

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

**MODALIDAD DE TESIS, PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

ESTUDIO DE SISTEMAS MECÁNICOS DEL TREN DE ATERRIZAJE DE
LA PLATAFORMA DE GRAN ALTITUD Y SU EFECTO EN LOS
ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA

AUTOR: Jessica Alexandra Quispe Arias

TUTOR: Ing. Gonzalo López, Mg.

AMBATO – ECUADOR

2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el tema:

“ESTUDIO DE SISTEMAS MECÁNICOS DEL TREN DE ATERRIZAJE DE LA PLATAFORMA DE GRAN ALTITUD Y SU EFECTO EN LOS ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA.”, desarrollado por la señorita Jessica Alexandra Quispe Arias egresada de la carrera de Ingeniería Mecánica, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos tanto técnicos como científicos y está acorde a lo establecido en el Reglamento de Graduación de Pregrado, modalidad Trabajo Estructurado de manera Independiente de la Universidad Técnica de Ambato y en el normativo para la presentación de proyectos de investigación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

Por lo tanto, autorizo la presentación del mismo para ser sometidos a la evaluación del Jurado Examinador designado por el H. Consejo Directivo.

Ambato, noviembre del 2014

Ing. Gonzalo López, Mg.

Tutor del proyecto

AUTORÍA DE LA TESIS

Yo, Jessica Alexandra Quispe Arias, portadora de la C.I.050326554-8 tengo a bien indicar que las ideas expuestas en el presente trabajo de investigación: “ESTUDIO DE SISTEMAS MECÁNICOS DEL TREN DE ATERRIZAJE DE LA PLATAFORMA DE GRAN ALTITUD Y SU EFECTO EN LOS ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA.”, así como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones y propuesta son de mi absoluta responsabilidad.

Ambato, noviembre del 2014

EL AUTOR

Jessica Alexandra Quispe Arias

C.I.050326554-8

DEDICATORIA

A Dios y a la Santísima Virgen del Cisne porque me han guiado por el camino del bien y han estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar mi diario vivir.

A mis padres, Narcisa y Miguel, en especial a mi madre quien a lo largo de mi vida ha velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi dedicación y capacidad.

A mi hermana Mireya quien con su esfuerzo y sacrificio lucho para verme cumplir mis sueños incondicionalmente, la quiero mucho.

A mi amor, Wladimir, que siempre estuvo a mi lado apoyándome incondicionalmente y me ha dado sanos consejos cuando lo he necesitado.

A mi tío Elgy que desde el cielo me da sus bendiciones en mi diario vivir.

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a todas las personas e instituciones que me apoyaron y contribuyeron para alcanzar una de mis metas en especial a:

A Dios por permitir seguir con vida para llegar hasta donde he llegado y por permitirme hacer realidad el sueño anhelado.

A los de la Universidad Técnica de Ambato por darme la oportunidad de estudiar y ser una profesional.

A mi tutor de tesis, Ing. Gonzalo López, Mg. por su esfuerzo y dedicación, quien con su conocimiento, experiencia, paciencia y motivación ha logrado que pueda terminar mis estudios con éxito.

A mis padres Miguel Quispe y Narcisa Arias en especial a mi madre por haberme dado la vida, siendo ella mi sustento de apoyo, ya que sin su confianza, esfuerzo y amor no habría podido llegar hasta esta instancia; de igual manera agradecerle por aconsejarme, guiarme y educarme por lo que hace expresar desde el fondo de mi corazón que le admiro infinitamente y no me alcanzará la vida para agradecerle el esfuerzo que ha hecho por mí.

A mi hermana Mireya por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me ha ayudado y llevado hasta donde estoy ahora.

Al amor de mi vida por cada uno de sus momentos valiosos que me dedico para cumplir uno de mis sueños anhelados.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	I
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	I
AUTORÍA DE LA TESIS	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
TERMINOLOGÍA UTILIZADA.....	XV
RESUMEN EJECUTIVO	XVI

CAPÍTULO I.....	1
------------------------	----------

EL PROBLEMA	1
--------------------------	----------

1.1 TEMA.....	1
---------------	---

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
--------------------------------------	---

1.2.1 Contextualización.....	1
------------------------------	---

1.2.2 Análisis crítico	3
------------------------------	---

1.2.3 Prognosis	5
-----------------------	---

1.2.4 Formulación del problema	6
--------------------------------------	---

1.2.5 Preguntas directrices	6
-----------------------------------	---

1.2.6 Delimitación.....	6
-------------------------	---

1.2.6.1 Delimitación temporal.....	6
------------------------------------	---

1.2.6.2 Delimitación espacial	6
-------------------------------------	---

1.2.6.3 Delimitación de contenido	7
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	7
1.4 OBJETIVOS.....	8
1.4.1 Objetivo general.....	8
1.4.2 Objetivos específicos	8
CAPÍTULO II	9
MARCO TEÓRICO	9
2.1 Antecedentes investigativos.....	9
2.1.1 Antecedentes	9
2.1.2 Fundamentación teórica	11
2.1.2.1 Diseño mecánico	11
2.1.2.2 Diseño en la Ingeniería Mecánica.....	11
2.1.2.3 Diseño de estructuras	11
2.1.2.4 Plataforma de gran altitud.....	12
2.1.2.5 Tren de aterrizaje.....	13
2.1.2.6 Tipos de trenes de aterrizaje.....	14
2.1.2.7 Sistema de amortiguación	17
2.1.2.8 Elementos de amortiguación.....	18
2.1.2.9 Los amortiguadores.....	20
2.1.2.10 Mecánica de sólidos	21
2.1.2.11 Factores de selección de un material.....	21
2.1.2.12 Materiales aeronáuticos.....	21
2.1.2.13 Esfuerzo y deformación	23
2.1.2.14 Esfuerzos	23

2.1.2.15 Deformación.....	23
2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA	24
2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL	24
2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....	25
2.5 HIPÓTESIS	25
2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	26
2.6.1 Variable Independiente	26
2.6.2 Variable Dependiente.....	26
2.6.3 Termino de relación	26
CAPÍTULO III.....	27
METODOLOGÍA	27
3.1 ENFOQUE	27
3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
3.2.1 Bibliográfica.....	27
3.2.2 De campo	28
3.2.3 Descriptiva	28
3.3 NIVEL O TIPOS DE INVESTIGACIÓN	28
3.3.1 Exploratoria.....	28
3.3.2 Descriptiva	28
3.3.3 Correlacional	29
3.3.4 Explicativa.....	29
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	29
3.4.1 Población.....	29
3.4.2 Muestra.....	29

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	30
3.6 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	32
3.7 PLAN DE PROCESAMIENTOS Y ANÁLISIS	32
3.7.1 Plan de procesamiento	32
3.7.2 Plan de análisis e interpretación de resultados.....	33
CAPÍTULO IV	34
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	34
4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	34
4.1.1 Entrevista al Mayor Paúl Armas jefe de departamento de producción.....	34
4.1.2 Encuesta	36
4.1.3 Guía de observación.....	37
4.1.4 Evaluación de diseños de trenes de aterrizaje.....	43
4.1.4.1 Análisis mediante software del tren actual 1 (Tren fijo de rodadura con articulación bicicleta).....	46
4.1.4.2 Análisis mediante software del tren 2 (Tren fijo de rodadura Biciclo).....	61
4.1.4.3 Análisis mediante software del tren 3 (Tren fijo de rodadura Biciclo hidráulico)	86
4.1.4.4 Análisis mediante software del tren 4 (Tren fijo de rodadura triciclo hidráulico)	91
4.1.5 Selección del mejor tren de aterrizaje mediante ponderación.....	151
4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	153
4.2.1 Interpretación de los resultados de la entrevista, encuesta y la guía de observaciones	153
4.2.2 Interpretación del los estudios realizados en el programa mediante elementos finitos	153
4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	154
CAPÍTULO V.....	155

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	155
5.1 CONCLUSIONES	155
5.2 RECOMENDACIONES	156
CAPÍTULO VI	158
PROPUESTA	158
6.1 DATOS INFORMATIVOS	158
6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA	159
6.3 JUSTIFICACIÓN.....	160
6.4 OBJETIVOS.....	160
6.4.1 Objetivo general	160
6.4.2 Objetivos específicos	160
6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	161
6.6 FUNDAMENTACIÓN	161
6.6.1 Diseño y selección de los elementos del tren.....	161
6.6.1.1 Material a utilizar	161
6.6.1.2 Dimensionamiento general del tren	162
6.6.1.3 Dimensionamiento del eje soporte amortiguador de la góndola.....	163
6.6.1.4 Dimensionamiento de la t.....	145
6.6.1.4 Dimensionamiento de la union.....	183
6.6.1.5 Dimensionamiento del soporte.....	191
6.7 METODOLOGÍA, MODELO OPERATIVO	197
6.7.1 Construcción del eje.....	197
6.7.2 Construcción de la t.....	198
6.7.3 Construcción de la unión.....	199

6.7.4 Construcción de los soportes.....	199
6.7.5 Ensamblaje del sistema de tren de aterrizaje.....	200
6.8 ADMINISTRACIÓN.....	202
6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.....	204
BIBLIOGRAFÍA.....	205

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Materiales para resortes.....	19
Tabla 3-1 Operacionalización variable independiente.....	30
Tabla 3-2 Operacionalización variable dependiente.....	31
Tabla 4-1 Guía de entrevista.....	34
Tabla 4-2 Guía de encuesta.....	36
Tabla 4-3 Guía de observación.....	42
Tabla 4-4 Peso de los equipos.....	44
Tabla 4-5 Material del tren actual.....	46
Tabla 4-6 Características técnicas del tren actual.....	47
Tabla 4-7 Parámetros para el análisis del tren actual.....	48
Tabla 4-8 Procedimiento para el análisis del tren actual.....	49
Tabla 4-9 Resultado del estudio realizado al tren actual.....	52
Tabla 4-10 Material a utilizar para el análisis del tren 2.....	61
Tabla 4-11 Características técnicas del tren 2.....	62
Tabla 4-12 Parámetros para el análisis del tren 2.....	63
Tabla 4-13 Procedimiento para el análisis del tren 2 (Material 2024-T4).....	64
Tabla 4-14 Resultado del estudio realizado al tren 2 (Material 2024-T4).....	67

Tabla 4-15 Procedimiento y resultado del estudio realizado al tren 2 (Material 6061-T6).....	75
Tabla 4-16 Características técnicas del tren 3.....	87
Tabla 4-17 Parámetros para el análisis del tren 3.	88
Tabla 4-18 Procedimiento para el análisis del tren 3 (Material 2024-T4).	88
Tabla 4-19 Resultado del estudio realizado al tren 3 (Material 2024-T4).	91
Tabla 4-20 Procedimiento y resultado del estudio realizado al tren 3 (Material 6061-T6).....	98
Tabla 4-21 Procedimiento para el análisis del tren 4 (Material 2024-T4).	108
Tabla 4-22 Resultado del estudio realizado al tren 4 (Material 2024-T4).	111
Tabla 4-23 Procedimiento y resultado del estudio realizado al tren 4 (Material 6061-T6).....	118
Tabla 4-24 Procedimiento para el análisis del tren 4 (Material 2024-T4).	127
Tabla 4-25 Resultado del estudio realizado al tren 4 (Material 2024-T4).	130
Tabla 4-26 Procedimiento y resultado del estudio realizado al tren 4 (Material 6061-T6).....	138
Tabla 4-28 porcentaje de error de los resultados mediante el métodos por elementos finitos y resultados analíticos.....	152
Tabla 4-28 Selección de soluciones mediante decisiones multi-criterio.	152
Tabla 4-29 Resultado de la evaluación de los factores ergonómicos.....	153
Tabla 6-1 Propiedad de material utilizado en la construcción.	162
Tabla 6-2 Dimensionamiento general del tren.	162
Tabla 6-3 Cargas y sujeciones aplicadas al eje del tren.	164
Tabla 6-4 Resultado del estudio realizado al eje del tren.....	165
Tabla 6-5 Cargas y sujeciones aplicadas a la T del tren.	175
Tabla 6-6 Resultado del estudio realizado a la T del tren.	176
Tabla 6-7 Cargas y sujeciones aplicadas a la unión del tren.....	184

Tabla 6-8 Resultado del estudio realizado a la T del tren.	185
Tabla 6-9 Cargas y sujeciones aplicadas al soporte.	192
Tabla 6-10 Resultado del estudio realizado al soporte.....	193
Tabla 6-11 Costo de materiales y maquinado.	202
Tabla 6-12 Costo mano de obra.	203
Tabla 6-13 Costo total de la investigación.	203

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Plataforma de gran altitud PGA.	13
Figura 2-2 Tren de rodadura.	14
Figura 2-3 Trenes con flotadores.	14
Figura 2-4 Trenes con esquíes.....	15
Figura 2-5 Tipología de tren principal y rueda direccional.....	16
Figura 2-6 Trenes fijos.	16
Figura 2-7 Trenes retractiles.	16
Figura 2-8 Cordones elásticos, en las tres condiciones de trabajo.	18
Figura 2-9 Clasificación de los resortes.	19
Figura 2-10 Amortiguadores de un avión.	20
Figura 2-11 Categorías fundamentales.....	25
Figura 4-1 Representación gráfica del resultado de la pregunta 1.	46
Figura 4-2 Representación gráfica del resultado de la pregunta 2.	46
Figura 4-3 Representación gráfica del resultado de la pregunta 3.	46
Figura 4-4 Representación gráfica del resultado de la pregunta 4.	46
Figura 4-5 Representación gráfica del resultado de la pregunta 5.	46

Figura 4-6 Representación gráfica del resultado de la pregunta 6.	46
Figura 4-7 Representación gráfica del resultado de la pregunta 7.	46
Figura 4-8 Representación gráfica del resultado de la pregunta 8.	46
Figura 4-9 Representación gráfica del resultado de la pregunta 9.	46
Figura 4-10 Representación gráfica del resultado de la pregunta 10.	46
Figura 4-11 Tren actual.....	46
Figura 4-12 Dimensiones generales del Tren actual.	48
Figura 4-13 Tren 2.	61
Figura 4-14 Dimensiones generales del Tren 2.	62
Figura 4-15 Tren 3.	86
Figura 4-16 Dimensiones generales del Tren 3.	87
Figura 4-17 Tren 4.	107
Figura 6-1 Dimensionamiento general del tren.....	163
Figura 6-2 Dimensionamiento del eje.	163
Figura 6-3 Dimensionamiento de la T.	174
Figura 6-4 Dimensionamiento de la unión.....	183
Figura 6-5 Dimensionamiento del soporte.....	191
Figura 6-6 Construcción del eje.	198
Figura 6-7 Construcción de la T.	199
Figura 6-8 Construcción de la unión.....	199
Figura 6-9 Construcción de los soportes.....	200
Figura 6-10 Ensamblaje sistema amortiguación unión y eje.	200
Figura 6-11 Ensamblaje unión con la T.	201
Figura 6-12 Ensamblaje de los neumáticos.....	201

Figura 6-13 Ensamblaje del tren de aterrizaje en la góndola.	201
Figura 6-14 Ensamblaje de los amortiguadores a gas.	202

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTUDIO DE SISTEMAS MECÁNICOS DEL TREN DE ATERRIZAJE DE
LA PLATAFORMA DE GRAN ALTITUD Y SU EFECTO EN LOS
ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA

Autor: Jessica Alexandra Quispe Arias.

Tutor: Ing. Gonzalo López, Mg.

Fecha: Noviembre 04, del 2014

RESUMEN EJECUTIVO

La investigación tiene como objetivo principal, analizar los esfuerzos y deformaciones producidos en los sistemas mecánicos del tren de aterrizaje de la plataforma de gran altitud. Para lo cual se realizó lo siguiente: modelamiento del tren actual, (tren fijo de rodadura con articulación bicicleta), tren fijo de rodadura bicicleta, tren fijo de rodadura bicicleta hidráulico y del tren fijo de rodadura triciclo hidráulico. Posteriormente se determinó los parámetros de diseño: el tipo de material a utilizar, las características dimensionales y cargas aplicadas. A continuación se desarrolló la simulación mediante el programa por elementos finitos para determinar los esfuerzos y deformaciones de cada sistema mecánico del tren de aterrizaje, con los resultados obtenidos se seleccionó: el tren fijo de rodadura bicicleta hidráulico, porque en este sistema mecánico se produce menos esfuerzos y deformación en comparación con los otros sistemas mecánicos.

Para la construcción del sistema mecánico se realizó: planos de cada elemento, adquisición de materias primas, maquinado de cada elemento y ensamblaje.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA

ESTUDIO DE SISTEMAS MECÁNICOS DEL TREN DE ATERRIZAJE DE LA PLATAFORMA DE GRAN ALTITUD Y SU EFECTO EN LOS ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Contextualización

La historia de los dirigibles data del año 1783. Fue en este año cuando los hermanos Montgolfier de Annonay, Francia lanzaron al aire el primer globo de aire caliente. Desde entonces, muchos inventores han estado intentando diseñar mejores aeronaves y mejores dirigibles.

En el periodo de entreguerras, hacia 1920, tuvieron lugar los primeros diseños de trenes de aterrizaje retráctiles y se comenzaron a diseñar sistemas de suspensión específicos. Las mejoras aerodinámicas produjeron un rápido incremento en la velocidad de vuelo y el tren comenzaba a ser un obstáculo desde el punto de vista aerodinámico, por lo cual se hacía necesario implementar un dispositivo que lo ocultara dentro del fuselaje. Los desarrollos de la época consiguieron un ahorro en la resistencia aerodinámica del vehículo en torno al 10%. Por otro lado, el empleo de las primeras aleaciones de aluminio, en sustitución de la madera y lona, incrementó el peso de los aeroplanos y obligó al uso de amortiguadores cada vez más eficientes.

El estudio de los dirigibles ha sido de un interés por los países desarrollados como Francia, Alemania, Estados Unidos entre otros, las mismas han ido realizando investigaciones relacionados en trenes de aterrizajes, la marca Zeppelin es pionera en construir todos los sistemas con la que está compuesto un dirigible, de igual forma la Goodyear se ha encargado en realizar avances tecnológicos en modelos de góndolas y trenes de aterrizaje para los dirigibles, estos países utilizan este tipo de tecnología en aplicaciones tanto para el campo militar como para el civil, es así que estos dirigibles son utilizados en el transporte de personas, realizar publicidad, en el campo militar lo usan para vigilancia, monitoreo en lugares de alto riesgo así también en proporcionar de servicios de internet, telecomunicación, la identificación de manchas de petróleo en el mar, el seguimiento del tráfico, la inspección de líneas de tendido eléctrico, etc. Todo lo anterior se ha visto reflejado en reducciones de pérdidas económicas, humanas, un aumento de seguridad lo que sin duda ha permitido el crecimiento y el desarrollo de estos países.

Los países de Sudamérica que están realizando este tipo de tecnología son Argentina, Colombia y Ecuador viendo la necesidad de facilitar la vigilancia han recurrido al estudio de estos sistemas denominados Plataformas de Gran Altitud conocidos como Dirigibles las mismas que nos son tripulados esto quiere decir que son controlados mediante una estación de mando y control en tierra por lo que los beneficiados no son simplemente designados al campo militar sino también al civil con la detección de incendios, entrega de alimentos en lugares de desastres, proporcionar servicios de comunicación, detección de tráfico de combustibles, localización de lugares clandestinos de procesamiento de drogas, esto provocaría una reducción de pérdidas tanto humanas como económicas, aumentando la seguridad, un mejor estilo de vida y previniendo desastres naturales.

Los países que no implantan esta tecnología se privan a sí mismos de todos los beneficios que esta aporta exponiéndose así a retrasos en su desarrollo tecnológico. El Ecuador viendo la necesidad de facilitar la vigilancia ha recurrido al estudio de estos sistemas denominados Dirigibles controlados mediante radio controles, dicho estudio fue realizado en la ciudad de Riobamba en la Escuela

Superior Politécnica de Chimborazo la misma que se utilizará para realizar vigilancia dentro de la ciudad, este estudio ha continuado por Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CID-FAE) ubicada en la ciudad de Ambato, desde hace cuatro años apoyados directamente por el gobierno la cual cuenta con un proyecto denominado Plataforma de Gran Altitud (PGA), la misma que se ha visto en la necesidad de realizar una investigación orientados a los trenes de aterrizaje específicamente para los Dirigibles tomando como base los trenes de aterrizaje de las aeronaves UAV's y comerciales. El proyecto que ejecuta el CIDFAE denominado PGA es un proyecto de investigación científica que permitirá al Ecuador contar con los servicios similares al de un satélite: proporcionando telecomunicación, internet, señal de radio, TV y monitoreo de zonas sísmicas.

1.2.2 Análisis crítico

Actualmente el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana desarrolla prototipos de dirigibles las mismas que están siendo usadas para realizar pruebas de todos los sistemas comprendidos de energía, telecomunicación, alimentación de combustible, navegado y el de mayor importancia el sistema de aterrizaje, que no ha estado cumpliendo con su misión de absorber los impactos de la aeronave, por lo cual no protege a los equipamientos ni a su estructura en sí.

El sistema de tren de aterrizaje, que se encuentra instalado en el dirigible, fue diseñado sin tomar en consideración las diferentes direcciones que toma la aeronave cuando se encuentra en tierra, es decir que la aeronave al cambiar de rumbo en tierra los neumáticos del tren tienden a arrastrarse, por la cual los trabajadores se ven obligados en levantar la aeronave para colocar en la dirección correcta de su trayectoria, por lo cual deben estar pendiente del comportamiento del dirigible. Lo antes mencionado conlleva un deterioro rápido de los neumáticos, deformaciones en la estructura del mismo tren e incluso de la góndola que es la carrocería donde se alojan el equipamiento de todos los sistemas, el arrastre que tiene los neumáticos con el piso ocasiona grandes vibraciones, esto ha

provocado golpes, rupturas en el equipamiento e incluso tiende a desbalancear a la aeronave, debido a que el tren no proporciona un sistema de dirección los operadores al tratar de levantar la aeronave y colocar en la dirección correcta han sufrido lesiones, accidentes, por lo que los trabajadores se sienten inconformes.

Existe el incorrecto funcionamiento del sistema de amortiguación del dirigible no tripulado, debido al excesivo peso del tren de aterrizaje por la estructura construida, el inadecuado funcionamiento del sistema de amortiguación, el deficiente inflado de los neumáticos, y también por el mantenimiento leve del sistema de amortiguación, con lo cual no protege de fuerzas de impacto en el aterrizaje.

Los accidentes han estado ocurriendo, principalmente durante el despegue y el aterrizaje de la aeronave. Esto es debido al “cambio de estado”, ya que tanto el despegue como el aterrizaje son estados transitorios respecto del resto del vuelo. Durante el despegue y el aterrizaje se producen las solicitaciones máximas sobre muchos componentes de las aeronaves. En particular, una causa de accidentes se debe al no poder direccionar la aeronave con el tren de aterrizaje poniendo en riesgo que la aeronave choque con alguna estructura cercana del lugar.

Existe un excesivo peso del tren de aterrizaje, está relacionado con las características de fabricación, como por ejemplo: materiales más pesados y tamaño muy elevado, estas causas son ser por un incorrecto diseño del sistema de tren de aterrizaje. El deficiente funcionamiento del sistema de amortiguación, no garantiza una capacidad de amortiguación suficiente para estabilizar al dirigible no tripulado, como causa principal es la mala selección de los elementos de amortiguación.

Los grandes esfuerzos y deformaciones, ocasionan que el contacto que existe con la superficie sea un impacto y no absorba las vibraciones, esto es producido por el incorrecto diseño, debido a un deficiente control técnico. El impropio mantenimiento del sistema de amortiguación, ayuda a que estos no cumplan con su función, esto se debe a la utilización inadecuada de elementos de amortiguación, una de las razones es la deficiente capacitación al personal de

mantenimiento. Los cambios se deben orientarse a la construcción de un nuevo sistema de tren de aterrizaje con los requerimientos de diseño, una selección correcta de su configuración, materiales y el sistema de amortiguación, con lo que los beneficiados van a ser el personal del CID-FAE directamente los trabajadores que se encargan con la operación del dirigible para realizar las pruebas de vuelo.

1.2.3 Prognosis

Si el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana no realiza la adquisición de un sistema de tren de aterrizaje para la plataforma de gran altitud va a tener problemas con la estabilidad el mismo que se verán afectados todos los equipos que se encuentran en el interior de la aeronave.

El incorrecto funcionamiento del sistema de aterrizaje del dirigible no tripulado, puede ocasionar que se tenga mayor dificultad para estabilizar a la aeronave. Al no contar con un sistema que reduzca las vibraciones que se produce en el descenso de la aeronave, el impacto será elevado, debido a esto se verán afectados todos los equipos que se encuentran en el interior de la góndola provocando fallas en los sistemas, al no contar con un sistema de amortiguación los equipos se deterioraran en menor tiempo.

