaboración propia

En la figura 228, se observa la vida que posee la pieza con el material AISI 1045. Teniendo como valor mínimo y máximo  $1 \times 10^9$  ciclos, es decir que posee vida infinita.

- Daño

Figura 229: Daño de la cadena 428H – AISI 304

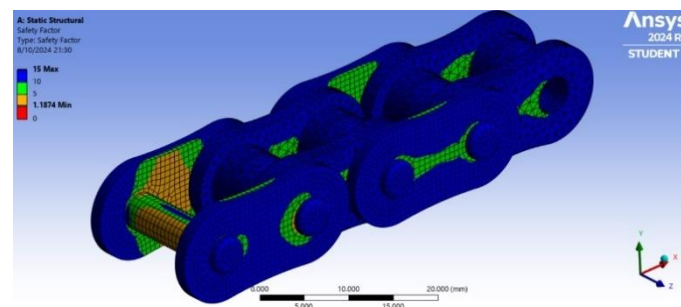


Fuente: Elaboración propia

En la figura 229, se observa el daño que posee la pieza con el material AISI 304. Teniendo como valor mínimo y máximo 1. Es decir que el daño es bajo, pues el valor máximo está alejado de cero, esto indica que la pieza no empezará a degenerarse por esa zona. Por ende, se confirma que la pieza superará su vida útil.

- Factor de seguridad

Figura 230: Factor de seguridad en fatiga de la cadena 428H – AISI 304

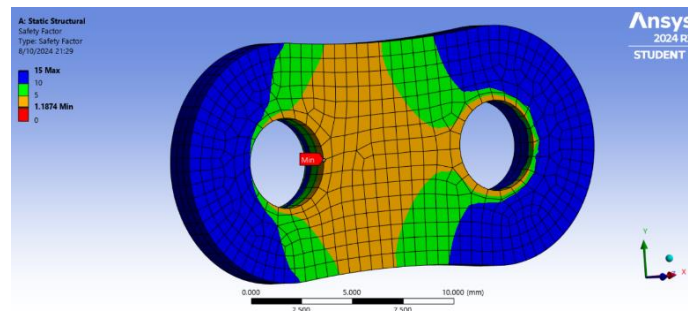


Fuente: Elaboración propia

En la figura 230, se observa el factor de seguridad que posee la pieza con el material AISI 304 pero en fatiga. Teniendo como valor mínimo 1,1874 y un valor máximo de 15, el valor mínimo al ser mayor que uno indica que no fallará antes de que el componente alcance su vida

útil de  $10^9$  ciclos. Este valor se presenta en el plato externo de la cadena, muy cerca del agujero donde va el pin, representado de color rojo como se muestra en la figura 231.

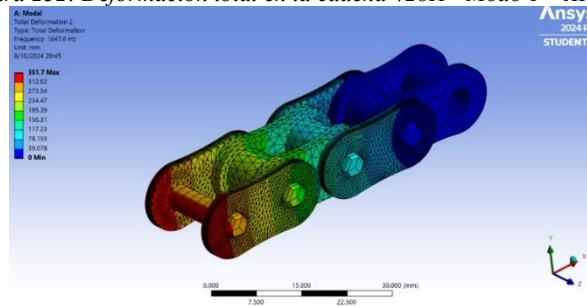
Figura 231: Factor de seguridad mínimo en fatiga de la cadena 428H – AISI 304



Fuente: Elaboración propia

- Modal
- Deformación total

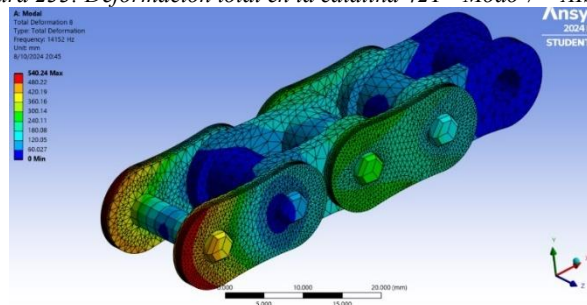
Figura 232: Deformación total en la cadena 428H - Modo 1 – AISI 304



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 1, tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 351,7 mm. Además, posee una frecuencia natural de 1647,6 Hz.