Existirán desgastes prematuros de los neumáticos, esto se debe a que la fuerza que ejerce el dirigible no tripulado será mayor sobre la pista de aterrizaje, la fricción excesiva que se causa desgastará al neumático con mayor rapidez debido a los grandes esfuerzos y deformaciones.

También existirán accidentes, al no contar con una buena estabilidad de la aeronave en el aterrizaje el mismo que es afectado por exceso de esfuerzos y deformaciones en el sistema, los operarios tendrán mayores posibilidades de sufrir un impacto o choque, que puede producir lesiones, si no se realiza un estudio sobre las causas que contribuye al mal funcionamiento del sistema amortiguación, se seguirá teniendo estos efectos.

1.2.4 Formulación del problema

¿Qué tipo de sistema mecánico soportará los esfuerzos y deformaciones del tren de aterrizaje de la plataforma de gran altitud en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana?

1.2.5 Preguntas directrices

¿Cuáles son los parámetros que rigen los sistemas mecánicos del tren de aterrizaje de un dirigible?

¿Qué tipo de sistemas mecánicos serán apropiados en el tren de aterrizaje para los dirigibles mediante requerimientos de diseño?

¿Qué tipo de configuración y sistema mecánico del tren de aterrizaje permitirán reducir daños en la estructura de un dirigible?

¿Cuál es el tipo de diseño de un sistema mecánico del tren de aterrizaje apropiado que reduzca esfuerzos y deformaciones en la estructura del dirigible?

¿La evaluación estructural mediante el programa de elementos finitos que nos permitirá cumplir con los requerimientos de diseño para el sistema mecánico del tren de aterrizaje propuesto?

1.2.6 Delimitación

1.2.6.1 Delimitación temporal

La presente investigación fue desarrollada en el periodo comprendido entre Marzo del 2014 y Octubre del 2014.

1.2.6.2 Delimitación espacial

La investigación se realizó en la Provincia del Tungurahua, ciudad de Ambato, en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

1.2.6.3 Delimitación de contenido

Para el estudio de sistemas mecánicos del tren de aterrizaje de la plataforma de gran altitud y su efecto en los esfuerzos y deformaciones, las materias relacionadas con esta investigación son: Diseño estructural, Diseño mecánico, Ergonomía, Resistencia de materiales e Ingeniería de los materiales.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La realización de este tema de investigación es importante, ya que a través del mismo se contribuirá al desarrollo de los dirigibles no tripulados, mediante la implementación de un sistema de amortiguación que ayude a la estabilidad de la aeronave en el momento de su aterrizaje, mediante esta investigación se podrá seleccionar materiales eficientes para el sistema de aterrizaje de la plataforma de gran altitud.

Por la necesidad de solucionar el problema del desgaste excesivo de los neumáticos, daños en la estructura de la góndola por ende del equipamiento, ya que esto implica que el personal tenga que realizar reparaciones constantes en el dirigible y cambios de los equipos, con lo cual reduce los tiempos de prueba, con esta investigación se conseguirá reducir los daños tanto estructurales como en los equipos ahorrando tiempo y material. Debido que el centro de investigación y desarrollo de la FAE no cuenta con un sistema de tren de aterrizaje que tenga una estabilidad y un comportamiento mecánico del mismo se requiere reducir los accidentes que se producen al momento de realizar el aterrizaje de la aeronave.

También por la importancia económica que tiene el CID-FAE de realizar esta investigación y la implementación de un sistema de tren de aterrizaje ya que el Centro cuenta con ingresos previamente establecidos mediante el cronograma por lo que con un accidente aéreo el CID-FAE se ve afectado al tratar de reajustar los ingresos. El interés que persigue este estudio es proponer un diseño de un sistema de aterrizaje adecuado para la plataforma de gran altitud por la factibilidad de información relacionado a este tema de investigación, la misma que será

elaborado con requerimientos de normas para evitar la inestabilidad de la aeronave.

El tema a investigar tiene un aspecto interesante por las características que debe cumplir el sistema del tren de aterrizaje de una plataforma de gran altitud que tenga que estabilizarse y no tener problemas con el comportamiento mecánico de los materiales al soportar la carga útil. Si no se realiza los correctivos necesarios para poder controlar de manera eficiente este sistema, se estará exponiendo a los operarios a un riesgo laboral.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

- Estudiar los sistemas mecánicos del tren de aterrizaje de la plataforma de gran altitud y su efecto en los esfuerzos y deformaciones en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros que rigen los sistemas mecánicos del tren de aterrizaje para un dirigible.
- Identificar los sistemas mecánicos apropiados del tren de aterrizaje para los dirigibles mediante el programa de elementos finitos.
- Analizar la configuración y el sistema mecánico del tren de aterrizaje adecuado para reducir daños en la estructura de un dirigible.
- Proponer el tipo de diseño de un sistema mecánico del tren de aterrizaje que reduzca esfuerzos y deformaciones en la estructura del dirigible.
- Evaluar el diseño mediante el programa de elementos finitos para el sistema mecánico del tren de aterrizaje de un dirigible.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1.1 Antecedentes

El mundo es más interdependiente cada día. Las actividades diarias no solamente para sostener la producción y el comercio, sino las cotidianas y privadas de cada persona dependen del sistema de comunicación y tecnología.

La Fuerza Aérea Ecuatoriana consiente de su responsabilidad histórica inició el esfuerzo de la investigación científica y el desarrollo tecnológico en su Centro de Investigación y Desarrollo CIDFAE en 1998, cuando inició el estudio y construcción de la primera aeronave experimental no tripulada, diseñada y construida por ecuatorianos. Pero ese solo fue el primer paso.

Ahora, los retos son mayores. El 10 de julio de 2008, se inició el Proyecto Plataforma de Gran Altitud (PGA) pionero en el desarrollo aeroespacial del Ecuador, que brinde servicios de vigilancia y monitoreo del territorio nacional, y telecomunicaciones como radio, televisión digital e Internet, especialmente orientadas a sectores rurales del país.

Para la presente investigación se ha obtenido referencias de un proyecto de tesis del Instituto Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería en Metalurgia cuyo tema es “Análisis de Integridad de un Componente Estructural de uso Aeronáutico”, siendo su autor el señor Oscar Madrigal Serrano, la misma que fue realizado en el año 2008 en el departamento de metalurgia mediante el cual la tesis contiene como objetivo: “Cálculo de las cargas en el tren de aterrizaje para determinar la

función del tren de aterrizaje y las cargas que están sometidas y consideraciones de diseño”, también obtuvieron la siguiente conclusión: “ En el presente proyecto de investigación se ha establecido las acciones para lograr la extensión de la vida útil y prevención de las fallas, partiendo de un diagnóstico de integridad ”

También se ha obtenido referencia de un trabajo realizado por el Ingeniero José Fernando Viscomi, técnico aeronáutico (ENET N° 1 "Jorge Newbery", Haedo, provincia de Buenos Aires), ingeniero aeronáutico (Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Haedo), especialista en Ingeniería Gerencial (UTN. FRH) y magíster en Administración de Negocios (UTN. FRH). Fue mecánico de a bordo (Fuerza Aérea Argentina) y, desde 1980, se desempeña en el área de materiales aeronáuticos de Aerolíneas Argentinas. Se inició como previsionista de material aeronáutico, este proyecto tiene como objetivo: " Realizar trabajos que constituye una metodología para la enseñanza y para el aprendizaje. "La idea de esta metodología tiene como punto de partida una necesidad originada a través de un problema que, ha surgido en un ámbito de la realidad tecnológica, es planteado por el docente a sus alumnos, y al cual hay que hallarle una solución.

Otra fuente relacionada al presente proyecto es de un trabajo Realizado Evolución Histórica de los Trenes de Aterrizaje en las aeronaves, como autores; Rafael Trallero, Ricardo Atienza y Malte Frövel por de la Universidad Alfonso X. El Sabio Escuela Politécnica Superior de Villanueva de la Cañada (Madrid). Este artículo ofrece una visión histórica de carácter divulgativo acerca de la evolución que ha sufrido el diseño de los trenes de aterrizaje de las aeronaves a lo largo de los años, desde los más simples elementos estructurales en los inicios de la aviación hasta las modernas configuraciones actuales dotadas de amortiguadores oleo neumáticos y multitud de sistemas adicionales. Como conclusión realizado por los autores expuesto en este artículo, se puede decir que queda manifiestamente clara la complejidad que lleva aparejado el diseño, desarrollo y mantenimiento de un tren de aterrizaje. Otra conclusión es conforme a lo largo de la historia las aeronaves llegaban a ser más rápidas y pesadas se ha ido producido una sofisticación indiscutible en sus diseños, consecuencia tanto de requisitos

estructurales y operativos como de especificaciones impuestas por las normas aplicables.

2.1.2 Fundamentación Teórica

2.1.2.1 Diseño Mecánico

“El diseñar es formular un plan para la satisfacción de una necesidad específica o resolver un problema. Si el plan proporciona la creación de algo que tiene una realidad física, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que se pueda fabricar y comercializar. Para recordar que los diseños tienen limitaciones y que tienen que presentar al principio cualidades, el imperativo del diseño se expresa como sigue: Diseño: (Sujeto a ciertas restricciones de la resolución del problema) un componente, sistema, o proceso que realizara una tarea específica (sujeto a ciertas restricciones de solución óptimamente).”[Charles, (2008)]

2.1.2.2 Diseño en la Ingeniería Mecánica

“Los ingenieros mecánicos se asocian con la producción y el procedimiento de energía, proporcionando los medios de producción, las herramientas de transportación y las técnicas de automatización. Las bases de la habilidad y del conocimiento son extensas, entre las bases disciplinarias se encuentran la mecánica de sólidos, de fluidos, la transferencia de masa momento, los procesos de manufactura y la teoría eléctrica. El diseño de la ingeniería mecánica involucra todas las disciplinas de la ingeniería mecánica. Las consideraciones de calefacción, ventilación y de acondicionamiento de aire son lo suficientemente especializadas que algunos hablan del diseño de la calefacción, ventilación y del acondicionamiento del aire como si estuvieren separados y fueran distintos del diseño de la ingeniería mecánica.”[Charles, (2008)]

2.1.2.3 Diseño de estructuras

“Se caracteriza por un proceso creativo mediante el cual se le da forma a un sistema estructural para que cumpla una función determinada con un grado de

seguridad razonable y que en condiciones normales de servicio tenga un comportamiento adecuado. Es importante considerar ciertas restricciones que surgen de la interacción con otros aspectos del proyecto global; las limitaciones globales en cuanto al costo y tiempo de ejecución así como de satisfacer determinadas exigencias estéticas.

Entonces, la solución al problema de diseño no puede obtenerse mediante un proceso matemático rígido, donde se aplique rutinariamente un determinado conjunto de reglas y fórmulas.”[Domínguez, (1995).]

2.1.2.4 Plataforma de gran altitud

El Centro de Investigación y Desarrollo Aeroespacial de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, se inicia el proyecto pionero en el desarrollo aeroespacial del Ecuador, el diseño y construcción de un prototipo de Plataforma de Gran Altitud (PGA) o High Altitud Plataforma (HAP).

Proyecto tecnológico multidisciplinario que reúne investigadores en las líneas de: aeronáutica, materiales compuestos, instrumentación de aviónica, control automático de vuelo, telecomunicaciones, sistemas de energía fotovoltaica, atmósfera, modelos matemáticos, sensores ópticos y gestión de comunicaciones y tecnologías de la información.

La PGA es un proyecto de investigación científica que permitirá al Ecuador contar con los servicios similares al de un satélite: telecomunicaciones, internet, señal de radio y TV y monitoreo de la tierra.

La FAE ha destinado, para la ejecución de este proyecto, las instalaciones ubicadas en el Aeropuerto “Chachoán” de la ciudad de Ambato, donde se cuenta con 32 hectáreas de espacio, entre edificaciones, plataforma y pista, que han sido adecuadas como laboratorios de las líneas de investigación y centro de los primeros ensayos de vuelo que se desarrollarán a partir del mes de junio del presente año. Es importante la distribución en planta ya que es el proceso de ordenación física de los elementos industriales de modo que constituyan un

sistema productivo capaz de alcanzar los objetivos fijados de la forma más adecuada y eficiente. Esta ordenación incluye tanto los espacios necesarios para el movimiento del material, almacenamiento, trabajadores indirectos y todas las otras actividades o servicios, como el equipo de trabajo y el personal de la empresa.



Figura 2-1 **Plataforma de gran altitud PGA.**

Fuente: Miguel Ángel Muños. (2000).Tren de aterrizaje. Pág. 4

El proyecto PGA, que cuenta con el apoyo del Alto Mando militar, está en plena marcha, alcanzando a la fecha un avance sobre el 25% de las metas, que corresponde al diseño conceptual de todos los subsistemas, sobre el que se está desarrollando el primer prototipo que permitirá experimentar en vuelo configuraciones de aviónica, controles de vuelo, propulsión y sensores; en este momento, ensayando en laboratorio.

2.1.2.5 Tren de aterrizaje

“El tren de aterrizaje es uno de los sistemas funcionales más importantes del avión y está compuesto, en la mayoría de los casos, por: ruedas, amortiguadores, soportes, entre otros dispositivos.

Durante el aterrizaje, el tren debe absorber la energía cinética producida por el impacto. La cubierta es el primer elemento que absorbe tal impacto, pero no es suficiente; así el tren de aterrizaje debe poseer un sistema de amortiguación para poder disminuir el impacto. La velocidad de descenso de un avión en el aterrizaje, en el momento de impacto con el suelo, es decisiva para la absorción de trabajo de los amortiguadores.”[Davis. (1982)]

2.1.2.6 Tipos de trenes de aterrizaje

“Existen varios criterios que nos permiten clasificar un tren de aterrizaje. Se clasifican por el tipo, por su característica de articulación, por el sistema de suspensión, por la geometría de suspensión, etc. Entre ellos, citamos:

1) Según la superficie en la cual va a operar el avión. Es posible identificar.

a) **Los trenes de rodadura:** Se utilizan para movimientos en tierra; constan de un conjunto de ruedas dispuestas, generalmente, en forma de triángulo.



Figura 2-2 **Tren de rodadura.**

Fuente: Miguel Ángel Muños. (2000).Tren de aterrizaje. Pág. 5

b) **Los trenes con flotadores:** Son aquellos adaptados al agua; se componen de flotadores ubicados a ambos lados del avión en el sentido longitudinal. Algunos aviones también son capaces de amerizar gracias a la forma de quilla de barco en la parte baja del fuselaje.



Figura 2-3 **Trenes con flotadores.**

Fuente: Miguel Ángel Muños. (2000).Tren de aterrizaje. Pág. 5

c) **Los trenes con esquís:** Permiten la operación sobre la nieve; tienen la misma disposición que aquellos con flotadores.



Figura 2-4 **Trenes con esquís.**

Fuente: Miguel Ángel Muños. (2000).Tren de aterrizaje. Pág. 5

2) Según la cantidad y disposición de las ruedas o patas de tren.

En este ítem encontramos los trenes biciclo (dos patas colocadas en tándem), triciclo, cuadriciclo, múlticiclo, etc.

De los mencionados, los que se utilizan más comúnmente son aquellos que poseen tres o más soportes dispuestos en forma triangular. Éstos se componen de:

a) Un tren principal.- Diseñado para soportar el peso del avión y absorber los impactos del aterrizaje.

b) Una rueda secundaria.- Además de servir de apoyo estable al avión, puede tener capacidad direccional. El tren triciclo propiamente dicho es aquel que posee una rueda delantera (secundaria), ubicada debajo de la nariz del avión, que puede girar unos 20 ó 30° a cada lado; mientras, las del tren principal se ubican detrás del centro de gravedad del avión, generalmente en el fuselaje, a la altura del encastre de las alas o bien debajo de éstas. El tren llamado convencional tiene un patín o rueda de cola; en este tipo de tren, las ruedas principales se ubican delante del centro de gravedad del avión, y la secundaria (rueda o patín de cola) se ubica en la cola del avión y suele tener un radio de giro de entre 15 y 20° para cada lado.

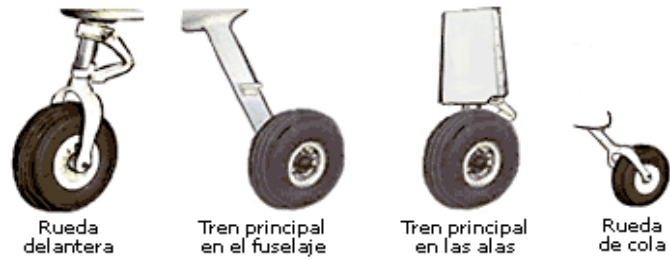


Figura 2-5 **Tipología de tren principal y rueda direccional.**

Fuente: Miguel Ángel Muños. (2000).Tren de aterrizaje. Pág. 5-7

3) Según su característica de articulación.

Podemos distinguir dos grandes grupos: los trenes fijos y los retráctiles.”[Davis. (1982).]



Figura 2-6 **Trenes fijos.**

Fuente: Miguel Ángel Muños. (2000).Tren de aterrizaje. Pág. 7



Figura 2-7 **Trenes fijos bicilos.**

Fuente: Miguel Ángel Muños. (2000).Tren de aterrizaje. Pág. 9

Los trenes fijos están anclados directamente al fuselaje o a las alas. Son mucho más simples que los retráctiles; pero, como desventaja, provocan un aumento de

resistencia en vuelo y, en consecuencia, un mayor gasto de combustible y una menor velocidad para una determinada potencia. Para disminuir estos efectos, se suelen colocar carenados en las ruedas del tren fijo.

Los trenes retráctiles disponen de unos compartimentos ubicados en el fuselaje o en las alas, para el tren principal; y, en el fuselaje, para la rueda del morro- donde el tren es alojado cuando se lo retrae. Los habitáculos para el tren se cierran mediante unas puertas, una vez que éste está totalmente retraído, lo que permite mantener en vuelo la línea aerodinámica del avión. En este tipo de tren se necesita no sólo de un mecanismo para extender/retraer el tren, sino de amortiguadores para absorber el impacto, de frenos, y de un dispositivo de bloqueo de las patas del tren cuando está extendido, el que impide que la rueda se retraiga una vez que ha tocado suelo.

2.1.2.7 Sistema de amortiguación

“Es el componente básico para poder absorber la energía cinética del impacto en el momento del aterrizaje.

1) Por un lado podemos distinguir los tipos de sistema de amortiguación por la geometría de suspensión.

a) **Telescópico:** Cuando el amortiguador está contenido en la pata del tren. Requiere de mayores desplazamientos para amortiguar la carga y mayor volumen de almacenamiento en el fuselaje. Es propio de aviones comerciales o de transporte militar.

b) **De palanca:** Cuando el amortiguador está situado fuera del eje del tren. Requiere de menos recorrido y ocupan menos volumen. Propio de cazas de combate.

2) Por otro lado por el sistema de suspensión.

a) **Cordones elásticos:** Llamados monomotores pequeños es el sistema más elemental de amortiguación. El eje de la rueda se une al fuselaje por medio de

cordones elásticos y al tener contacto con una superficie produce el efecto de amortiguación. Es propio de aviones muy antiguos o avionetas.

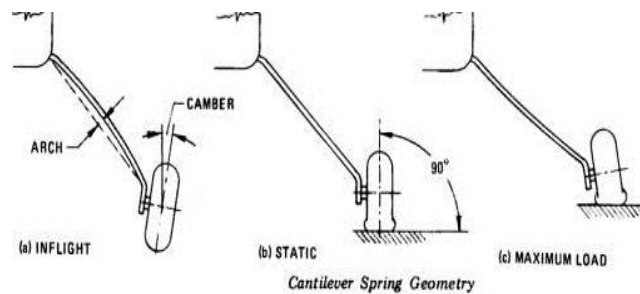


Figura 2-8 Cordones elásticos, en las tres condiciones de trabajo.

Fuente: Rodríguez, M. (2011). Vibraciones Mecánicas. Cuautitlan Izcalli. Pág.29

b) Ballesta: El eje de la pata del tren se deforma elásticamente. Según su deformación la vía cambia de valor y se produce un desgaste desigual en los neumáticos. El más barato. Se emplea en avionetas.”[Rodríguez, (2011).]

2.1.2.8 Elementos de amortiguación

a) Muelles mecánicos.

Los muelles son elementos mecánicos que pueden recuperar su estado inicial una vez que ha cesado la deformación a la que han estado sometidos.

Como consecuencia de esta deformación, los muelles o resortes ejercen una fuerza o un momento de recuperación que se puede considerar en la mayoría de los casos proporcional al desplazamiento lineal o angular sufrido.

Para su fabricación se emplean aceros de gran elasticidad (acero al carbono, acero al silicio, acero al cromo vanadio, acero al cromo-silicio, etc.), aunque para algunas aplicaciones especiales pueden utilizarse el cobre endurecido y el latón.

Los resortes se utilizan con gran frecuencia en los mecanismos para asegurar el contacto entre dos piezas, acelerar movimientos que necesitan gran rapidez, limitar los efectos de choques y vibraciones, etc.



Figura 2-9 Clasificación de los resortes.

Fuente: Rodríguez, M. (2008). Fundamentos de mecánicas de sólidos. Pág.70

a) Materiales más usados para la fabricación de resortes.

Los resortes se fabrican arrollando el alambre en frío y en caliente dependiendo de su diámetro, del índice del resorte y de las propiedades que se quieran lograr en general.” [Rodríguez, (2008).]

Tabla 2-1 Materiales para resortes.

NOMBRE DEL MATERIAL	ESPECIFICACIÓN	USO
Alambre cuerda de piano	AISI 1085 ASTM-A228- 51	El mejor acero para resorte. Temperatura 0 -120°C es caro
Alambre templado	AISI 1065 ASTM-A229-41	Para aplicaciones generales. Temperatura 0-102°C
Alambre estirado en frío	AISI-1066 ASTM-A227-47	Material barato duración no importe. Temperatura. 0 -175°C
Alambre de acero al Cr-V	AISI 6150	Para condiciones severas y recargas fluctuantes. Temperatura. 0- 220°C
Alambre de acero al Cr-Si.	AISI 9254	Excelente para resistir grandes esfuerzos y cargas de choque. Temperatura. 0-250°C

Fuente: Rodríguez, M. (2008). Fundamentos de mecánicas de sólidos. Pág.74.

2.1.2.9 Los amortiguadores

“La función básica de un amortiguador es absorber y disipar la energía cinética en el momento del impacto, hasta que la aceleración de la aeronave se reduzca a niveles tolerables.



Figura 2-10 Amortiguadores de un avión.

Fuente: Rodríguez, M. (2008). Fundamentos de mecánicas de sólidos. Pág.76

Existen sistemas de amortiguación, como los usados actualmente, constituidos por un cilindro donde un pistón unido a un resorte retorna y se produce la mezcla de aire comprimido y líquido hidráulico que evita los movimientos bruscos.

El montante de tren de aterrizaje principal está constituido por: el montante amortiguador, control de dirección.

Podemos distinguir dos tipos de montante amortiguador:

1) Amortiguador líquido: Constituido por un cilindro, un pistón hueco y un pistón libre que se apoya sobre un resorte. No se usa en aviación actualmente por haber sido superado por el óleo neumático.

2) Amortiguador oleo neumático: 3 cámaras (1 de gas). Utiliza aceite con nitrógeno, que sustituye al resorte, y forma una emulsión como energía de absorción. Es el de mayor rendimiento y el utilizado por excelencia en la aviación comercial.”[Rodríguez., (2008)]

2.1.2.10 Mecánica de sólidos

Es un análisis cuantitativo y cualitativo de esfuerzos y deformaciones en cuerpos deformables y así poder predeterminar su comportamiento en el diseño de elementos estructurales en función de su resistencia, rigidez y estabilidad. [Felipe, (2008)]

2.1.2.11 Factores de selección de un material

Son muy importantes durante el desarrollo, la construcción y la reparación de una estructura, los llamados factores de selección, siendo éstos eficaces indicativos del material a elegir según sean las necesidades de utilización, estos factores son:

- Factor resistencia / peso.
- Confiabilidad.
- Propiedades anticorrosivas.
- Propiedades de trabajo.
- Resistencia a la fatiga.
- Propiedades de unión.
- Factor resistencia.

2.1.2.12 Materiales aeronáuticos

Los materiales empleados en la industria aeronáutica deben cumplir grandes requisitos de resistencia específica y, por ello, están muy sujetos a las innovaciones tecnológicas.

La madera.- Los primeros materiales en emplearse fueron la madera y la tela, proporcionaban una resistencia adecuada con un peso muy bajo. La madera en muchos aspectos se comporta como un material compuesto, por cómo está constituida por capas, con mejores propiedades en la dirección longitudinal de la fibra, tiene valores de módulo elástico y resistencias muy altos para su densidad.

Aluminio.- Elemento químico metálico, de símbolo Al, número atómico 13, peso atómico 26.9815, que pertenece al grupo IIIA del sistema periódico. El aluminio

puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles. Las aleaciones de aluminio son ligeras, fuertes, y de fácil formación para muchos procesos de metalistería; son fáciles de ensamblar, fundir o maquinar y aceptan gran variedad de acabados. Por sus propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, el aluminio se ha convertido en el metal no ferroso de mayor uso.

A partir de la Primera Guerra Mundial, el desarrollo de sus aleaciones, y la necesidad de un metal menos pesado que el acero, lleva a su implantación masiva en la aviación, y hasta nuestros días ha sido el material más usado en aeronáutica por; adecuada resistencia, baja densidad, conocimiento de sus técnicas de fabricación En 1909 se descubre que la aleación de Al con un determinado % de Cu y de Mg se puede trabajar de una forma muy sencilla, tras un calentamiento hasta unos 480°C y su rápido enfriamiento. Durante unas horas se podía doblar y conformar fácilmente, después, recuperaba sus propiedades mecánicas.

Pueden distinguirse actualmente tres grupos de Aluminios, los más conocidos en aeronáutica son la serie dos mil y la siete mil.

Materiales Compuestos.- En parte su comportamiento puede asimilarse al de la madera: Son apilados en capas de distintos tipos de materiales, lo que hace que sus propiedades varíen según la dirección

Tienen la gran ventaja de poder fabricar los materiales “a medida”, es decir, en función de las necesidades de resistencia, las direcciones de aplicación de las cargas. Podemos encontrarlos en multitud de formas y presentaciones comerciales. Los más comunes son fibras embebidas en matrices plásticas. Los esfuerzos y cargas serán soportados por las fibras, mientras que la matriz da cohesión y mantiene la forma. Las fibras pueden presentarse en forma de tejido, de fieltro, de bandas.

2.1.2.13 Esfuerzo y deformación

Al ensayar los materiales, las cargas se aplican y miden por medio de máquinas de ensaye. Las cargas usualmente se especifican en unidades de fuerza, tal como libra. El diseño de cualquier elemento o de un sistema estructural implica responder dos preguntas: ¿El elemento es resistente a las cargas aplicadas? y ¿Tendrá la suficiente rigidez para que las deformaciones no sean excesivas e inadmisibles? Las respuestas a estas preguntas implican el análisis de la resistencia y rigidez de una estructura, aspectos que forman parte de sus requisitos. En otros términos, antes de construir una estructura es necesario saber la resistencia que tendrá y las deformaciones que sufrirá. Lo anterior es apenas obvio si consideramos que cualquier estructura debe satisfacer unas exigencias mínimas de seguridad (resistencia) y de funcionalidad y estética (mínimas deformaciones).

2.1.2.14 Esfuerzos

El esfuerzo se define aquí como la intensidad de las fuerzas o componentes internas distribuidas que resisten un cambio en la forma de un cuerpo. El esfuerzo se mide en término de fuerza por área unitaria. Existen tres clases básicas de esfuerzos: tensión compresión y corte. Se acostumbra computar los esfuerzos sobre las bases de las dimensiones del corte transversal de una pieza antes de la aplicación de la carga, actualmente llamamos dimensiones originales. En los ensayos de tensión y compresión simples, en las cuales la probeta es sometida a un esfuerzo uniformemente distribuido, el esfuerzo se computa dividiendo la carga (conocida) por la mínima área sección original; si las dimensiones varían ligeramente, el área puede basarse en las dimensiones críticas promediales. En aquellos casos en que la distribución del esfuerzo no es uniforme, el esfuerzo en puntos específicos puede determinarse por métodos indirectos.

2.1.2.15 Deformación

La deformación se define como el cambio por unidad de longitud en una dimensión lineal de un cuerpo, el cual va acompañado por un cambio de esfuerzo.

Es una deformación unitaria debida al esfuerzo. Es una razón, o un número no dimensional, y es, por lo tanto, la misma si se le mide en pulgadas por pulgadas en longitud. Bajo esfuerzo tensión o compresión, a menos de que otra manera se especifique, la deformación se mide de forma en forma paralela a la dirección de la deformación y a la dimensión a cual se refiere.

2.3 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

En el siguiente proyecto se ha estudiado que el paradigma que predominará es el crítico propositivo sobre el neopositivista por las siguientes razones: El aspecto de la finalidad de la investigación está comprendido por la comprensión que se deben tener al momento de realizar el aterrizaje de la aeronave tomando encuenta las diferentes condiciones del tren de aterrizaje ya sea de peso, el tipo de material, la estructura con el cual estará conformado

Mediante la metodología se pueden dar adecuación de métodos para el objeto que se va a estudiar, para resolver los daños en la estructura de la góndola, los equipos, la adaptación de sistemas de amortiguación permitirá mejora el impacto en el aterrizaje reduciendo así los problemas que aqueja el CID-FAE. La visión que se tiene del problema es la inestabilidad que se produce en el aterrizaje de la aeronave, por no contar con un sistema de amortiguación que deberá absorber las cargas de impacto normal en el aterrizaje y poseer buenas características de amortiguamiento, esta investigación está comprometida e influida por los valores de desplazamiento que se utiliza para estabilizar la aeronave. También el aspecto que va identificar al problema es el énfasis en el análisis ya que el estudio se lo realiza cualitativamente, describiendo los tipos o clases de sistemas, materiales, configuraciones a ser utilizados para el tren de aterrizaje y sus funciones que van a desempeñar para tener mejores resultados.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

El desarrollo de la presente investigación estará basado en las normas técnicas siguientes:

- AISI 6061. Aluminio de aviación.
- AISI 2024. Aluminio de aviación.
- Normas INEN.
- COVENIN 587:2001. Norma venezolana para alambre de acero para resortes.
- NO-DIS-MA-2026. Norma de selección de amortiguadores.

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

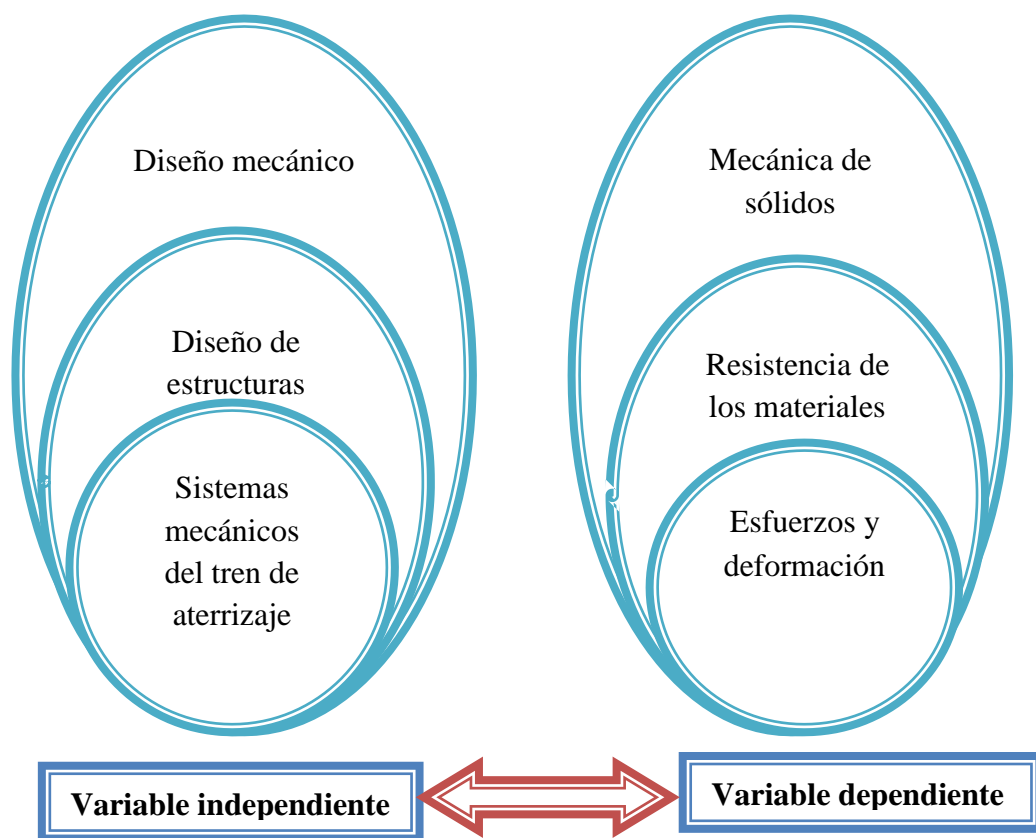


Figura 2-11 **Categorías fundamentales.**

Fuente: Autor

2.5 HIPÓTESIS

El estudio de un sistema mecánico del tren de aterrizaje de la plataforma de gran altitud permitirá reducir los esfuerzos y deformaciones en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.6.1 Variable independiente

Estudio de un sistema mecánico del tren de aterrizaje de la plataforma de gran altitud.

2.6.2 Variable dependiente

Esfuerzos y deformaciones en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

2.6.3 Término de relación

Permitirá.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

La presente investigación se realizará bajo un enfoque cualicuantitativa debido a que se basó en resultados y análisis crítico del problema, además se identificaron las necesidades y los requerimientos de los trabajadores al momento de realizar la pruebas de vuelo en los dirigibles, necesita una orientación al descubrimiento de la hipótesis, ya que los daños y los peligros que sufren los empleados requieren una medición controlada. Dicha investigación favorece al estudio de un sistema mecánico del tren de aterrizaje, para asumir una realidad en los efectos ocasionados en la salud de los trabajadores en la estructura y equipamiento del dirigible. El propósito es contar con un sistema mecánico de tren de aterrizaje que permita que la aeronave sea estable tanto en el aterrizaje como en el carreteo en pista, para evitar accidentes y desgastes en su estructura.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Bibliográfica

La presente investigación se va implementar mediante la modalidad de la investigación por el objeto aplicada, requerido por medio de la elaboración de un sistema mecánico del tren de aterrizaje la cual dará solución a los esfuerzos y deformaciones excesivos que existe en su estructura así también a los accidentes que ocasiona en los trabajadores realizar pruebas de vuelo de dichos dirigibles, debido a que los hechos fueron estudiados para profundizar diferentes enfoques teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre la aplicación de los sistemas mecánicos en los trenes de aterrizaje, basándose en documentos, en

libros, revistas, presentados en internet, también se revisaron documentos que expresen los requerimientos de diseño de los trenes de aterrizaje mediante normas.

3.2.2 De Campo

Además dicha investigación se realizó en el lugar y por ende es una investigación de campo, ya que se permaneció en las instalaciones del CID-FAE para de esta manera conocer mediante la observación los diferentes problemas que tienen al momento de realizar las pruebas de vuelo, y así poder obtener la información necesaria para proponer una solución al problema, que en este caso es la implementación de un sistema mecánico del tren de aterrizaje.

3.2.3 Descriptiva

Mediante esta modalidad se puede conseguir describir, analizar paso a paso todo lo realizado en el estudio como: los avances, problemas que han surgido y sus posibles soluciones, así como también reflejará el nuevo conocimiento adquirido.

3.3 NIVEL O TIPOS DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 Exploratoria

La investigación abarcará el nivel exploratorio pues reconocerá las variables que competen, se investigará cada uno de los detalles del proyecto tanto su diseño como su funcionamiento, Se la utilizó porque permitirá un contacto y familiarización con la realidad estudiada, con los datos y elementos de juicio obtenidos permitió plantear problemas o formular la hipótesis de investigación y planificar éstas con un mayor rigor científico y ajustado a la realidad imperante.

3.3.2 Descriptiva

El nivel descriptivo permitirá caracterizar la realidad investigada con lo que se realizará describiendo el problema en una circunstancia temporal-espacial, esta investigación fue el más adecuado al problema de un estudio de configuración estructural y ergonómica de una estación de mando y control en tierra.

3.3.3 Correlacional

Decidirá el grado de relación que existe entre dos o más variables en estudio, examinar asociaciones, donde el cambio en una variable va a influir directamente en el cambio de la otra.

3.3.4 Explicativa

Esta investigación permitió dar capacidad de análisis, síntesis e interpretación, la cual detectará las causas de determinados comportamientos y los problemas que aquejan a este centro de investigación, de los cuales he priorizado el que es motivo de mi investigación.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 Población

La población motivo de la investigación, se realizara el estudio de cuatro sistemas mecánicos del tren de aterrizaje mediante el método por elementos finitos, los mismos que se realizará con el material aleación de aluminio 6061 T6 y Aleación de aluminio 2024 T4.

3.4.2 Muestra

Por ser un número reducido la muestra fue conformada por un sistema mecánico del tren de aterrizaje el mismo que se realizara con el material 6061 T6.

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.5.1 Variable Independiente: Sistema mecánico del tren de aterrizaje de la plataforma de gran altitud.

Tabla 3-1 Operacionalización variable independiente.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS INSTRUMENTOS
El tren de aterrizaje deberá absorber las cargas de impacto normal en él aterrizaje, la estructura es el primer elemento que absorbe tal impacto, pero no es suficiente; así el tren de aterrizaje debe poseer un sistema de amortiguación por lo tanto debe poseer buenas características de amortiguamiento para poder disminuir el impacto.	Absorber las cargas. La estructura. Características amortiguamiento.	Físicas. Configuración. Tipo de material. Tipo amortiguadores.	Esfuerzos a compresión Deformaciones Según la superficie. Cantidad y disposición de los neumáticos. Según la articulación. Aleación de aluminio 6061 T6 Aleación de aluminio 2024 T4 Amortiguador neumático. Amortiguador simple Amortiguador con cámara de presurización	Observación-directa. Toma de datos. Observación-directa. Ficha de observación. Toma de datos de normas. Selección de catálogos. Toma de datos de investigación bibliográfica.

Fuente: Autor

3.5.2 Variable dependiente. Los esfuerzos y deformaciones en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

Tabla 3-2 Operacionalización variable dependiente.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS INSTRUMENTOS
Es la respuesta de un material ante acciones mecánicas. Es decir, se quiere cuantificar el cambio de la geometría del sólido ante cargas externas.	Respuesta de un material.	Aleación de aluminio 2024 T4	Propiedades del material. (Tomada de normas).	Toma de datos de normas, libros, códigos.
	Acciones mecánicas.	Aleación de aluminio 6061 T6	Propiedades del material. (Tomada de normas).	Toma de datos de normas, libros, códigos.
	Cargas externas.	Esfuerzos.	Esfuerzos a la tensión del material aleación de aluminio. 6061 T6 (310MPa) 2024 T4 (470 MPa)	Observación-directa. Ficha de observación.
		Peso de la aeronave.	500lb de la aeronave. Altura de operación. (Tomada de libros).	Observación-directa. Ficha de observación. Toma de datos de normas, libros, códigos.

Fuente: Autor

3.6 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

El plan de recolección de información es por medio de entrevista, el formato a seguir se encuentran en la tabla 4-1 las cuales son dirigido al Jefe de departamento de Producción, mediante encuestas el formato a seguir en la tabla 4-2 realizado al personal que se encuentra directamente afectado con el problema, también se realizó una observación mediante la guía en la tabla 4-3 la misma que servirá para poder corroborar las respuestas obtenidas tanto en la encuesta como en la entrevista. Las personas que proporcionarán tal información serán:

Jefe del departamento de Producción.

Mayor. Paúl Armas.

Jefe del departamento de Estructura Aeronáuticas.

Teniente. Gustavo León.

Personal de ingenieros y técnicos

La información proporcionada fue de dos ingenieros y ocho técnicos que son los encargados del desarrollo del proyecto de gran altitud PGA.

3.7 PLAN DE PROCESAMIENTOS Y ANÁLISIS

3.7.1 Plan de procesamiento

- Tablas, fichas de recolección de información, fotografías, toma de datos de normas y planos que permitieron la tabulación de los datos de acuerdo a los parámetros y a la relación que tienen las variables de la hipótesis.
- Aplicación de los instrumentos y analizada la validez, se procederá a la tabulación de datos cualitativos y cuantitativos según los parámetros de la operacionalización de la variables.
- Relación porcentual con respecto al total de los indicadores de las variables, con este resultado numérico se elaboraron cuadros de resultados.

3.7.2 Plan de análisis e interpretación de resultados

Se analizó los resultados de la entrevista, encuesta y la observación la cual nos proporciona una idea clara del sistema de aterrizaje que se utilizaba así también del estado en el que encontraba la misma.

Se procede a realizar los análisis mediante el programa por elementos finitos, al tren actual con la cual en base o en referencia a este se realizó 3 nuevos diseños, de la cual se realizara la selección de la mejor propuesta de diseño la misma que debe cumplir con los requerimientos propuestos por el CIDFAE.

Finalmente una vez realizado todo este estudio se llegó a determinar las condiciones en la que se encuentra el sistema de tren de aterrizaje, de igual forma las condiciones que el personal trabaja, con el objetivo de comprobar la hipótesis.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación se considera el siguiente proceso para el desarrollo y análisis de resultados del estudio de sistemas mecánicos del tren de aterrizaje.

4.1.1 Entrevista al Mayor Paúl Armas jefe de departamento de producción.

Tabla 4-1 Guía de entrevista.



 ENTREVISTA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA	 REG: PGA- 001
Elaborado por: Autor Fecha: 12/03/2014		
Preguntas	Interpretación -Valoración	
¿Qué tipo de tren de aterrizaje están utilizando?	Un tren conformado con barras del tipo fijo la misma que es muy rígido.	
¿Cuáles son las principales falencias en el sistema de tren de aterrizaje?	Es muy rígido, desgastes excesivos de los neumáticos, el sistema de amortiguación no absorbe los impactos, no cuenta con un sistema de dirección.	
¿El personal ha tenido accidentes con el dirigible al momento del despegue y aterrizaje?	Si, debido a que el personal debe estar pendiente que las ruedas no se arrastren en el piso, por lo cual los trabajadores deben	

	hacer manualmente.
¿Existe daños en los equipos que se encuentran en el interior de la góndola?	Los equipos son los que sufren daños mayores, ya que el sistema de amortiguación al no hacer su trabajo las vibraciones a causa de las fuerzas de impacto es transmitido directamente a los equipos.
¿La actual configuración del tren de aterrizaje es la apropiada para que el dirigible no sufra daños?	El tren no es estable en su estructura por lo cual no es el apropiado, ya que a causa de la inestabilidad habido rupturas en los planos de vuelo, en la envolvente.
¿Qué requerimientos ergonómicos necesitan que cumpla el sistema de tren de aterrizaje?	Se requiere que el personal se sienta cómodo, que las dimensiones sean las correctas, que el sistema de amortiguación sea adecuado, el diseño sea agradable.
¿El tren de aterrizaje soporta eficientemente las cargas externas?	No, es decir que habido ruptura en su estructura, se ha tenido que incorporar ciertos elementos para mejorar el tren, a tal punto que el diseño inicial ha cambiado en su totalidad.
¿Cuánto influye para el cumplimiento del cronograma de trabajo?	Influye en un mucho, ya que al existir daños en el tren de aterrizaje en cada periodo de vuelo, estas se prolongan de periodo a periodo.
¿Cuáles son los elementos estructurales del sistema de tren de aterrizaje que sufren daños frecuentemente?	Los neumáticos, el lugar donde se ensambla el tren con la góndola, el eje de las ruedas y las eslingas.
¿Qué tipo de materiales están siendo usados en la estructura del tren de aterrizaje?	Están siendo usados en su totalidad aluminio 6061 T6.

Fuente: Autor.

4.1.2 Encuesta

Tabla 4-2 Guía de encuesta.

 ENCUESTA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA	 REG: PGA-002
<p>Encuesta dirigida al personal del CID-FAE que operan los dirigibles.</p>		
<p>Objetivo:</p>		
<p>Determinar las características estructurales y mecánicas que debe contar un sistema de tren de aterrizaje.</p>		
<p>Instrucciones:</p>		
<p>Para contestar las siguientes preguntas, escoja la opción que crea la más acertada según su criterio.</p>		
PREGUNTAS	SI	NO
1.- ¿El tren de aterrizaje soporta el peso total de la aeronave?	11	0
2.- ¿El tren de aterrizaje tiene un sistema de amortiguación que disminuya las fuerzas de impacto?	5	6
3.- ¿Se ha tenido accidentes por trasladar el dirigible a la pista o por tener que manipular la aeronave en el aterrizaje?	10	1
4.- ¿El sistema de tren de aterrizaje posee un mecanismo de dirección para orientar la misma en el sentido del viento?	0	11
5.- ¿La estructura de la góndola y los planos de vuelo han sufrido rupturas?	9	2
6.- ¿El tren de aterrizaje permite que el mantenimiento sea sencillo de realizar?	5	6
7.- ¿Es recomendable cambiar el sistema mecánico de tren de aterrizaje?	10	1
8.- ¿Se puede realizar cambios en su estructura para seguir usando el mismo sistema de aterrizaje?	3	8

9.- ¿Existe daños en los equipamientos electrónicos que lleva la aeronave?	9	2
10.- ¿El peso del tren de aterrizaje es el adecuado para que no influya en el levante de la aeronave?	7	4

Fuente: Autor.

La encuesta se realizó a 11 personas, las mismas que están conformadas por el Jefe del departamento de estructuras aeronautas, dos ingenieros encargados de la ejecución del proyecto y ocho técnicos que realizan la construcción, para lo cual la ponderación de criterios de resultados se muestra a continuación:

4.1.2.1 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 1 de la encuesta realizada



Figura 4-1 Representación gráfica del resultado de la pregunta 1.

Fuente: Autor

Observaciones: Según la encuesta realizada a las 11 personas están de acuerdo una totalidad del 100% que el tren de aterrizaje soporta el peso total de la aeronave.

4.1.2.2 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 2 de la encuesta realizada

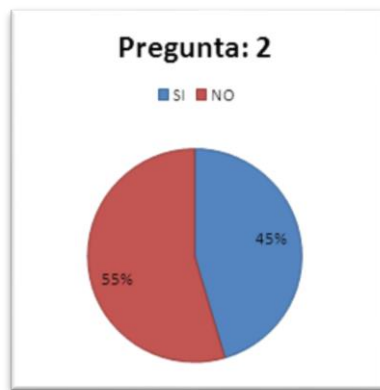


Figura 4-2 Representación gráfica del resultado de la pregunta 2.

Fuente: Autor

Observaciones: según los resultados obtenidos en la encuesta a las 11 personas hay un desacuerdo ya que un 45% dicen que el tren de aterrizaje tiene un sistema de amortiguación que disminuya las fuerzas de impacto y un 55% tienen como resultado que no cuentan con el sistema de amortiguación.

4.1.2.3 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 3 de la encuesta realizada

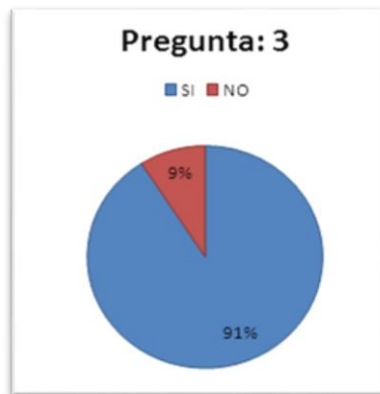


Figura 4-3 Representación gráfica del resultado de la pregunta 3.

Fuente: Autor

Observaciones: Con los resultados adquiridos en la encuesta a las 11 personas hay un desacuerdo ya que un 91% dicen que se ha tenido accidentes por trasladar el dirigible a la pista o por tener que manipular la aeronave en el aterrizaje mientras que el 1% dice que no.

4.1.2.4 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 4 de la encuesta realizada



Figura 4-4 Representación gráfica del resultado de la pregunta 4.

Fuente: Autor

Observaciones: Según los resultados adquiridos en la encuesta realizada a las 11 personas hay un acuerdo ya que un 100% dicen el sistema de tren de aterrizaje no posee un mecanismo de dirección para orientar la misma en el sentido del viento.

4.1.2.5 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 5 de la encuesta realizada

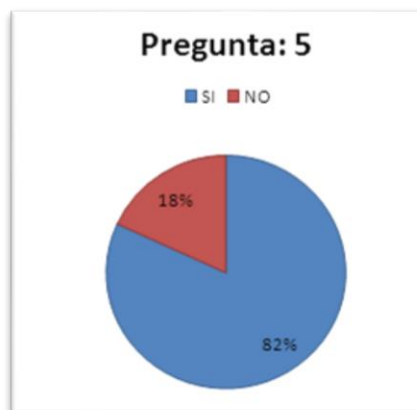


Figura 4-5 Representación gráfica del resultado de la pregunta 5.

Fuente: Autor

Observaciones: Con los resultados adquiridos en la encuesta realizada a las 11 personas hay un 82% de personas que dicen que la estructura de la góndola y los

planos de vuelo han sufrido rupturas y un 18% que no ha sufrido rupturas la estructura.

4.1.2.6 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 6 de la encuesta realizada



Figura 4-6 Representación gráfica del resultado de la pregunta 6.