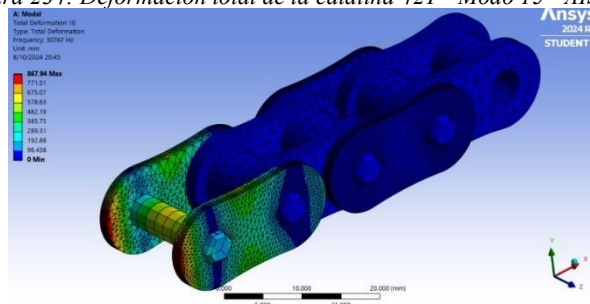
Figura 233: Deformación total en la catalina 42T - Modo 7 – AISI 304



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 7, tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 540,24 mm. Además, su frecuencia natural aumenta considerablemente hasta 14152 Hz.

Figura 234: Deformación total de la catalina 42T - Modo 15 - AISI 304



Fuente: Elaboración propia

La deformación que presenta la catalina en el modo 15, tiene como valor mínimo 0 y valor máximo 867,94mm. Además, su frecuencia natural sigue aumentando hasta 30767 Hz.

### Modos y frecuencias naturales

Tabla 39: Modos y frecuencias de cada material - piñón 15T

AISI 1045		AISI M43 y Epoxy	
Modos	Frecuencia (Hz)	Modos	Frecuencia (Hz)
1	12490	1	14473
2	1.26E+04	2	14582
3	1.75E+04	3	19626
4	1.83E+04	4	20307
5	2.62E+04	5	28180
6	2.71E+04	6	29013
7	2.86E+04	7	32747
8	3.23E+04	8	35905
9	3.46E+04	9	36452
10	3.55E+04	10	36668
11	4.02E+04	11	40709
12	44033	12	44124
13	45747	13	45460
14	47297	14	49782
15	50741	15	50132

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40: Modos y frecuencias de cada material - Catalina 37T

AISI 1045		AISI M43 y Epoxy	
Modos	Frecuencia (Hz)	Modos	Frecuencia (Hz)
1	3522.1	1	3632.2

2	3.64E+03	2	3.76E+03
3	3.65E+03	3	3.76E+03
4	3.78E+03	4	3.90E+03
5	6.54E+03	5	7.14E+03
6	6.79E+03	6	7.44E+03
7	6.80E+03	7	7.44E+03
8	6.86E+03	8	7.63E+03
9	6.98E+03	9	7.65E+03
10	6.98E+03	10	7.66E+03
11	7.22E+03	11	7.69E+03
12	7227.9	12	7914.4
13	7751	13	8516.6
14	7863.2	14	8642.2
15	7983.2	15	8760.6

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 41: Modos y frecuencias de cada material – catalina 42T*

AISI 1045		AISI M43 y Epoxy	
Modos	Frecuencia (Hz)	Modos	Frecuencia (Hz)
1	2179.2	1	2508.4
2	2.35E+03	2	2.72E+03
3	2.35E+03	3	2.72E+03
4	2.50E+03	4	2.90E+03
5	3.69E+03	5	4.45E+03
6	3.98E+03	6	4.75E+03
7	3.98E+03	7	4.75E+03
8	4.99E+03	8	5.74E+03
9	5.16E+03	9	6.11E+03
10	6.87E+03	10	7.93E+03
11	6.87E+03	11	7.93E+03
12	7415.1	12	9227
13	7975.6	13	10049
14	7976	14	10049
15	8104	15	10220

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 42: Modos y frecuencias de cada material – cadena 428H*

AISI 304		AISI M43	
M	FR	M	FR
1	1647.6	1	1707.1
2	2.33E+03	2	2.42E+03
3	5.21E+03	3	5.39E+03
4	7.40E+03	4	7.72E+03
5	8.34E+03	5	8.64E+03
6	1.32E+04	6	1.37E+04
7	1.42E+04	7	1.46E+04
8	1.45E+04	8	1.51E+04
9	1.57E+04	9	1.64E+04
10	1.85E+04	10	1.91E+04
11	2.29E+04	11	2.37E+04
12	26484	12	27414
13	26659	13	27809
14	27984	14	29072
15	30767	15	32003

*Fuente: Elaboración propia*