Fuente: Autor

Observaciones: Con los resultados adquiridos en la encuesta realizada a las 11 personas hay un 45% de personas que dicen que el tren de aterrizaje permite que el mantenimiento sea sencillo de realizar y un 55% de las personas pueden decir que no existe un mantenimiento sencillo.

4.1.2.7 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 7 de la encuesta realizada

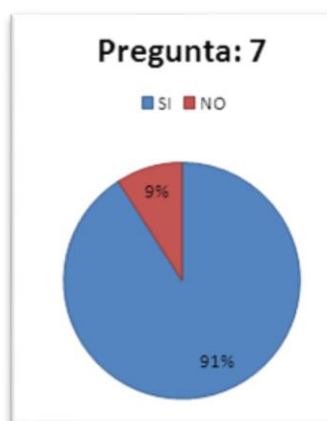


Figura 4-7 Representación gráfica del resultado de la pregunta 7.

Fuente: Autor

Observaciones: Con los resultados adquiridos en la encuesta realizada a las 11 personas hay un la mayor parte de un 91% de personas dicen Es recomendable cambiar el sistema mecánico de tren de aterrizaje y un 9% de las personas dicen que pueden seguir utilizando en mismo.

4.1.2.8 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 8 de la encuesta realizada

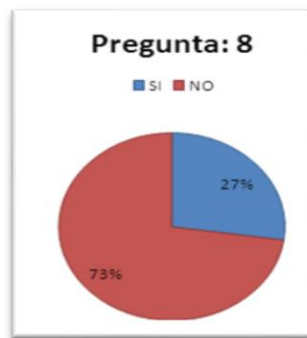


Figura 4-8 Representación gráfica del resultado de la pregunta 8.

Fuente: Autor

Observaciones: Con los resultados adquiridos en la encuesta realizada a las 11 personas hay un desacuerdo ya que un 27% dicen que se puede realizar cambios en su estructura para seguir usando el mismo sistema de aterrizaje mientras que el 73% dice se realice otro sistema de la estructura del tren de aterrizaje.

4.1.2.9 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 9 de la encuesta realizada

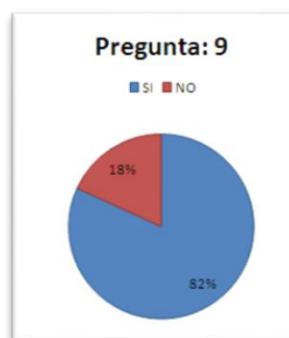


Figura 4-9 Representación gráfica del resultado de la pregunta 9.

Fuente: Autor

Observaciones: Con los resultados adquiridos en la encuesta realizada a las 11 personas hay un desacuerdo ya que un 82% dicen que existen daños en los equipamientos electrónicos que lleva la aeronave mientras que el 18% dice que no causan daños.

4.1.2.10 Representación gráfica de los resultados de la pregunta 10 de la encuesta realizada

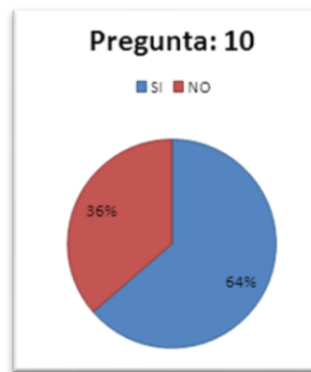


Figura 4-10 Representación gráfica del resultado de la pregunta 10.

Fuente: Autor

Observaciones: Según con los resultados adquiridos en la encuesta realizada a las 11 personas hay un desacuerdo ya que un 64% dicen que el peso del tren de aterrizaje es el adecuado para que no influya en el levante de la aeronave mientras que un 36% dice que no es adecuado el peso del tren de aterrizaje.

4.1.3 Guía de observación

Tabla 4-3 Guía de observación.

 OBSERVACIÓN	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA	 REG: PGA-003
elaborado por: Autor	Fecha:14/03/2014	

Indicadores	Si	No	Observaciones
	cumple		
Dimensionamiento adecuado.		✓	No cumple con los requerimientos ergonómicos de altura.
Estructura cumple con los requerimientos de estabilidad.		✓	Existe demasiada inestabilidad en el traslado del hangar a la pista.
Diseño estructural y ergonómico según normativa.		✓	Los diseños no cumplen ninguna normativa.
Posee un sistema de amortiguamiento	✓		El sistema de amortiguamiento son unas eslingas (cuerdas), pero no son eficientes.
Incluye un sistema de dirección.		✓	No posee ningún elemento que le obliguen a las ruedas tomar direcciones requeridas por el operador.
Los materiales son los apropiados.		✓	El material utilizado es muy rígido no posee buenas características de flexibilidad.
Es fácil de realizar el mantenimiento.		✓	Para realizar el mantenimiento se debe retirar todo el tren de la base de la góndola esto hace que el trabajo tome demasiado tiempo.
Los neumáticos son los apropiados.	✓		Los neumáticos son de aviación, lo que hay que mejorar es el anclaje.
El peso está dentro de los requerimientos del levante.		✓	La estructura del tren es muy pesada por lo cual están limitados en llevar la carga útil.

Fuente: Autor.

4.1.4 Evaluación de diseños de trenes de aterrizaje

Los dirigibles que se diseñan y construyen en el CIDFAE, tienen la misión de proporcionar servicios básicos como internet, señal telefónica, además el de vigilancia y monitoreo de lugares de dificultad para el acceso del ser humano, a continuación se detalla tanto los sistemas como los equipamientos con el cual va contar el dirigible, adicional se enlista sus respectivos pesos la misma que se utilizó para realizar el análisis en el tren de aterrizaje ya que debe soportar el peso de todos los equipos dejando un margen de seguridad ya que se debe proveer

debido a que en alguna instancia del tiempo requieran colocar o añadir algún sistema o subir un determinado equipo.

Tabla 4-4 **Peso de los equipos.**

PESOS DE LOS EQUIPOS CORRESPONDIENTES A CADA SISTEMA CON LA QUE EL DIRIGIBLE VA A CONTAR					
Sistemas	Equipos	Cantida d	Unidades	Peso unitari o (kg)	Peso total (kg)
Mecánica	Góndola	1	U	20	20
	Combustible	14	Galón	2,9	40,3
	Motor	2	U	7,5	15,0
	Alternador	2	U	1,2	2,4
	Basculante	1	U	18,3	18,3
	Planos de vuelo	4	U	1,6	6,3
	Tren aterrizaje (Max.)	1	U	15	15
Comunicaciones	Transmisión	2	U	3,7	7,4
	Amplificador bajo ruido	2	U	0,9	1,8
	Amplificador duplexor	3	U	0,5	1,4
	Main computer	1	U	3,2	3,2
	Transponder	2	U	0,7	1,3
	Encoder	1	U	0,1	0,1
	Cableado	1	U	3	3
Energía	Rack de conversores	4	U	2,6	10,2
	Caja de switches	1	U	1,6	1,6
	Convertor 1000w	1	U	1,7	1,7
	Caja acondicionadores de señales	2	U	1	2
	Baterías tipo de 5000mAh	6	U	8	48
	Caja acondicionadores de señal II	1	U	0,4	0,4
PAYLOAD	Unidad control	1	U	2,3	2,3
	T-stamp	1	U	8,7	8,7
	Sistema de Cámara	1	U	1,5	1,5
GNC	Piccolo	1	U	0,3	0,3

	Power box	1	U	0,3	0,3
	Sistema micro pilot - arneses conectores	1	U	2,8	2,8
	Activación de sistema de emergencia	1	U	0,5	0,5
PESO TOTAL (kg)					216,6
PESO TOTAL (lb)					476,52

Fuente: Datos proporcionados por el CIDFAE.

Para el análisis en el en el programa por elementos finitos se aplicó una fuerza superior a 452,6lb específicamente 600lb, debido a que en ocasiones requieren subir más peso, por lo cual se debe proveer estas peticiones para no tener problemas con el sistema del tren de aterrizaje, por esa razón se aplicó un peso de 600lb para el análisis.

De la entrevista, encuesta y observación se han logrado determinar las deficiencias que tiene el sistema de tren de aterrizaje, en base a este diseño se propuso tres nuevos tipos del sistema mecánico del tren de aterrizaje según la investigación bibliográfica, las mismas que serán evaluados mediante el programa por elementos finitos que posee el CIDFAE, la misma que facilitará realizar ciertos cálculos y simulaciones apegados a la realidad para cada caso.

A continuación se muestra parámetros encontrados de la simulación en el software del tren de aterrizaje actual, estos mismos parámetros serán evaluados posteriormente en los nuevos diseños.

4.1.4.1 Análisis mediante software del tren actual 1 (Tren fijo de rodadura con articulación bicicleta)

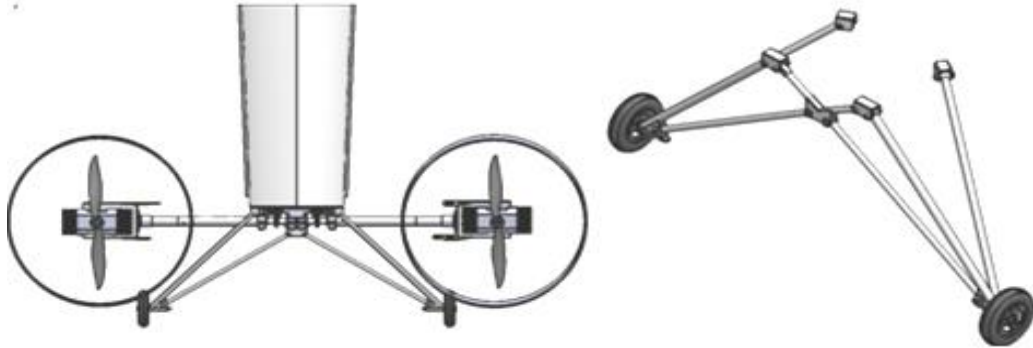


Figura 4-11 Tren actual.

Fuente: Autor

a) Material utilizado.

El material con el cual se encuentra construido el tren es un aluminio de aviación 6061-T6, debido a que es un material resistente en relación al acero pero es menos pesado, sus propiedades se detallan a continuación.

Tabla 4-5 Material del tren actual.

Aluminio 6061-T6		
Propiedades	Valor	Unidades
Modulo elástico	69000	MPa
Coefficiente de poisson	0,33	N/D
Modulo cortante	26000	MPa
Densidad de masa	2700	Kg/m ³
Límite de tracción	310	MPa
Limite elástico	275	MPa
Coefficiente de expansión térmica	2,4e-005	/K
Conductividad térmica	166,9	W/(m.K)
Calor especifico	896	J/(Kg.K)

Fuente: Askeland, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los materiales. Pág.371

b) Características técnicas del tren actual

En base a estas características se propuso algunos diseños, ya que con estas descripciones se podrá tomar correcciones y mejorar los diseños de los nuevos trenes de aterrizaje.

Tabla 4-6 Características técnicas del tren actual.

Descripción	Valor	Unidades	Observación
Material de los tubos. (D=25.4mm, di=19.3mm).	N/A	N/A	Construido en aluminio 6061-T6
Material de los tubos. (D=20,83mm, di=19.05mm).	N/A	N/A	Construido en aluminio 6061-T6
Material de los tubos. (D=18mm, di=16,22mm).	N/A	N/A	Construido en aluminio 6061-T6
Material de los perfiles. (TC 37x40x4.8mm)	N/A	N/A	Construido en aluminio 6061-T6
Material de los pernos y tuercas. (M10, M8)	N/A	N/A	Conformados por acero aleado e inoxidable.
Peso de la estructura	2,88	kg	Incluido los pernos, tuercas, arandelas, ejes de las ruedas.
Peso de las ruedas	4	kg	Conformado por dos ruedas, rodamientos, las mismas que se encuentran inflados.
Peso total de tren	6,88	kg	

Fuente: Autor.

c) Parámetros expuestos para el análisis del tren actual.

Se detalla el material con el cual está construido, la carga que se va aplicar o el peso que está soportando, las dimensiones principales como son: alto, ancho y largo las mismas que se encuentran en unidades milimétricas.

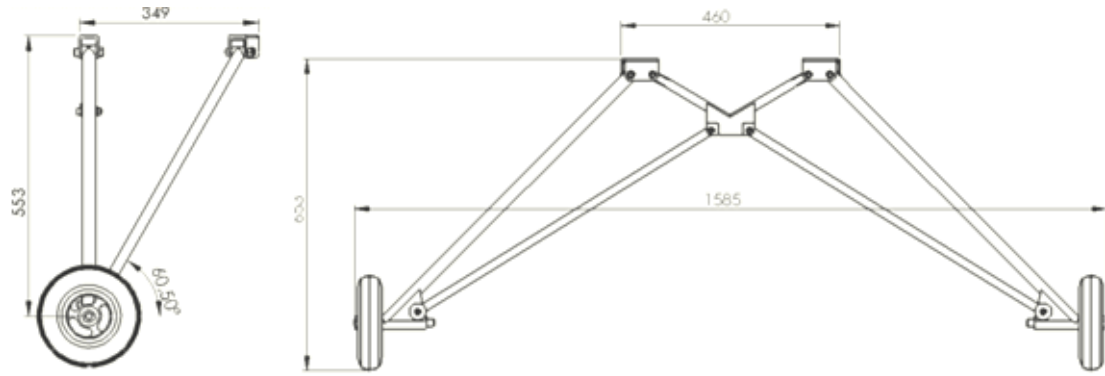


Figura 4-12 Dimensiones generales del Tren actual.

Fuente: Autor

Tabla 4-7 Parámetros para el análisis del tren actual.

Parámetros	Descripción	Observación
Material.	Aluminio 6061-T6	El material es con el cual el tren actual está construido.
Límite elástico.	2,75e8 Pa	
Límite de tracción.	3,1e8Pa	
Modulo elástico.	6,9e10Pa	
Carga a soportar.	500lb	Se aplicara una carga de 600lb debido a las cargas adicionales que requieran subir al dirigible.
Alto.	653mm	Corresponde del piso al borde de la góndola.
Largo.	1585mm	Tomadas del extremos de las ruedas.
Área de sujeción.	349x460mm	Es la superficie en el cual se anclará la estructura de la góndola.

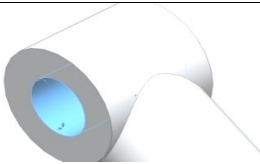


Fuente: Autor.


Debido al complejo modelo del tren actual para el análisis se debe simplificar ya que al no hacerlo el análisis puede demorar mucho tiempo, además como es un tren fijo bicicleta articulado, se aplicó toda la carga debido a que el tren soporta todo el peso que se encuentra en la góndola, el proceso de análisis es el citado a continuación:

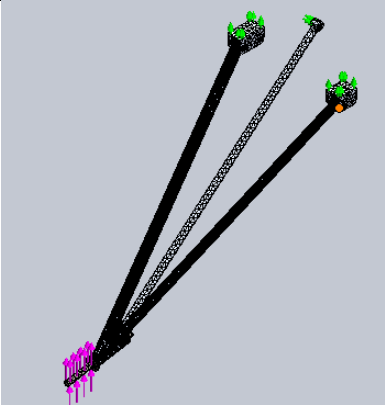
d) Procedimiento para realizar la simulación mediante el método de elementos finitos para el tren actual.

Tabla 4-8 Procedimiento para el análisis del tren actual.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS			
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de análisis:	Análisis estático		
Nombre de estudio:	Tren fijo de rodadura bicicleta		
PROCEDIMIENTO			
1. Propiedades volumétricas del modelo			
Masa:	1.09936 kg	Densidad:	2700 kg/m ³
Volumen:	0.0000345m ³	Peso:	10.7847 N
Imagen del modelo			
			
2. Propiedades del material: Aleación de aluminio 6061 T6			
Límite elástico:		6.20422e+008 N/m ²	
Límite de tracción:		7.23826e+008 N/m ²	

Módulo elástico:	2.1e+011 N/m ²	
Coefficiente de Poisson:	0.28	
Densidad:	7700 kg/m ³	
Módulo cortante:	7.9e+010 N/m ²	
3. Características de la sujeción		
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Rodillo/Control Deslizante-1		Entidades: 1 cara. Tipo: Bisagra fija.
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Sujeción. Rodillo/Control Deslizante-2		Entidades: 2 caras. Tipo: Geometría fija.
4. Cargas aplicadas al modelo		
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara, 1 plano. Referencia: Alzado Tipo: Aplicar fuerza Valores: 300 lbf
5. Condiciones de contacto del modelo		
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto

Contacto global		<p>Tipo: GAP nodo-a-nodo</p> <p>Componentes: 1 componente</p>
6. Información de malla		
Tipo de malla	Malla sólida	
Mallador utilizado:	Malla estándar	
Transición automática:	Desactivar	
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar	
Puntos jacobianos	4 Puntos	
Tamaño de elementos	10.6509 mm	
Tolerancia	0.532544 mm	
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden	
Número total de nodos	15681	
Número total de elementos	8631	
Cociente máximo de aspecto	6.277	
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97.7	
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.0292	
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0	
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01	
Imagen del mallado del modelo		

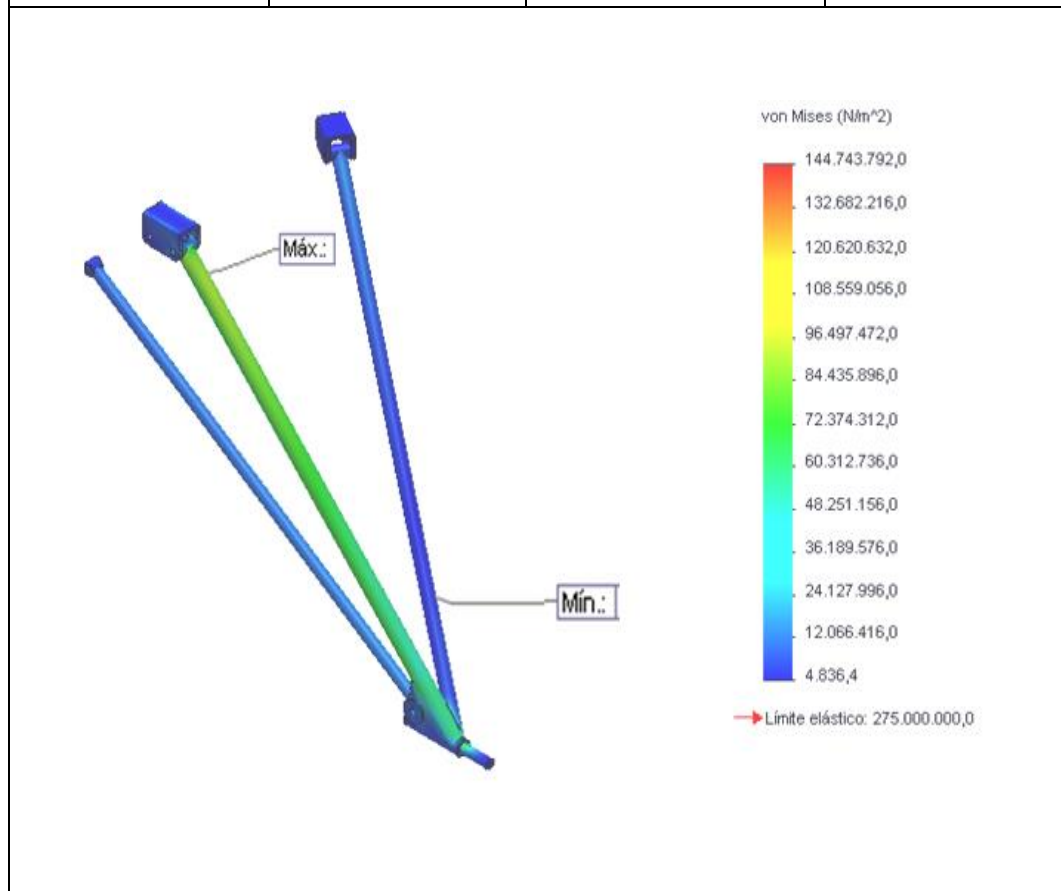

7. Ejecutar simulación
8. Análisis de los resultados

Fuente: Autor.

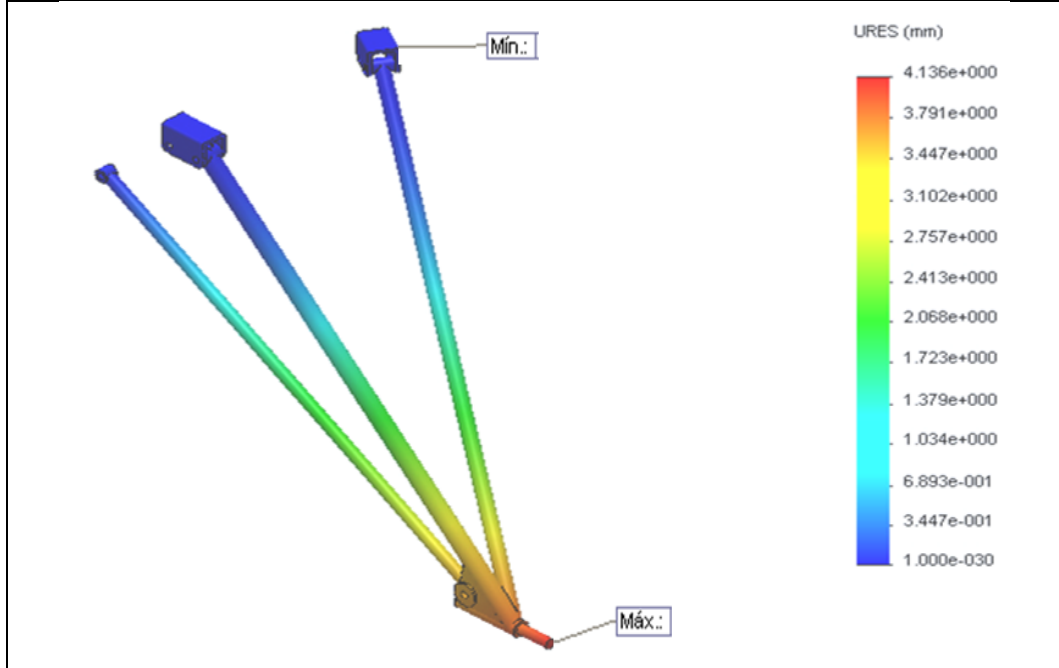
e) Resultados del estudio realizado al tren actual.

Tabla 4-9 Resultado del estudio realizado al tren actual.

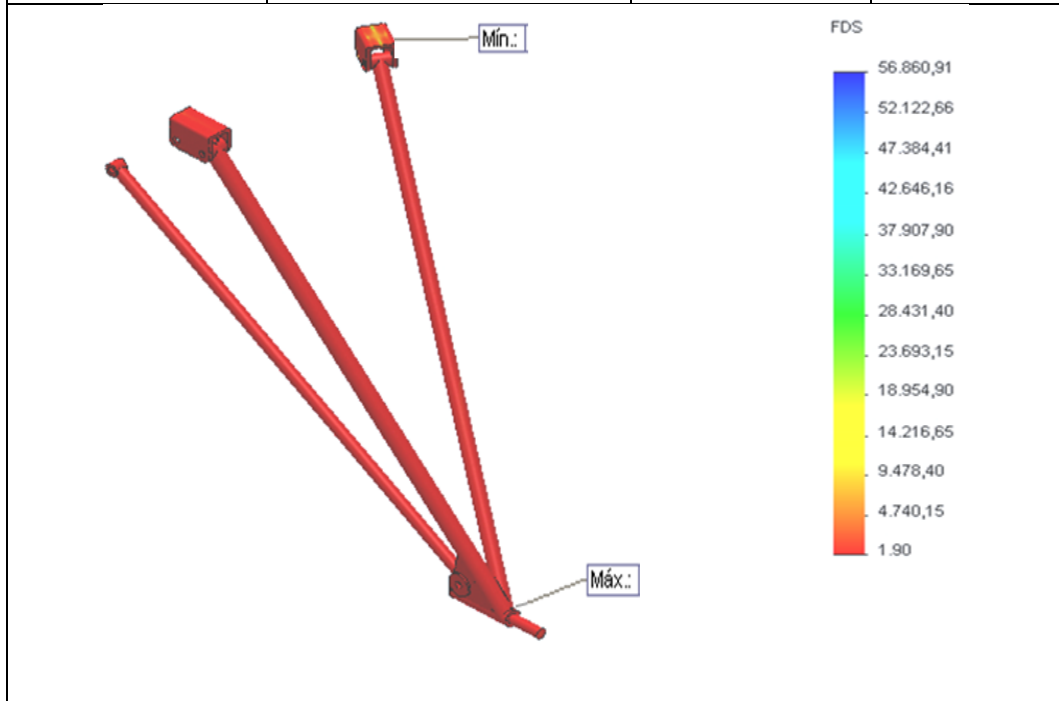
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	4836,36Pa Nodo: 122492	1,447e8Pa Nodo: 41076

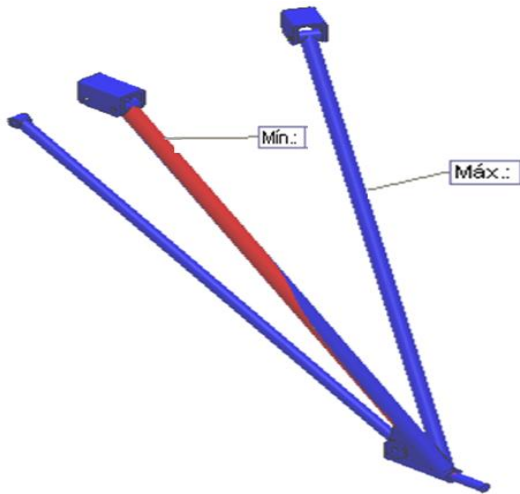


Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0mm Nodo: 122481	4,1359 Nodo: 858



Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 1	Tensión de Von Mises Máximo.	1,9 Nodo: 41076	56860,9 Nodo: 122492

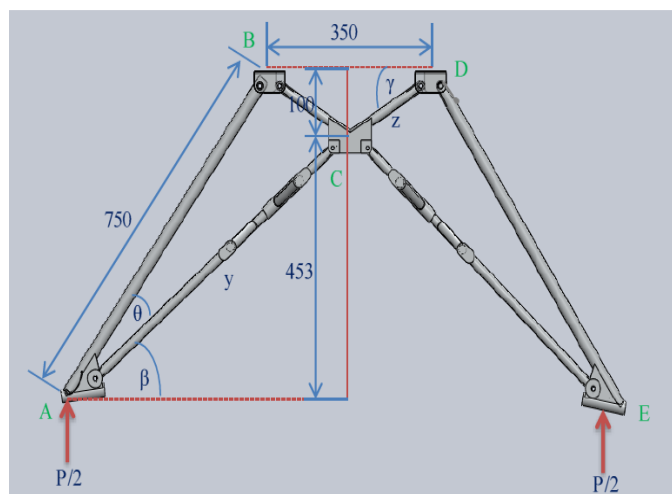


Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 2	Tensión de Von Mises Máximo.	1,9 Nodo: 41076	56860,9 Nodo: 122492
Rojo < FOS = 4 < Azul			
			

Fuente: Autor.

f) Cálculo analítico de los esfuerzos y deformaciones para el tren actual 1 (Tren fijo de rodadura con articulación bicicleta)

Esquema



Calculamos los ángulos mediante las funciones trigonométricas

$$\text{Tan } \gamma = \frac{100}{175}$$

$$\gamma = 29.74^\circ$$

$$\text{Sen } \gamma = \frac{100}{z}$$

$$z = \frac{100}{\text{sen } 29.74}$$

$$z = 201.59\text{mm}$$

$$\text{Tan } \theta = \frac{201.59}{750}$$

$$\theta = 15.04^\circ$$

$$\text{Sen } \theta = \frac{201.59}{y}$$

$$y = \frac{201.59}{\text{Sen } 15.04}$$

$$y = 776.86\text{mm}$$

$$\text{Sen } \beta = \frac{453}{776.86}$$

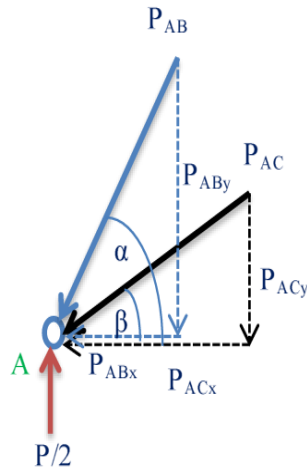
$$\beta = 35.67^\circ$$

$$\alpha = \theta + \beta$$

$$\alpha = 15.04 + 35.67$$

$$\alpha = 50.71^\circ$$

Realizamos el diagrama de cuerpo libre del punto A y descomponemos las fuerzas en x y en y.



$$\text{Sen}\beta = \frac{P_{ACy}}{P_{AC}}$$

$$\text{Cos}\beta = \frac{P_{ACx}}{P_{AC}}$$

$$\text{Sen}\alpha = \frac{P_{ABy}}{P_{AB}}$$

$$\text{Cos}\alpha = \frac{P_{ABx}}{P_{AB}}$$

Procedemos a realizar la sumatoria de fuerzas en x

$$+\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$-P_{ABx} - P_{ACx} = 0$$

Despejamos la fuerza P_{ABx} y reemplazamos los valores

$$P_{ABx} = -P_{ACx}$$

$$P_{AB} \times \text{Cos}\alpha = -P_{AC} \times \text{Cos}\beta$$

Procedemos a despejar la fuerza PAB y reemplazamos los valores en la ecuación

$$PAB = -\frac{PAC \times \text{Cos}\beta}{\text{Cos}\alpha}$$

$$PAB = -\frac{PAC \times \text{Cos}35.67^\circ}{\text{Cos}50.71^\circ}$$

$$PAB = 1.28PAC$$

Realizamos la sumatoria de fuerzas en y

$$+\uparrow \sum Fy = 0$$

$$\frac{2.67KN}{2} - PAC_y - PAB_y = 0$$

Reemplazamos los valores en la ecuación y despejamos la fuerza PAC

$$\frac{2.67KN}{2} - PAC \times \text{Sen}\beta - PAB \times \text{Sen}\alpha = 0$$

$$PAC \times \text{Sen}\beta = \frac{2.67KN}{2} - PAB \times \text{Sen}\alpha$$

$$PAC \times \text{Sen}\beta = \frac{2.67KN}{2} - (-1.28PAC) \times \text{Sen}\alpha$$

$$PAC \times \text{Sen}\beta - (1.28PAC) \times \text{Sen}\alpha = \frac{2.67KN}{2}$$

$$PAC(\text{Sen}\beta - 1.28 \times \text{Sen}\alpha) = \frac{2.67KN}{2}$$

$$PAC(\text{Sen}35.67^\circ - 1.28 \times \text{Sen}50.71^\circ) = \frac{2.67KN}{2}$$

$$PAC = -3.28KN$$

Cálculo del área para sección circular hueca

$$A = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

Donde:

A=Área

D=Diámetro exterior

d=Diámetro interior

$$A = \frac{\pi(20.83^2 - 19.05^2)}{4}$$

$$A = 5.65 \text{mm}^2$$

$$A = 5.6 \times 10^{-6} \text{m}^2$$

Cálculo de la deformación

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

$$\delta = \text{Deformación [m]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad [Pa]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

Reemplazamos los datos en la ecuación de la deformación.

$$\delta_{AC} = \frac{P_{AC} \times L_{AC}}{E \times A_{AC}}$$

$$\delta = \frac{(3.28 \times 10^2 N) \times (776.86 \times 10^{-3} mm)}{(3.28 \times 10^2 \frac{N}{m}) \times (5.65 \times 10^{-6} m^2)}$$

$$\delta = 4.41 \times 10^{-3} m$$

$$\delta = 4.41 mm$$

Como se analizó la mitad del sistema porque es simétrico la deformación total es:

$$\delta = 8.82 mm$$

Determinación del esfuerzo normal máximo

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P}{A}$$

Donde:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \text{Esfuerzo normal m\acute{a}ximo [Pa]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

Reemplazamos los datos en la ecuación del esfuerzo normal máximo.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\frac{2670}{2} N}{5.6 \times 10^{-6} m^2}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 1.652 \times 10^8 Pa$$

Cálculo del factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$n =$ Factor de seguridad [Adimencional]

$\sigma =$ Esfuerzo normal máximo [Pa]

$S_y =$ Esfuerzo de fluencia de la aleacion de aluminio 6061 T6

→ [275.86MPa]

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{275.86MPa}{238MPa}$$

$$n = 1.69$$

4.1.4.2 Análisis mediante software del tren 2 (Tren fijo de rodadura Biciclo)

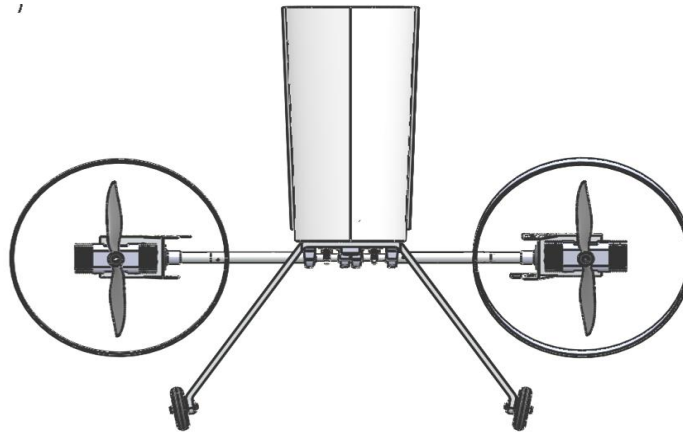


Figura 4-11 **Tren 2.**

Fuente: Autor

a) **Material utilizado.**

Para este estudio se realizó dos tipos de análisis el uno con material de aluminio 6061-T6 y el otro con aluminio 2024-T4, debido que en el CIFAE trabajan con estos dos tipos de aluminio de aviación, luego del análisis se emitirán criterios para la selección del mejor material.

Tabla 4-10 **Material a utilizar para el análisis del tren 2.**

Aluminio	6061-T6	2024-T4
Propiedades	Valor	Valor
Modulo elástico en X	69000 MPa	72400MPa
Coefficiente de poisson en XY	0,33	0,33
Modulo cortante en XY	26000 MPa	28000MPa
Densidad de masa	2700 Kg/m ³	2780 Kg/m ³
Límite de tracción	310 MPa	470MPa
Limite elástico	275 MPa	325MPa
Coefficiente de expansión térmica	2,4e-5/K	2,32e-5/K
Conductividad térmica	166,9 W/(m.K)	120 W/(m.K)
Calor especifico	896 J/(Kg.K)	875 J/(Kg.K)

Fuente: Askeland, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los materiales. Pág.371.

b) Características técnicas del tren 2.

El diseño propone mejorar el ensamblado a la góndola, con lo cual pretende ser fácil el armado de sus partes, debido a esto sus características principales son:

Tabla 4-11 Características técnicas del tren 2.

Descripción	Valor	Unidades	Observación
Material de la estructura. (Plancha de 100x25.4mm).	N/A	N/A	Construido en aluminio 6061-T6 y 2024-T4
Material de los pernos y tuercas. (M16, M6)	N/A	N/A	Conformados por acero aleado e inoxidable.
Peso de la estructura	13,27	kg	Incluido los pernos, tuercas, arandelas, ejes de las ruedas.
Peso de las ruedas	4	kg	Conformado por dos ruedas, rodamientos, las mismas que se encuentran inflados.
Peso total de tren	17,27	kg	

Fuente: Autor.

c) Parámetros expuestos para el análisis del tren 2.

Se detalla el material con el cual está construido, la carga que se va aplicar o el peso que está soportando, las dimensiones principales son: alto, ancho y largo las mismas que se encuentran en unidades milimétricas.

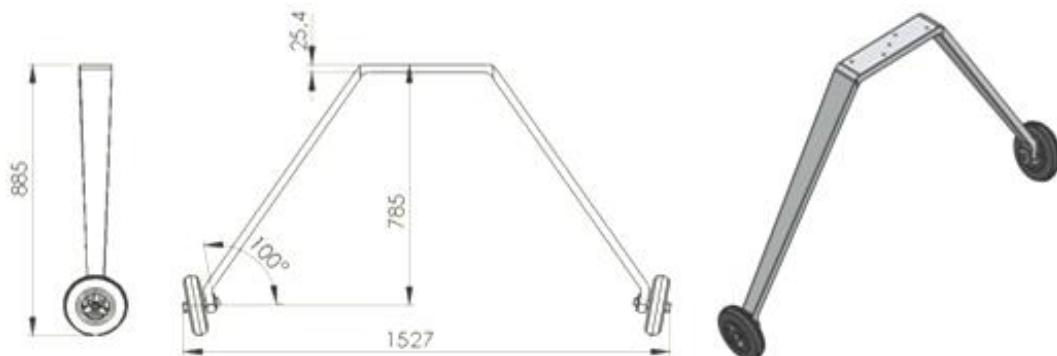


Figura 4-12 Dimensiones generales del Tren 2.

Fuente: Autor

Tabla 4-12 **Parámetros para el análisis del tren 2.**



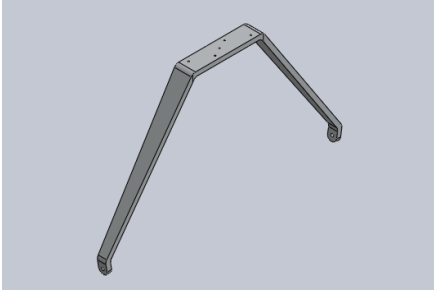
Parámetros	Descripción	Observación
Material.	6061-T6	El material es con el cual el tren 2 se pretende construir
Límite elástico.	2,75e8 Pa	
Límite de tracción.	3,1e8Pa	
Modulo elástico.	6,9e10Pa	
Material.	2024-T4	El material es con el cual el tren 2 se pretende construir
Límite elástico.	325e8 Pa	
Límite de tracción.	4,7e8Pa	
Modulo elástico.	7,24e10Pa	
Carga a soportar.	500lb	Se aplicara una carga de 600lb debido a las cargas adicionales que requieran subir al dirigible.
Alto.	885mm	Corresponde del piso al borde de la góndola.
Largo.	1527mm	Tomadas del extremos de las ruedas.
Área de sujeción.	100x385mm	Es la superficie en el cual se anclará la estructura de la góndola.

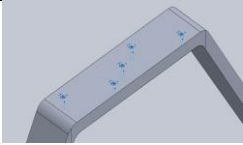
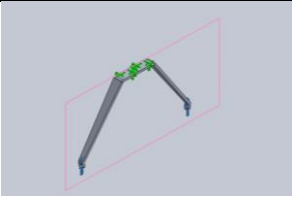
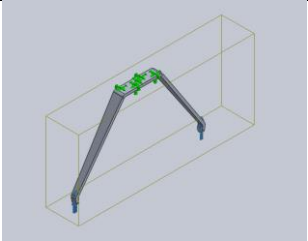
Fuente: Autor.

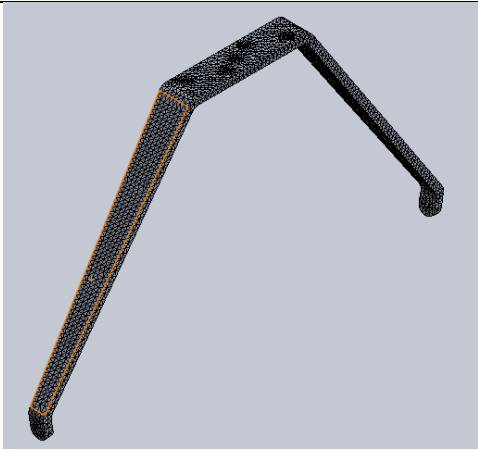
Debido al complejo modelo del tren, para el análisis se debe simplificar ya que al no hacerlo el análisis puede demorar mucho tiempo, además como es un tren fijo bicicleta se aplicó toda la carga debido a que el tren soporta todo el peso que se encuentra en la góndola, el proceso de análisis es el citado a continuación:

d) Procedimiento para realizar la simulación mediante el método de elementos finitos para el tren 2 (Material 2024-T4).

Tabla 4-13 Procedimiento para el análisis del tren 2 (Material 2024-T4).

	<p align="center">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p align="center">FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p align="center">CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>		
<p align="center">PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS</p>			
<p align="center">REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</p>			
<p>Tipo de análisis:</p>		<p>Análisis estático</p>	
<p>Nombre de estudio:</p>		<p>Tren fijo de rodadura bicicleta</p>	
<p align="center">PROCEDIMIENTO</p>			
<p>9. Propiedades volumétricas del modelo</p>			
<p>Masa:</p>	<p>12.288 kg</p>	<p>Densidad:</p>	<p>2700 kg/m³</p>
<p>Volumen:</p>	<p>0.00455113 m³</p>	<p>Peso:</p>	<p>120.423 N</p>
<p align="center">Imagen del modelo</p>			
<div style="text-align: center;">  </div>			
<p>10. Propiedades del material: Aleación de aluminio 2024 T4</p>			
<p>Límite elástico:</p>		<p>325MPa</p>	
<p>Límite de tracción:</p>		<p>470MPa</p>	
<p>Módulo elástico:</p>		<p>72000MPa</p>	
<p>Coefficiente de Poisson:</p>		<p>0.33</p>	

Densidad:	7700 kg/m ³	
Módulo cortante:	26000MPa	
11. Características de la sujeción		
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 5 caras Tipo: Geometría fija
12. Cargas aplicadas al modelo		
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 caras, 1 plano Referencia: Vista lateral Tipo: Aplicar fuerza Valores: 600lbf
13. Condiciones de contacto del modelo		
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente Opciones: Mallado compatible
14. Información de malla		
Tipo de malla	Malla sólida	
Mallador utilizado:	Malla estándar	
Transición automática:	Desactivar	
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar	

Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	13.1769 mm
Tolerancia	0.658846 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	29467
Número total de elementos	17099
Cociente máximo de aspecto	53.122
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.0292
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01
Imagen del mallado del modelo	
	
15. Ejecutar simulación	
16. Análisis de los resultados	

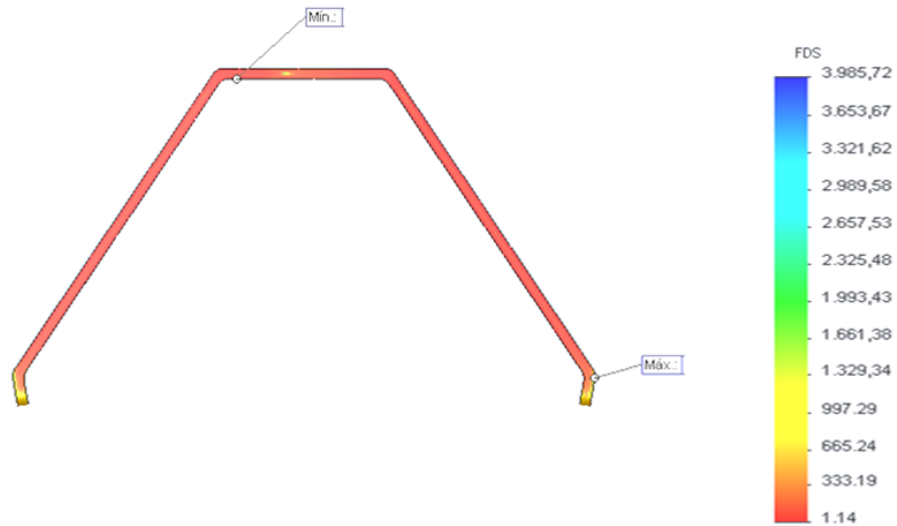
Fuente: Autor.

e) Resultados del estudio realizado al tren 2 (Material 2024-T4).

Tabla 4-14 Resultado del estudio realizado al tren 2 (Material 2024-T4).

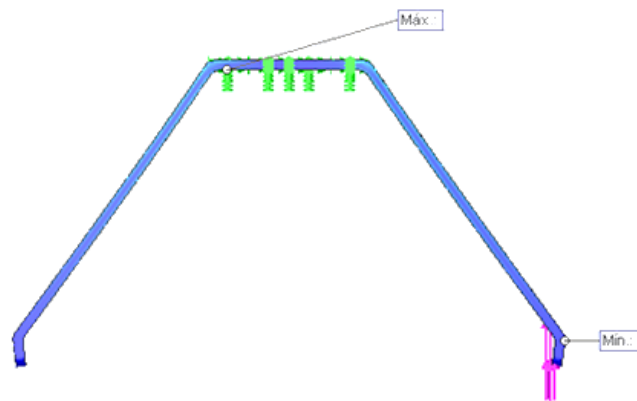
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	81541,1Pa Nodo: 25180	2,8436e8Pa Nodo: 106
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0mm Nodo: 11	22,8729mm Nodo: 668

Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 1	Tensión de Von Mises Máximo.	1,1429 Nodo: 106	3985,72 Nodo: 25180



Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 2	Tensión de Von Mises Máximo.	1,1429 Nodo: 106	3985,72 Nodo: 25180

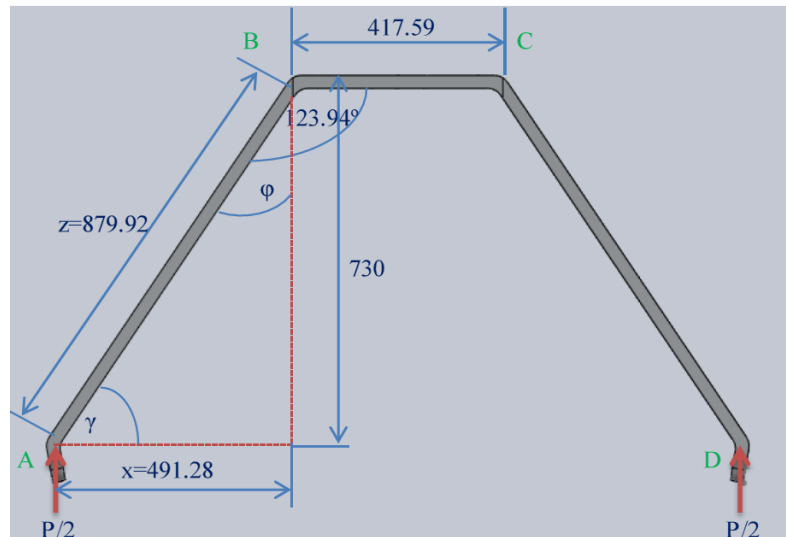
Rojo < FOS = 4 < Azul



Fuente: Autor.

f) Cálculo analítico de los esfuerzos y deformaciones para el tren 2(Tren fijo de rodadura biciclo) con el material de aluminio 2024-T4

Esquema



Cálculo de los ángulos.

$$\phi = 123.94^{\circ} - 90^{\circ}$$

$$\phi = 33.94^{\circ}$$

$$\text{Cos}\phi = \frac{730}{z}$$

$$\text{Cos}33.94^{\circ} = \frac{730}{z}$$

$$z = 879.92\text{mm}$$

$$\text{Sen}\phi = \frac{x}{z}$$

$$\text{Sen}33.94^{\circ} = \frac{x}{879.92}$$

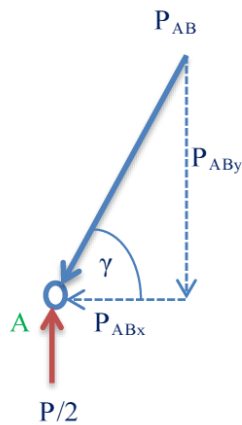
$$x = 491.28\text{mm}$$

$$\gamma = 90^\circ - \phi$$

$$\gamma = 90^\circ - 33.94^\circ$$

$$\gamma = 56.06^\circ$$

Diagrama de cuerpo libre del punto A



$$\text{Sen}\gamma = \frac{P_{AB_y}}{P_{AB}}$$

$$P_{AB_y} = P_{AB} \times \text{Sen}\gamma$$

Sumatoria de fuerzas en y

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$1.35\text{KN} - P_{AB_y} = 0$$

Reemplazamos los datos en la ecuación de las fuerzas y despejamos la fuerza **PAB**

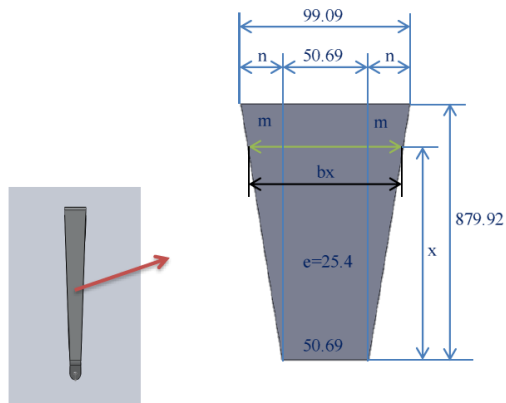
$$P_{AB_y} = 1.35\text{KN}$$

$$P_{AB} \times \text{Sen}\gamma = 1.35\text{KN}$$

$$P_{AB} = \frac{1.35KN}{\text{Sen}56.06^\circ}$$

$$P_{AB} = 1.61KN$$

Cálculo del área de una sección no simétrica



$$A = b_x \times e$$

Donde:

A = Área

Bx = Base a una distancia x

e = Espesor

Calculamos el valor de la constante n para poder calcular el área

$$n = \frac{90.09 - 50.69}{2}$$

$$n = 24.2mm$$

$$\tan \beta = \frac{m}{x} = \frac{24.2}{879.92}$$

$$m = 0.027x$$

$$b_x = 50.69 + 2m$$

$$b_x = 50.69 + 2(0.027x)$$

$$b_x = 50.69 + 0.054x$$

$$A = b_x \times e$$

$$A = (50.69 + 0.054x) \times (25.4)$$

$$A = 1287.53 + 1.37x$$

Cálculo de la deformación

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

$$\delta = \text{Deformación [m]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad [Pa]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

Calculamos el valor de la constante K para poder integrar con facilidad.

$$K = \frac{P_{AB} \times L_{AB}}{E}$$

$$K = \frac{(1.61 \times 10^3 \text{N}) \times (879.92 \times 10^{-3} \text{m})}{72.4 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$K = 1.96 \times 10^{-8} m^3$$

$$K = 19.5 mm^3$$

Calculamos la deformación mediante una integral porque el área no es constante.

$$\delta = \int_0^L \frac{P_{AB} \times L_{AB}}{E \times A} dx$$

$$\delta_{AB} = K \int_0^L \frac{dx}{A}$$

$$\delta_{AB} = K \int_0^L \frac{dx}{1287.53 + 1.37x}$$

$$\delta_{AB} = K [\ln(1287.53 + 1.37x)] \Big|_0^L$$

$$\delta_{AB} = K [\ln(1287.53 + 1.37L) - \ln(1287.53 + 1.37(0))]$$

$$\delta_{AB} = 19.5 [\ln(1287.53 + 1.37(879.92)) - \ln(1287.53 + 1.37(0))]$$

$$\delta_{AB} = 20.94 mm$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P}{A}$$

Donde:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \text{Esfuerzo normal m\acute{a}ximo [Pa]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \int_0^L \frac{P/2}{A} dx$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = P/2 \int_0^L \frac{dx}{A}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = P/2 \int_0^L \frac{dx}{1287.53 + 1.37x}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = P/2 [\ln(1287.53 + 1.37L) - \ln(1287.53 + 1.37(0))]$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 2.650 \times 10^8 Pa$$

Cálculo del factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$n =$ Factor de seguridad [Adimencional]

$\sigma =$ Esfuerzo normal máximo [Pa]

$S_y =$ Esfuerzo de fluencia



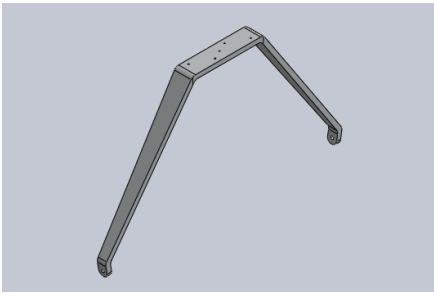
material aleacion de aluminio 2024 – T4[325MPa]

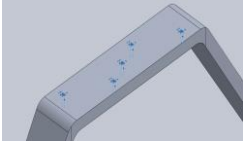
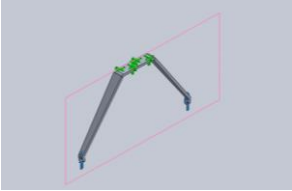
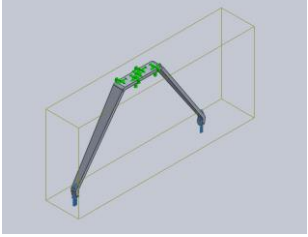
$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$


$$n = 1.02$$

Procedimiento y resultados del estudio realizado al tren 2 con el Material 6061-T6

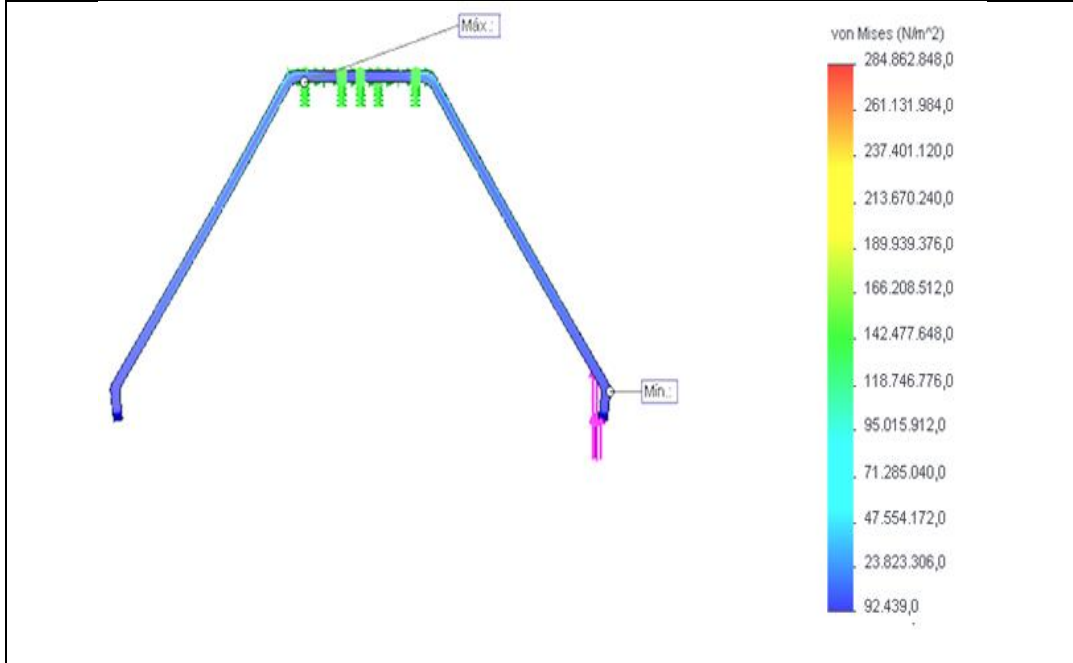
Tabla 4-15 Procedimiento y resultado del estudio realizado al tren 2 (Material 6061-T6).

	<p align="center">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p align="center">FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p align="center">CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>		
<p align="center">PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS</p>			
<p align="center">REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</p>			
<p>Tipo de análisis:</p>		<p>Análisis estático</p>	
<p>Nombre de estudio:</p>		<p>Tren fijo de rodadura bicicleta</p>	
<p align="center">PROCEDIMIENTO</p>			
<p>1. Propiedades volumétricas del modelo</p>			
<p>Masa:</p>	<p>12.288 kg</p>	<p>Densidad:</p>	<p>2700 kg/m³</p>
<p>Volumen:</p>	<p>0.00455113 m³</p>	<p>Peso:</p>	<p>120.423 N</p>
<p align="center">Imagen del modelo</p>			
<div align="center" data-bbox="616 1391 1051 1682">  </div>			
<p>2. Propiedades del material: Aleación de aluminio 6061 T6</p>			
<p>Límite elástico:</p>		<p>6.20422e+008 N/m²</p>	
<p>Límite de tracción:</p>		<p>7.23826e+008 N/m²</p>	

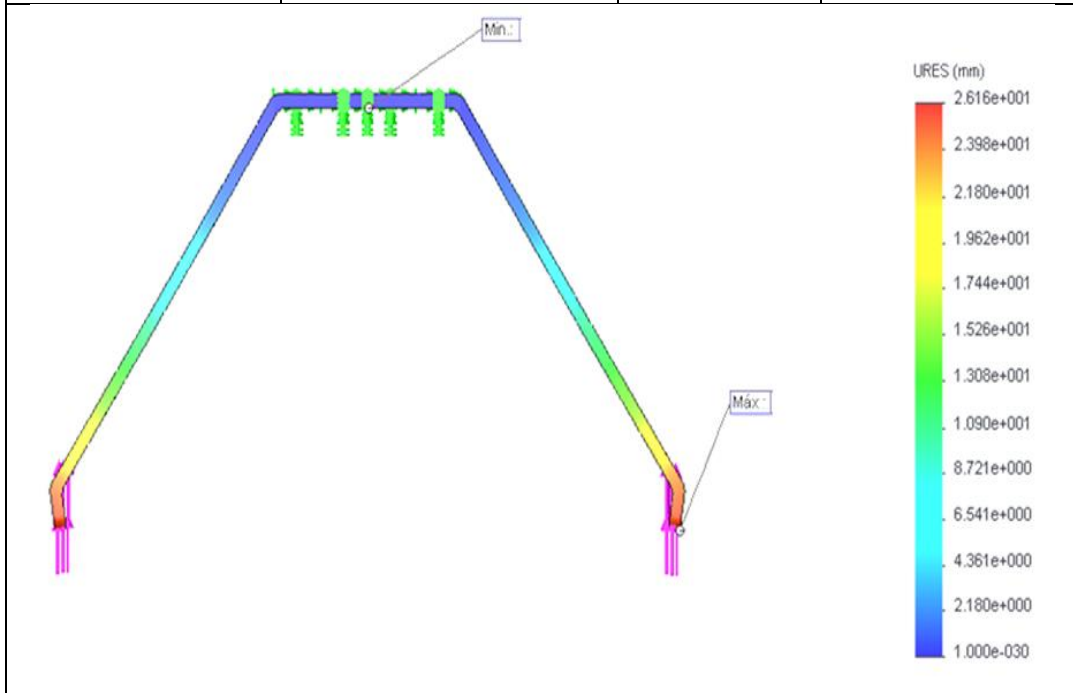
Módulo elástico:	2.1e+011 N/m ²	
Coefficiente de Poisson:	0.28	
Densidad:	7700 kg/m ³	
Módulo cortante:	7.9e+010 N/m ²	
3. Características de la sujeción		
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 5 caras Tipo: Geometría fija
4. Cargas aplicadas al modelo		
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 caras, 1 plano Referencia: Vista lateral Tipo: Aplicar fuerza Valores: 600lbf
5. Condiciones de contacto del modelo		
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente Opciones: Mallado compatible
6. Información de malla		
Tipo de malla	Malla sólida	
Mallador utilizado:	Malla estándar	

Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	13.1769 mm
Tolerancia	0.658846 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	29467
Número total de elementos	17099
Cociente máximo de aspecto	53.122
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.0292
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01
Imagen del mallado del modelo	
	
7. Ejecutar simulación	
8. Análisis de los resultados	

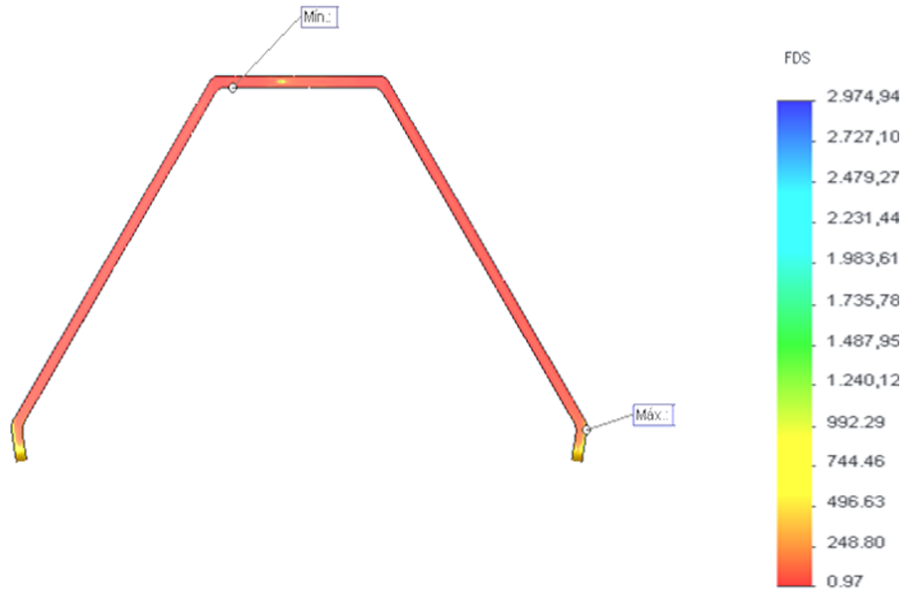
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	92439Pa Nodo: 25180	2,8486e8Pa Nodo: 106



Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0mm Nodo: 11	26,1638mm Nodo: 668

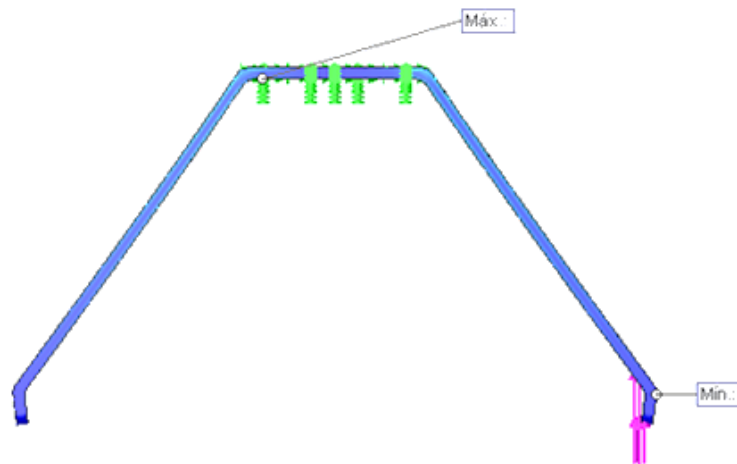


Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 1	Tensión de Von Mises Máximo.	0,97 Nodo: 106	2974,94 Nodo: 25180



Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 2	Tensión de Von Mises Máximo.	0,96537 Nodo: 106	2974,94 Nodo: 25180

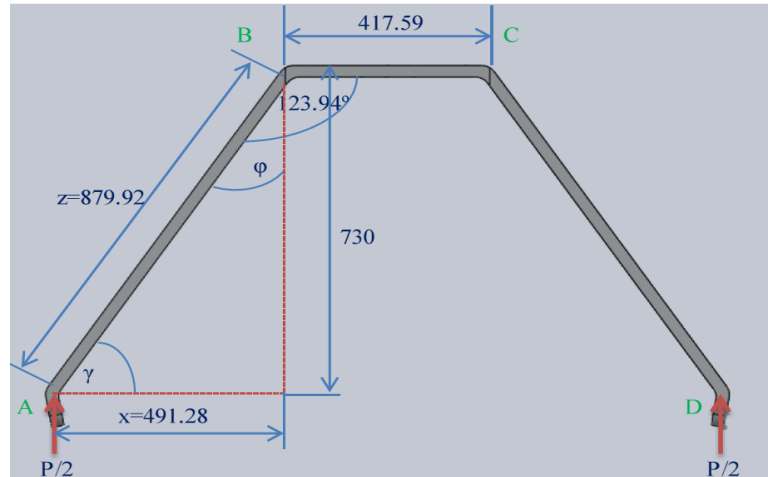
Rojo < FOS = 4 < Azul



Fuente: Autor.

Cálculo analítico de los esfuerzos y deformaciones para el tren 2 (Tren fijo de rodadura bicicleta) con el material de aluminio 6061-T6

Esquema



Cálculo los ángulos

$$\phi = 123.94^\circ - 90^\circ$$

$$\phi = 33.94^\circ$$

$$\cos\phi = \frac{730}{z}$$

$$\cos 33.94^\circ = \frac{730}{z}$$

$$z = 879.92 \text{ mm}$$

$$\sin\phi = \frac{x}{z}$$

$$\sin 33.94^\circ = \frac{x}{879.92}$$

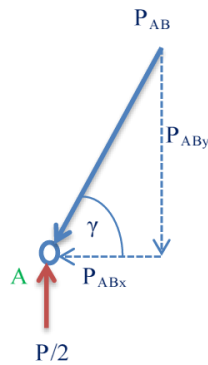
$$x = 491.28 \text{ mm}$$

$$\gamma = 90^\circ - \phi$$

$$\gamma = 90^\circ - 33.94^\circ$$

$$\gamma = 56.06^\circ$$

Diagrama de cuerpo libre del punto A



$$\text{Sen}\gamma = \frac{P_{AB_y}}{P_{AB}}$$

$$P_{AB_y} = P_{AB} \times \text{Sen}\gamma$$

Sumatoria de fuerzas

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$1.335\text{KN} - P_{AB_y} = 0$$

Remplazamos los datos en la ecuación de la sumatoria de fuerza y despejamos el valor de la fuerza PAB

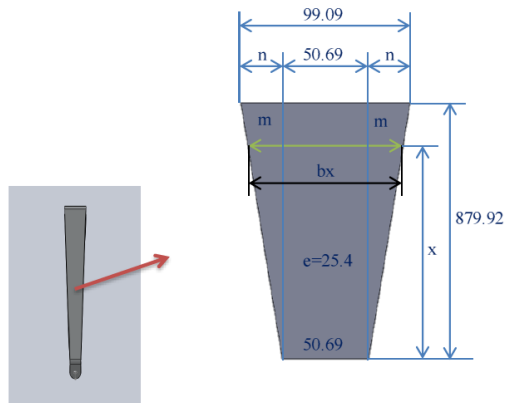
$$P_{AB_y} = 1.335\text{KN}$$

$$P_{AB} \times \text{Sen}\gamma = 1.335\text{KN}$$

$$P_{AB} = \frac{1.335\text{KN}}{\text{Sen}56.06^\circ}$$

$$PAB = 1.61KN$$

Cálculo del área de una sección no simétrica



$$A = b_x \times e$$

Donde:

A = Área

Bx = Base a una distancia x

e = Espesor

Calculamos el valor de la constante n para poder calcular el área

$$n = \frac{90.09 - 50.69}{2}$$

$$n = 24.2mm$$

$$\tan \beta = \frac{m}{x} = \frac{24.2}{879.92}$$

$$m = 0.027x$$

$$b_x = 50.69 + 2m$$

$$b_x = 50.69 + 2(0.027x)$$

$$b_x = 50.69 + 0.054x$$

$$A = b_x \times e$$

$$A = (50.69 + 0.054x) \times (25.4)$$

$$A = 1287.53 + 1.37x$$

Cálculo de la deformación

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

$$\delta = \text{Deformación [m]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad [Pa]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

Calculamos el valor de la constante K para poder integrar con facilidad.

$$K = \frac{P_{AB} \times L_{AB}}{E}$$

$$K = \frac{(1.61 \times 10^3 \text{N}) \times (879.92 \times 10^{-3}) \text{m}}{69 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$K = 2.05 \times 10^{-8} \text{m}^3$$

$$K = 20.5 \text{mm}^3$$

Calculamos la deformación mediante una integral porque el área no es constante.

$$\delta = \int_0^L \frac{P_{AB} \times L_{AB}}{E \times A} dx$$

$$\delta_{AB} = K \int_0^L \frac{dx}{A}$$

$$\delta_{AB} = K \int_0^L \frac{dx}{1287.53 + 1.37x}$$

$$\delta_{AB} = K [\ln(1287.53 + 1.37x)] \Big|_0^L$$

$$\delta_{AB} = K [\ln(1287.53 + 1.37L) - \ln(1287.53 + 1.37(0))]$$

$$\delta_{AB} = 20.5 [\ln(1287.53 + 1.37(879.92)) - \ln(1287.53 + 1.37(0))]$$

$$\delta_{AB} = 19.95mm$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P}{A}$$

Donde:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \text{Esfuerzo normal m\acute{a}ximo [Pa]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \int_0^L \frac{P/2}{A} dx$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = P/2 \int_0^L \frac{dx}{A}$$

$$\sigma_{\text{m}\acute{a}\text{x}} = P/2 \int_0^L \frac{dx}{1287.53 + 1.37x}$$

$$\sigma_{\text{m}\acute{a}\text{x}} = P/2 [\ln(1287.53 + 1.37L) - \ln(1287.53 + 1.37(0))]$$

$$\sigma_{\text{m}\acute{a}\text{x}} = \frac{2670N}{2} \times (0.66)$$

$$\sigma_{\text{m}\acute{a}\text{x}} = 265MPa$$

C\c{a}lculo del factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$n =$ Factor de seguridad [Adimencional]

$\sigma =$ Esfuerzo normal m\c{a}ximo [Pa]

$S_y =$ Esfuerzo de fluencia de la aleacion de aluminio 6061 – T6[275MPa]

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{275.86MPa}{881.1MPa}$$

$$n = 0.89$$

4.1.4.3 Análisis mediante software del tren 3 (Tren fijo de rodadura Biciclo hidráulico)

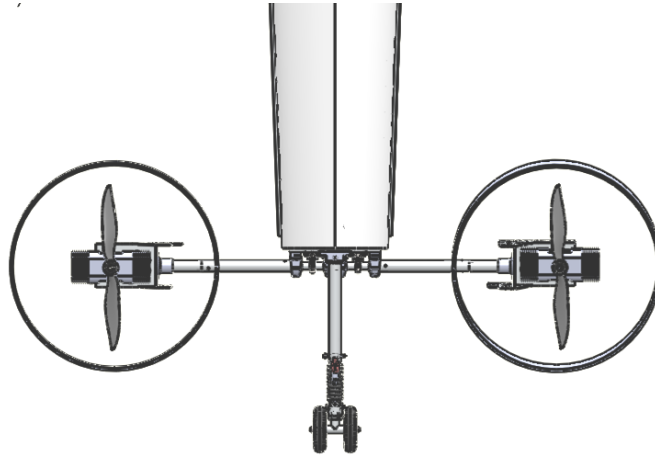


Figura 4-13 Tren 3.

Fuente: Autor

a) Material tren 3.

Para este estudio se realizará dos tipos de análisis el uno con material de aluminio 6061-T6 y el otro con aluminio 2024-T4, debido que en el CIFA E trabajan con estos dos tipos de aluminio de aviación, sus características se encuentran en la Tabla 4.17. Luego del análisis se emitirán criterios para la selección del mejor material.

b) Características técnicas del tren 3.

El diseño propone mejorar el ensamblado a la góndola, con lo cual pretende ser fácil el armado de sus partes, de igual forma pretende reducir las vibraciones de la estructura a los equipos que se encuentran en la góndola, con lo cual se ha visto la necesidad de acoplar un sistema de amortiguación, sus características principales son:

Tabla 4-16 Características técnicas del tren 3.

Descripción	Valor	Unidades	Observación
Material de la estructura. (Eje de 2pulgadas).	N/A	N/A	Construido en aluminio 6061-T6 y 2024-T4
Material de los pernos y tuercas. (M16, M6, M8)	N/A	N/A	Conformados por acero aleado e inoxidable.
Amortiguador ROCO	N/A	N/A	Presurizado con nitrógeno.
Resorte (Lo= 165mm, De=65mm, d=12mm)	N/A	N/A	Para soportar 500lb de presión.
Peso de la estructura	6,19	kg	Incluido los pernos, tuercas, arandelas, ejes de las ruedas.
Peso de las ruedas	4	kg	Conformado por dos ruedas, rodamientos, las mismas que se encuentran inflados.
Peso total de tren	10,19	kg	

Fuente: Autor.

c) Parámetros expuestos para el análisis del tren 3.

Se detalla el material con el cual está construido, la carga que se va aplicar o el peso que está soportando, las dimensiones principales como son alto, ancho y largo, las mismas que se encuentran en unidades milimétricas.

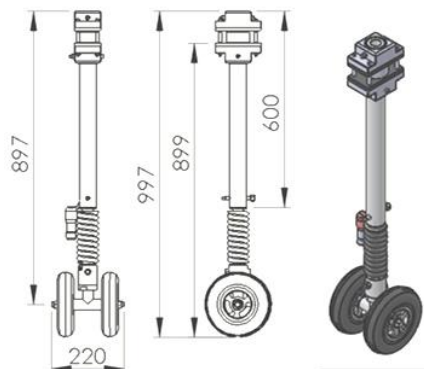


Figura 4-14 Dimensiones generales del Tren 3.

Fuente: Autor

Tabla 4-17 **Parámetros para el análisis del tren 3.**



Parámetros	Descripción	Observación
Material.	6061-T6	El material es con el cual el tren 2 se pretende construir
Límite elástico.	2,75e8 Pa	
Límite de tracción.	3,1e8Pa	
Modulo elástico.	6,9e10Pa	
Material.	2024-T4	El material es con el cual el tren 2 se pretende construir
Límite elástico.	325e8 Pa	
Límite de tracción.	4,7e8Pa	
Modulo elástico.	7,24e10Pa	
Carga a soportar.	500lb	Se aplicó una carga de 600lb debido a las cargas adicionales que requieran subir al dirigible.
Alto.	899mm	Corresponde del piso al borde de la góndola.
Largo.	220mm	Tomadas del extremos de las ruedas.
Área de sujeción.	80x140mm	Es la superficie en el cual se anclará la estructura de la góndola.

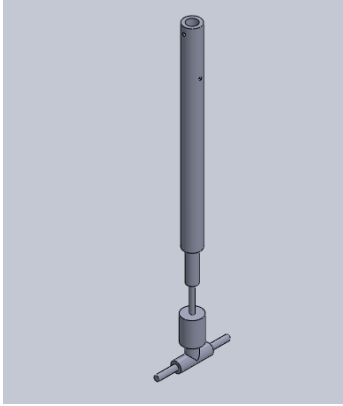
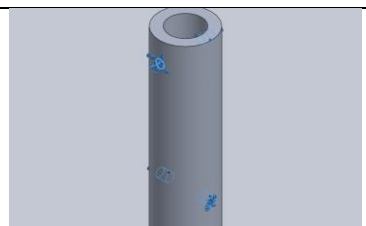
Fuente: Autor.

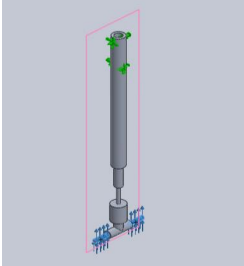
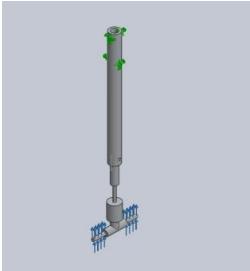
Debido al complejo modelo del tren, para el análisis se debe simplificar ya que al no hacerlo el análisis puede demorar mucho tiempo, además como es un tren fijo biciclo hidráulico, se aplicó toda la carga debido a que el tren soporta todo el peso que se encuentra en la góndola, el proceso de análisis es el citado a continuación:

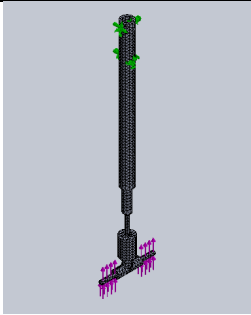
d) Procedimiento para realizar la simulación mediante el método de elementos finitos para el tren 3 (Material 2024-T4).

Tabla 4-18 **Procedimiento para el análisis del tren 3 (Material 2024-T4).**

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>	
-------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS			
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de análisis:		Análisis estático	
Nombre de estudio:		Tren fijo de rodadura Biciclo hidráulico	
PROCEDIMIENTO			
1. Propiedades volumétricas del modelo			
Masa:	3.29264 kg	Densidad:	2700 kg/m ³
Volumen:	0.0012195 m ³	Peso:	32.2679 N
Imagen del modelo			
			
2. Propiedades del material: Aleación de aluminio 2024 T4			
Límite elástico:		325MPa	
Límite de tracción:		470MPa	
Módulo elástico:		72000MPa	
Coeficiente de Poisson:		0.33	
Densidad:		7700 kg/m ³	
Módulo cortante:		26000MPa	
3. Características de la sujeción			
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción	
Fijo-1		Entidades: 1 arista(s), 3 cara(s) Tipo: Geometría fija	

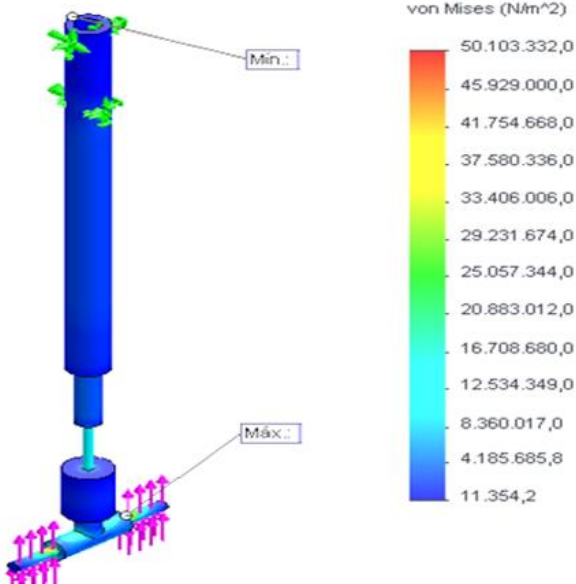
4. Cargas aplicadas al modelo		
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 caras, 1 plano Referencia: Vista lateral Tipo: Aplicar fuerza Valores: 600 lbf
5. Condiciones de contacto del modelo		
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto global		Tipo: GAP nodo-a-nodo Componentes: 1 componente(s)
6. Información de malla		
Tipo de malla	Malla sólida	
Mallador utilizado:	Malla estándar	
Transición automática:	Desactivar	
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar	
Puntos jacobianos	4 Puntos	
Tamaño de elementos	10.6509 mm	
Tolerancia	0.532544 mm	
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden	
Número total de nodos	15681	
Número total de elementos	8631	
Cociente máximo de aspecto	6.277	
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97.7	

% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.0292
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01
Imagen del mallado del modelo	
	
7. Ejecutar simulación	
8. Análisis de los resultados	

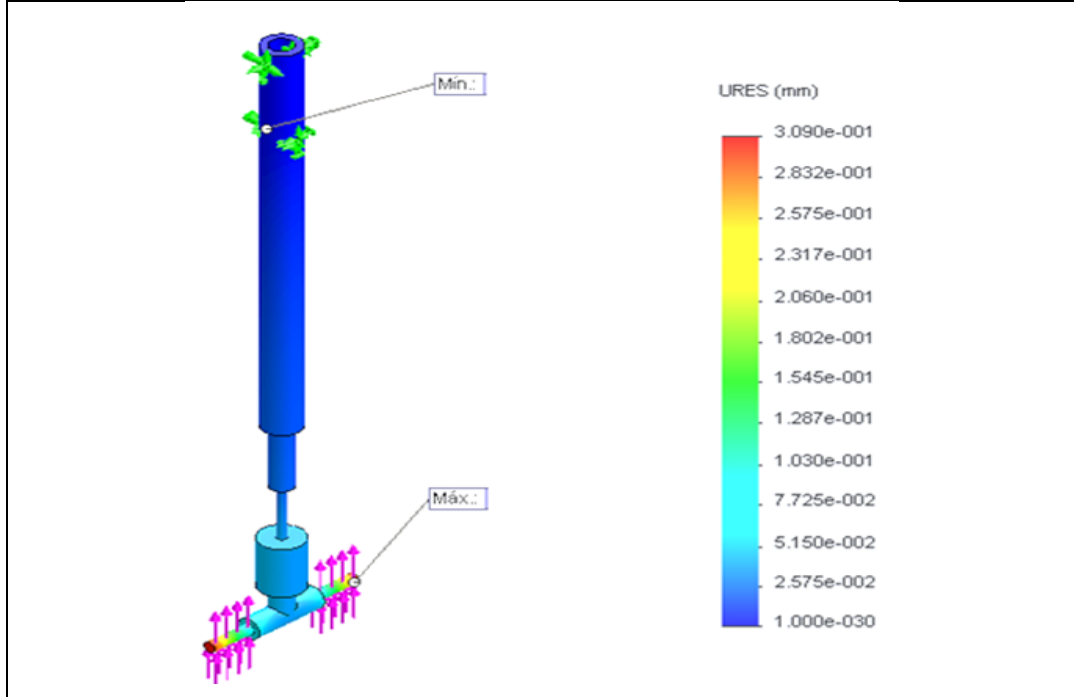
Fuente: Autor.

e) Resultados del estudio realizado al tren 3 (Material 2024-T4).

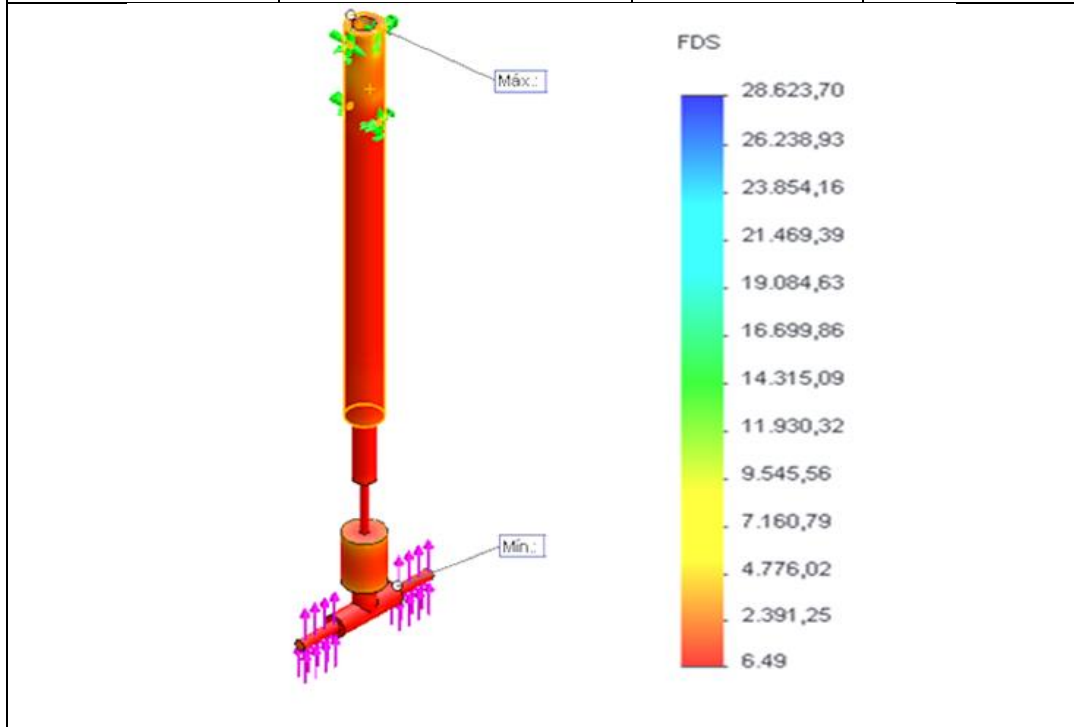
Tabla 4-19 Resultado del estudio realizado al tren 3 (Material 2024-T4).

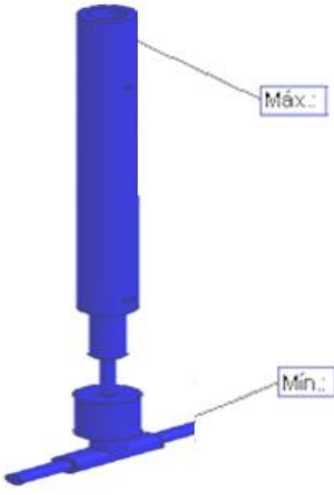
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	11354,2Pa Nodo: 4392	5,01033e7Pa Nodo: 13471
			

Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0mm Nodo: 152	0,308993mm Nodo: 4615



Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 1	Tensión de Von Mises Máximo.	6,48659 Nodo: 13471	28623,7 Nodo: 4392

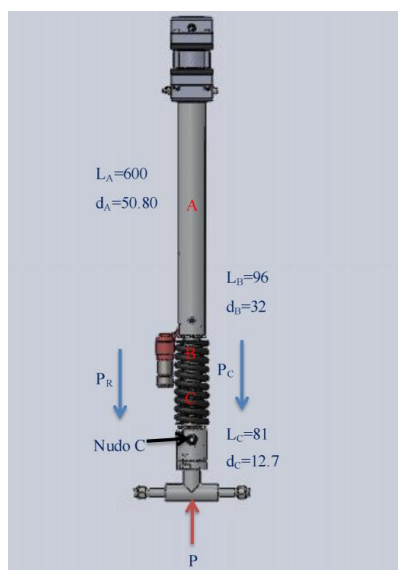


Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 2	Tensión de Von Mises Máximo.	6,48659 Nodo: 13471	28623,7 Nodo: 4392
Rojo < FOS = 4 < Azul			
			

Fuente: Autor.

f) Cálculo analítico de los esfuerzos y deformaciones para el tren 3 (tren fijo de rodadura bicicleta) con el material de aluminio 2024-T4

Diagrama de cuerpo libre



Cálculo de la fuerza aplicada del resorte con el material de titanio

$$\tau = \frac{k_s \times 8 \times P \times D}{\pi d^3}$$

$$P = \frac{\pi d^3 \times \tau}{8 \times k_s \times D}$$

$$\tau = \text{Resistencia de tensión } (900 \frac{N}{mm^2})$$

d = diametro del alambre del resorte (12mm)

D = Diametro primitivo del resorte(26.5mm)

P = Carga aplicada (N)

Ks = Factor de corrección de Wahl

Fórmula para calcular el factor de corrección de Wahl

$$K_s = 1 + \frac{0.5}{C}$$

$$\text{Indice del resorte: } C = \frac{D}{d}$$

$$K_s = 1 + \frac{0.5}{\frac{26.5}{12}}$$

$$K_s = 1.23$$

Fuerza del resorte

$$P_R = \frac{\pi d^3 \times \tau}{8 \times k_s \times D}$$

$$P_R = \frac{\pi \times (12 \times 10^{-3})^3 \times 900 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}{8 \times (26.5 \times 10^{-3}m) \times (1.23)}$$

$$P_R = 18.74KN$$

Sumatoria de fuerzas en el punto C es el lugar más crítico del tren de aterrizaje

$$+\uparrow \sum Fy = 0$$

$$2.67KN - P_R - P_C = 0$$

Reemplazamos los valores y despejamos la fuerza P_C

$$P_C = 2.67KN - P_R$$

$$P_C = 2.67KN - 18.74KN$$

$$P_C = -16.07KN$$

Cálculo del área de una sección circular maciza

$$A = \pi r^2$$

Donde:

$$A = Area [m^2]$$

$$r^2 = Radio [m]$$

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi \left(\frac{12.7}{2} \right)^2$$

$$A = 126.68mm^2$$

$$A = 1.27 \times 10^{-4}m^2$$

Cálculo de la deformación

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

$$\delta = \text{Deformación [m]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad [Pa]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

Reemplazamos los datos en la ecuación de la deformación

$$\delta = \frac{P_C \times L_C}{E \times A_C}$$

$$\delta = \frac{(16.07 \times 10^3 \text{N}) \times (81 \times 10^{-3} \text{m})}{(72.4 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}) \times (1.27 \times 10^{-4} \text{m}^2)}$$

$$\delta = 1.42 \times 10^{-4} \text{m}$$

$$\delta = 0.26 \text{mm}$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{P}{A}$$

Donde:

$$\sigma_{\text{máx}} = \text{Esfuerzo normal máximo [Pa]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$A = \text{Area[m}^2\text{]}$$

$$\sigma_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = \frac{2670\text{N}}{(1.27 \times 10^{-4}\text{m}^2)}$$

$$\sigma_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = 39.8\text{MPa}$$

Cálculo del factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$$n = \text{Factor de seguridad [Adimencional]}$$

$$\sigma = \text{Esfuerzo normal m}\acute{\text{a}}\text{ximo [Pa]}$$

$$S_y = \text{Esfuerzo de fluencia de la aleacion de aluminio 2024 – T4[325MPa]}$$



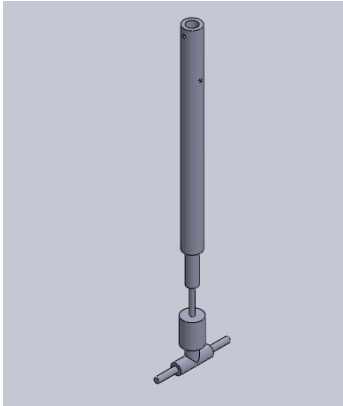
$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

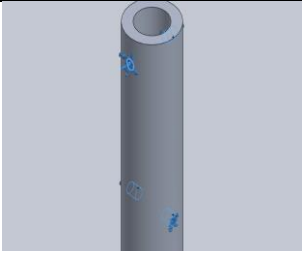
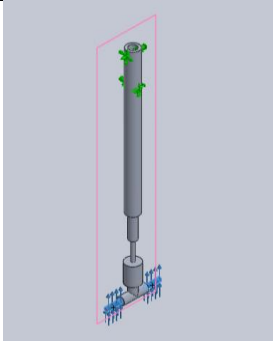
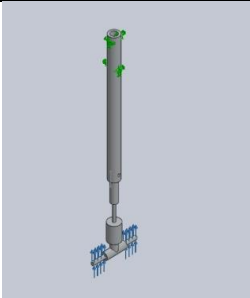
$$n = \frac{325\text{MPa}}{21.02\text{MPa}}$$

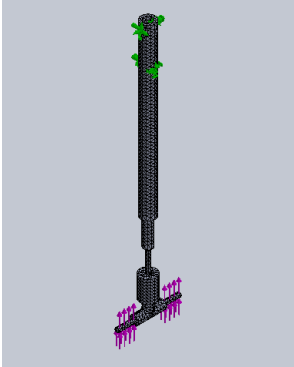
$$n = 7.06$$

Procedimiento y resultados del estudio realizado al tren 3 (Material 6061-T6)

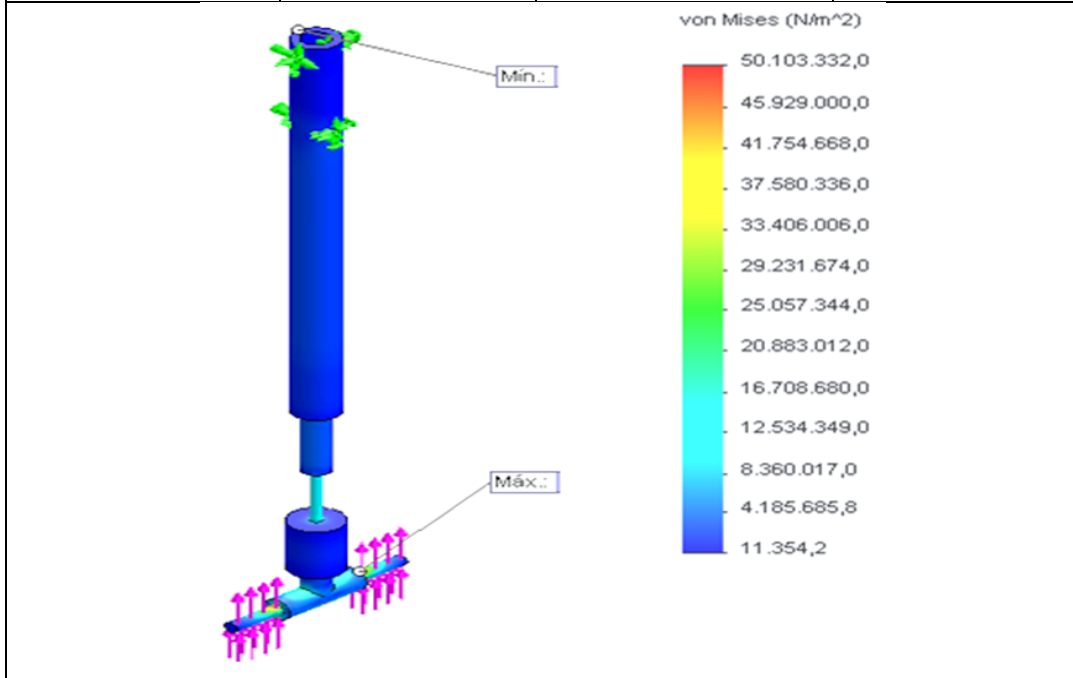
Tabla 4-20 procedimiento y resultado del estudio realizado al tren 3 (Material 6061-T6).

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>		
<p>PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS</p>			
<p>REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</p>			
<p>Tipo de análisis:</p>	<p>Análisis estático</p>		
<p>Nombre de estudio:</p>	<p>Tren fijo de rodadura Biciclo hidráulico</p>		
<p>PROCEDIMIENTO</p>			
<p>1. Propiedades volumétricas del modelo</p>			
<p>Masa:</p>	<p>3.29264 kg</p>	<p>Densidad:</p>	<p>2700 kg/m³</p>
<p>Volumen:</p>	<p>0.0012195 m³</p>	<p>Peso:</p>	<p>32.2679 N</p>
<p>Imagen del modelo</p>			
			
<p>2. Propiedades del material: Aleación de aluminio 6061 T6</p>			
<p>Límite elástico:</p>		<p>6.20422e+008 N/m²</p>	

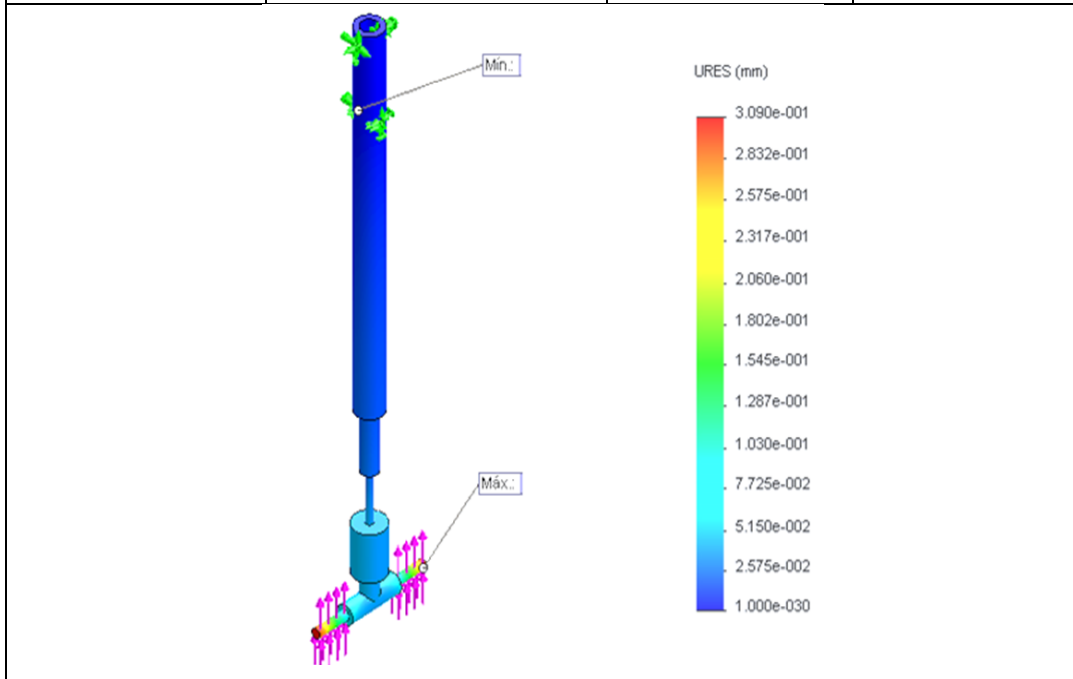
Límite de tracción:	7.23826e+008 N/m ²	
Módulo elástico:	2.1e+011 N/m ²	
Coefficiente de Poisson:	0.28	
Densidad:	7700 kg/m ³	
Módulo cortante:	7.9e+010 N/m ²	
3. Características de la sujeción		
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 1 arista, 3 cara Tipo: Geometría fija
4. Cargas aplicadas al modelo		
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 caras, 1 plano Referencia: Vista lateral Tipo: Aplicar fuerza Valores: 600 lbf
5. Condiciones de contacto del modelo		
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto global		Tipo: GAP nodo-a-nodo Componentes: 1 componente

6. Información de malla	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	10.6509 mm
Tolerancia	0.532544 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	15681
Número total de elementos	8631
Cociente máximo de aspecto	6.277
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97.7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.0292
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01
Imagen del mallado del modelo	
	
7. Ejecutar simulación	
8. Análisis de los resultados	

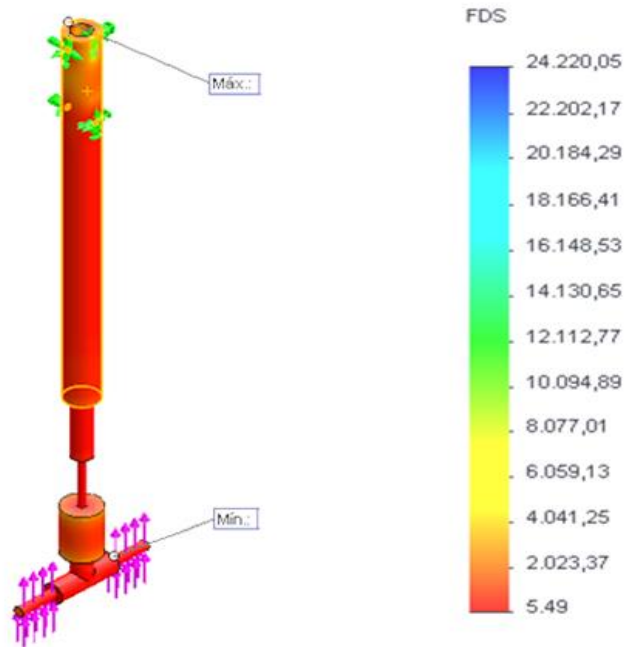
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	11354,2Pa Nodo: 4392	5,01033e7Pa Nodo: 13471



Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0mm Nodo: 152	0,308993mm Nodo: 4615

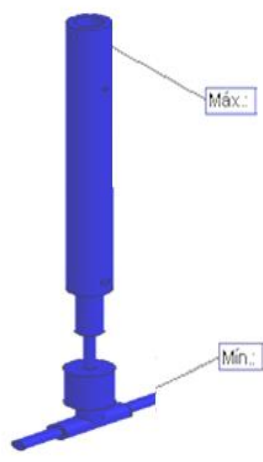


Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 1	Tensión de Von Mises Máximo.	5,48866 Nodo: 13471	24220 Nodo: 4392



Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 2	Tensión de Von Mises Máximo.	5,48866 Nodo: 13471	24220 Nodo: 4392

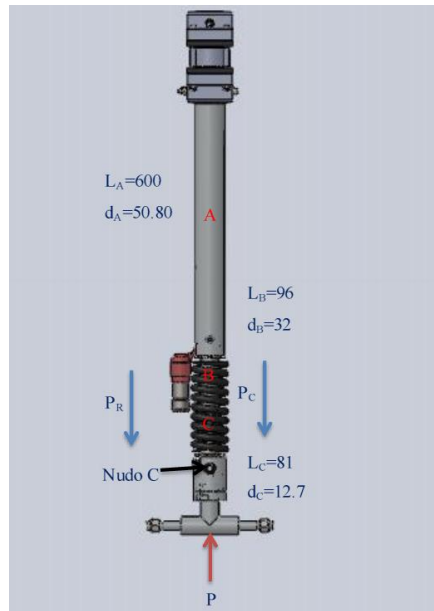
Rojo < FOS = 4 < Azul



Fuente: Autor.

Cálculo analítico de los esfuerzos y deformaciones para el tren 3 (tren fijo de rodadura bicicleta) con el material de aluminio 6061-T6

Diagrama de cuerpo libre



Cálculo de la fuerza aplicada del resorte con el material de titanio

$$\tau = \frac{ks \times 8 \times P \times D}{\pi d^3}$$

$$P = \frac{\pi d^3 \times \tau}{8 \times ks \times D}$$

$$\tau = \text{Resistencia de tensión } (900 \frac{N}{mm^2})$$

$$d = \text{diametro del alambre del resorte (12mm)}$$

$$D = \text{Diametro primitivo del resorte (26.5mm)}$$

$$P = \text{Carga aplicada (N)}$$

$$Ks = \text{Factor de corrección de Wahl}$$

Fórmula para calcular el factor de corrección de Wahl

$$K_s = 1 + \frac{0.5}{C}$$

$$\text{Indice del resorte: } C = \frac{D}{d}$$

$$K_s = 1 + \frac{0.5}{\frac{26.5}{12}}$$

$$K_s = 1.23$$

Fuerza del resorte

$$P_R = \frac{\pi d^3 \times \tau}{8 \times k_s \times D}$$

$$P_R = \frac{\pi \times (12 \times 10^{-3})^3 \times 900 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}{8 \times (26.5 \times 10^{-3} m) \times (1.23)}$$

$$P_R = 18.74 KN$$

Sumatoria de fuerzas en el punto C es el lugar más crítico del tren de aterrizaje

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$2.67 KN - P_R - P_C = 0$$

Reemplazamos los valores y despejamos la fuerza P_C

$$P_C = 2.67 KN - P_R$$

$$P_C = 2.67 KN - 18.74 KN$$

$$P_c = -16.07KN$$

Cálculo del área de una sección circular maciza

$$A = \pi r^2$$

Donde:

$$A = Area [m^2]$$

$$r^2 = Radio [m]$$

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi \left(\frac{12.7}{2} \right)^2$$

$$A = 126.68mm^2$$

$$A = 1.27 \times 10^{-4}m^2$$

Cálculo de la deformación

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

$$\delta = Deformación [m]$$

$$P = Fuerza [N]$$

$$L = Longitud [m]$$

$$E = Modulo de elasticidad [Pa]$$

$$A = Area[m^2]$$

Reemplazamos los datos en la ecuación de la deformación

$$\delta = \frac{P_C \times L_C}{E \times A_C}$$

$$\delta = \frac{(16.07 \times 10^3 N) \times (81 \times 10^{-3} m)}{(96 \times 10^9 \frac{N}{m^2}) \times (1.27 \times 10^{-4} m^2)}$$

$$\delta = 1.068 \times 10^{-4} m$$

$$\delta = 0.28 mm$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P}{A}$$

Donde:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \text{Esfuerzo normal m\acute{a}ximo [Pa]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{2670 N}{(1.27 \times 10^{-4} m^2)}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 42.52 MPa$$

Cálculo del factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$n = \text{Factor de seguridad [Adimensional]}$

$\sigma = \text{Esfuerzo normal máximo [Pa]}$

$S_y = \text{Esfuerzo de fluencia de la aleacion de aluminio 6061}$
 $- T6[275.86MPa]$

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{275.86MPa}{21.02MPa}$$

$$n = 6.58$$

4.1.4.4 Análisis mediante software del tren 4 (Tren fijo de rodadura triciclo hidráulico)



Figura 4-15 **Tren 4.**

Fuente: Autor

a) Material utilizado.

Para este estudio se realizará dos tipos de análisis el uno con material de aluminio 6061-T6 y el otro con aluminio 2024-T4, debido que en el CFAE trabajan con estos dos tipos de aluminio de aviación, sus propiedades se encuentran

especificadas en la Tabla 4.11 luego del análisis se emitirán criterios para la selección del mejor material.

b) Características técnicas del tren 4.

El diseño propone mejorar el ensamblado a la góndola, con lo cual pretende ser fácil el armado de sus partes, este tipo de sistema tiene un particular característica que es la combinación del tren 2 con el tren 3 proporcionando al dirigible una estabilidad pero al mismo tiempo este sistema es más pesado, sus características principales se encuentran especificados en la Tabla 4.12 y Tabla 4.17 correspondiente al tren 2 y al tren 3 respectivamente.

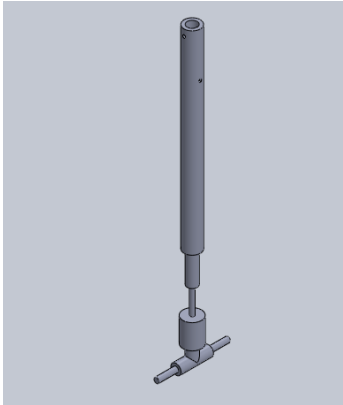
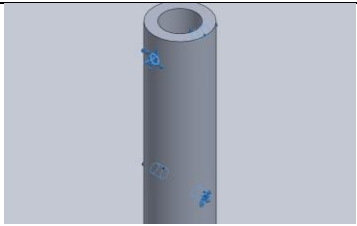
c) Parámetros expuestos para el análisis del tren 4.

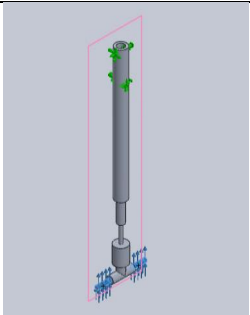
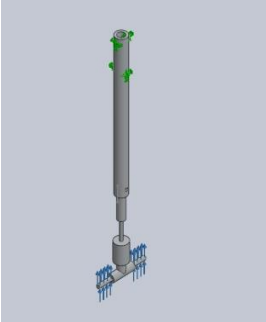
Se detalla el material con el cual está construido, la carga que se va aplicar o el peso que está soportando, las dimensiones principales como son alto, ancho y largo se encuentran especificado en la Tabla 4.12 y Tabla 4.17 Correspondiente al tren 2 y al tren 3 respectivamente.

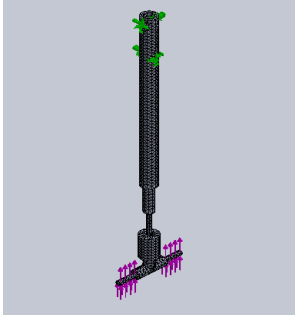
d) Procedimiento para realizar la simulación mediante el método de elementos finitos para tren 4 (Material 2024-T4).

Tabla 4-21 Procedimiento para el análisis del tren 4 (Material 2024-T4).

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS		
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS		
Tipo de análisis:	Análisis estático	
Nombre de estudio:	Tren fijo de rodadura triciclo hidráulico	
PROCEDIMIENTO		

1. Propiedades volumétricas del modelo			
Masa:	3.29264 kg	Densidad:	2700 kg/m ³
Volumen:	0.0012195 m ³	Peso:	32.2679 N
Imagen del modelo			
			
2. Propiedades del material: Aleación de aluminio 2024 T4			
Límite elástico:		325MPa	
Límite de tracción:		470MPa	
Módulo elástico:		72000MPa	
Coeficiente de Poisson:		0.33	
Densidad:		7700 kg/m ³	
Módulo cortante:		26000MPa	
3. Características de la sujeción			
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción	
Fijo-1		Entidades: 1 arista, 3 cara Tipo: Geometría fija	
4. Cargas aplicadas al modelo			
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	

Fuerza-1		Entidades: 2 caras, 1 plano Referencia: Vista lateral Tipo: Aplicar fuerza Valores: 300 lbf
5. Condiciones de contacto del modelo		
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto global		Tipo: GAP nodo-a-nodo Componentes: 1 componente
6. Información de malla		
Tipo de malla	Malla sólida	
Mallador utilizado:	Malla estándar	
Transición automática:	Desactivar	
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar	
Puntos jacobianos	4 Puntos	
Tamaño de elementos	10.6509 mm	
Tolerancia	0.532544 mm	
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden	
Número total de nodos	15681	
Número total de elementos	8631	
Cociente máximo de aspecto	6.277	
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97.7	
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.0292	
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0	

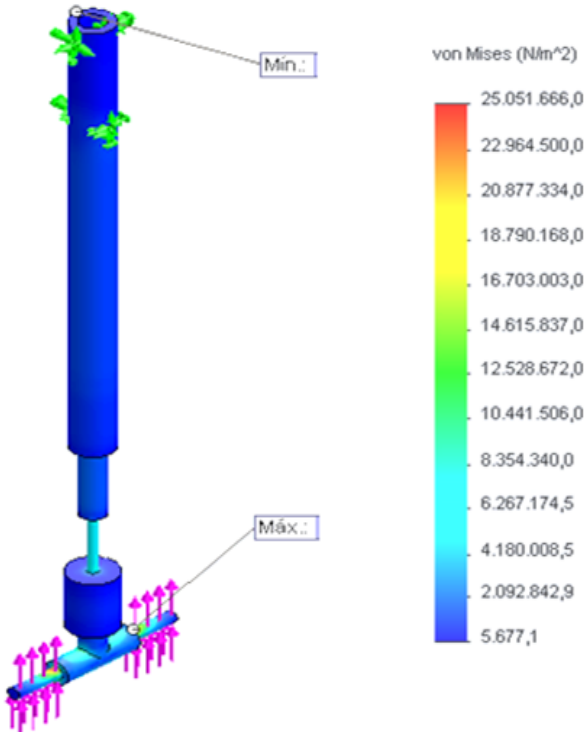
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01
Imagen del mallado del modelo	
	
7. Ejecutar simulación	
8. Análisis de los resultados	

Fuente: Autor

e) Resultados del estudio realizado al tren 4 (Material 2024-T4).

Tabla 4-22 Resultado del estudio realizado al tren 4 (Material 2024-T4).

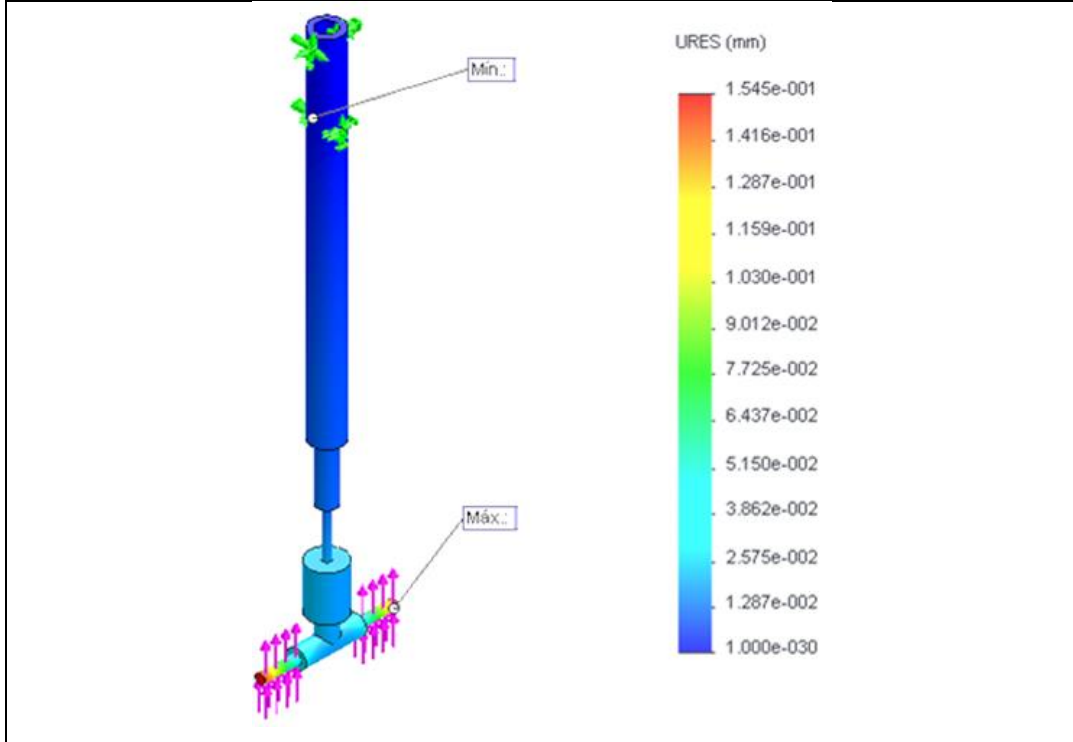
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	5677,11Pa Nodo: 4392	2,50517e7Pa Nodo: 13471



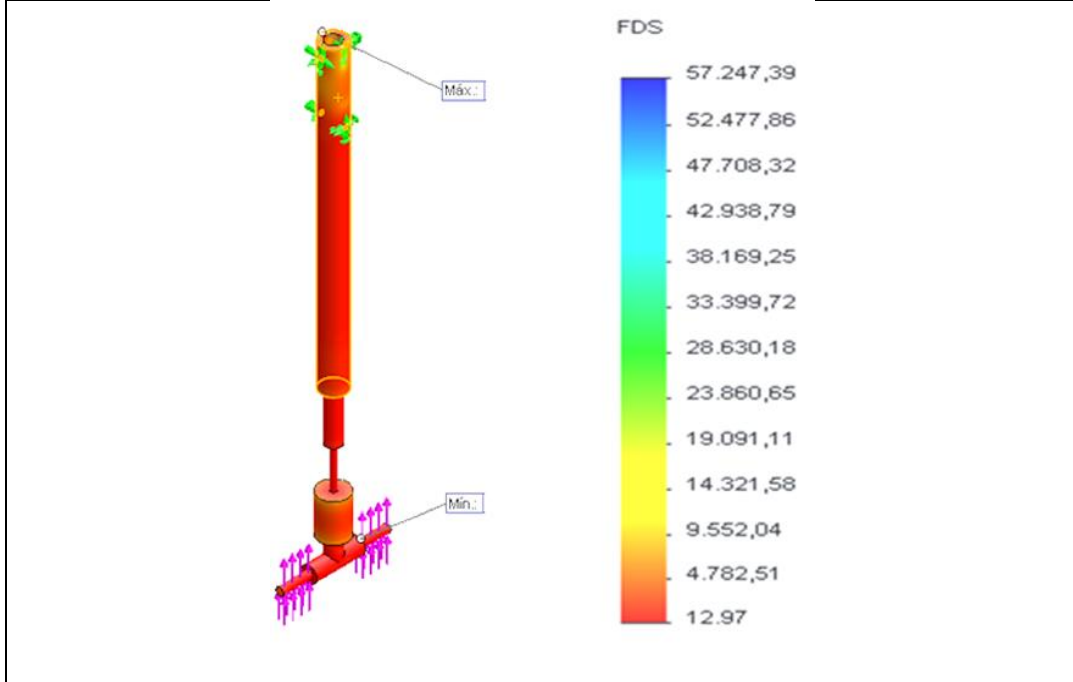
von Mises (N/m²)

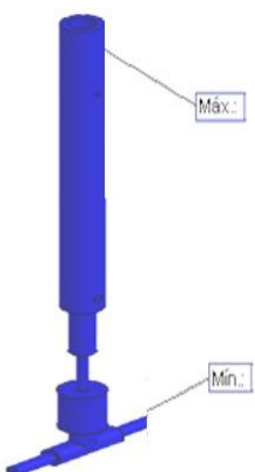
- 25.051.666,0
- 22.964.500,0
- 20.877.334,0
- 18.790.168,0
- 16.703.003,0
- 14.615.837,0
- 12.528.672,0
- 10.441.506,0
- 8.354.340,0
- 6.267.174,5
- 4.180.008,5
- 2.092.842,9
- 5.677,1

Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0mm Nodo: 11	0,15449mm Nodo: 4615



Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 1	Tensión de Von Mises Máximo.	12,9732 Nodo: 13471	57247,4 Nodo: 4392

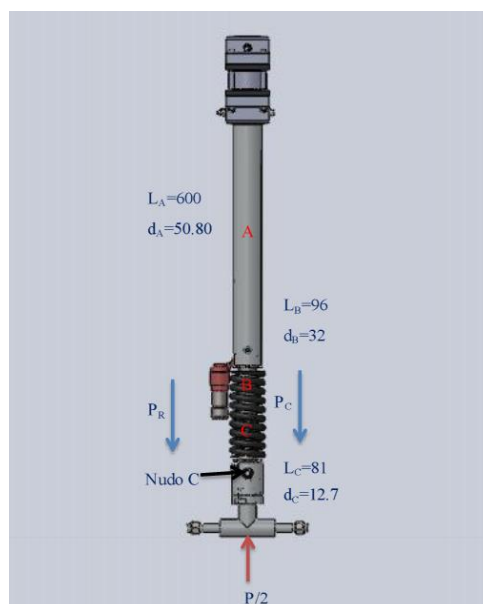


Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 2	Tensión de Von Mises Máximo.	12,9732 Nodo: 13471	57247,4 Nodo: 4392
Rojo < FOS = 4 < Azul			
			

Fuente: Autor.

f) Cálculo analítico del esfuerzo y deformación realizado al tren 4 (Material 2024-T4)

Diagrama de cuerpo libre



Cálculo de la fuerza aplicada del resorte con el material de titanio

$$\tau = \frac{k_s \times 8 \times P \times D}{\pi d^3}$$

$$P = \frac{\pi d^3 \times \tau}{8 \times k_s \times D}$$

$$\tau = \text{Resistencia de tensión } (900 \frac{N}{mm^2})$$

d = diametro del alambre del resorte (12mm)

D = Diametro primitivo del resorte(26.5mm)

P = Carga aplicada (N)

Ks = Factor de corrección de Wahl

Fórmula para calcular el factor de corrección de Wahl

$$K_s = 1 + \frac{0.5}{C}$$

$$\text{Indice del resorte: } C = \frac{D}{d}$$

$$K_s = 1 + \frac{0.5}{\frac{26.5}{12}}$$

$$K_s = 1.23$$

Fuerza del resorte

$$P_R = \frac{\pi d^3 \times \tau}{8 \times k_s \times D}$$

$$P_R = \frac{\pi \times (12 \times 10^{-3})^3 \times 900 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}{8 \times (26.5 \times 10^{-3} m) \times (1.23)}$$

$$P_R = 18.74 KN$$

Sumatoria de fuerzas en el punto C es el lugar más crítico del tren de aterrizaje

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$1.335 KN - P_R - P_C = 0$$

Reemplazamos los valores y despejamos la fuerza P_C

$$P_C = 1.335 KN - P_R$$

$$P_C = 1.335 KN - 18.74 KN$$

$$P_C = -17.4 KN$$

Cálculo del área de una sección circular maciza

$$A = \pi r^2$$

Donde:

$$A = Area [m^2]$$

$$r^2 = Radio [m]$$

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi \left(\frac{12.7}{2} \right)^2$$

$$A = 126.68 mm^2$$

$$A = 1.27 \times 10^{-4} m^2$$

Cálculo de la deformación

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

$$\delta = \text{Deformación [m]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad [Pa]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

Reemplazamos los datos en la ecuación de la deformación

$$\delta = \frac{P_C \times L_C}{E \times A_C}$$

$$\delta = \frac{(17.4 \times 10^3 N) \times (81 \times 10^{-3} m)}{(72.4 \times 10^9 \frac{N}{m^2}) \times (1.27 \times 10^{-4} m^2)}$$

$$\delta = 1.53 \times 10^{-4} m$$

$$\delta = 0.15 mm$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P}{A}$$

Donde:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \text{Esfuerzo normal m\acute{a}ximo [Pa]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{2670N}{(1.27 \times 10^{-4}m^2)}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 21.02MPa$$

C\`{a}lculo del factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$$n = \text{Factor de seguridad [Adimencional]}$$

$$\sigma = \text{Esfuerzo normal m\acute{a}ximo [Pa]}$$

$$S_y = \text{Esfuerzo de fluencia de la aleacion de aluminio 2024 - T4 [325MPa]}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

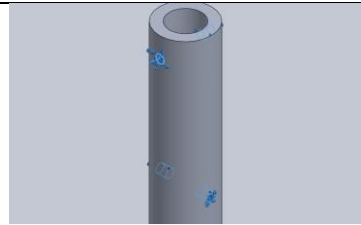
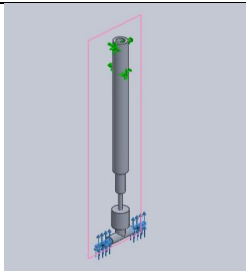

$$n = \frac{325MPa}{21.02MPa}$$

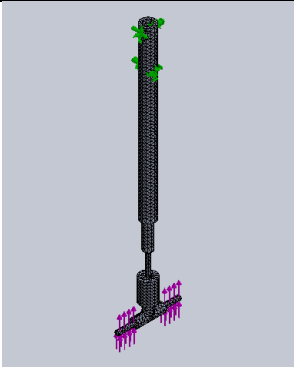
$$n = 13.6$$

Procedimiento para realizar la simulación mediante el método de elementos finitos para el tren 4 (Material 6061-T6)

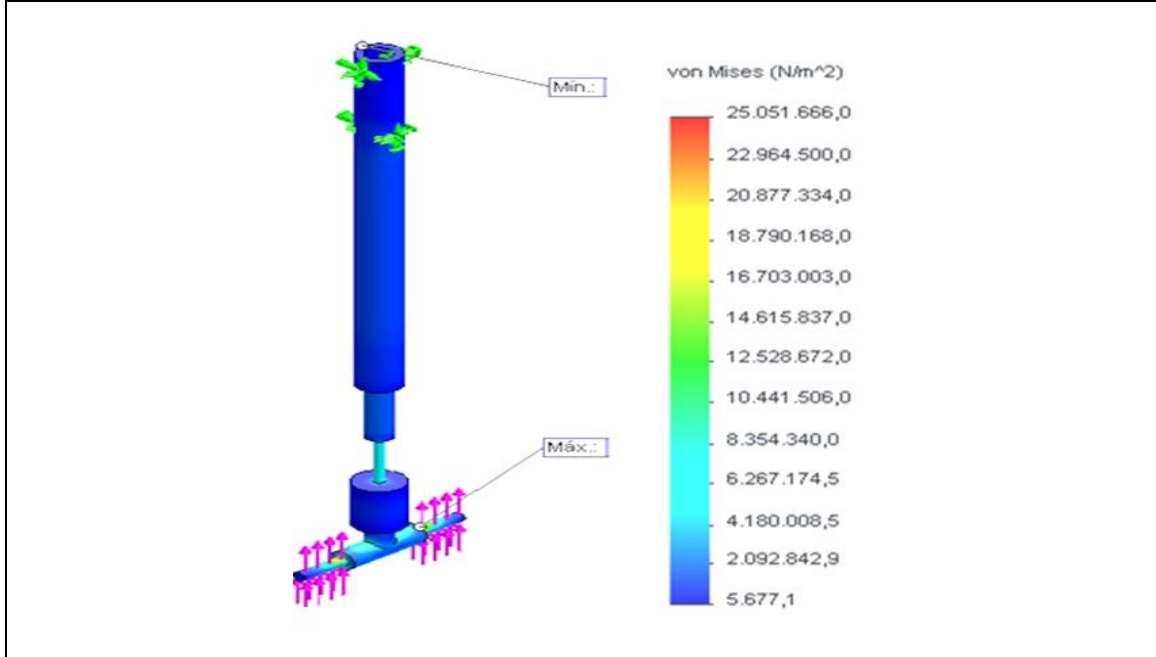
Tabla 4-23 Procedimiento y resultado del estudio realizado al tren 4 (Material 6061-T6).

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>		
<p>PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS</p>			
<p>REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</p>			
<p>Tipo de análisis:</p>	<p>Análisis estático</p>		
<p>Nombre de estudio:</p>	<p>Tren fijo de rodadura triciclo hidráulico</p>		
<p>PROCEDIMIENTO</p>			
<p>1. Propiedades volumétricas del modelo</p>			
<p>Masa:</p>	<p>3.29264 kg</p>	<p>Densidad:</p>	<p>2700 kg/m³</p>
<p>Volumen:</p>	<p>0.0012195 m³</p>	<p>Peso:</p>	<p>32.2679 N</p>
<p>Imagen del modelo</p>			
			
<p>2. Propiedades del material: Aleación de aluminio 6061 T6</p>			

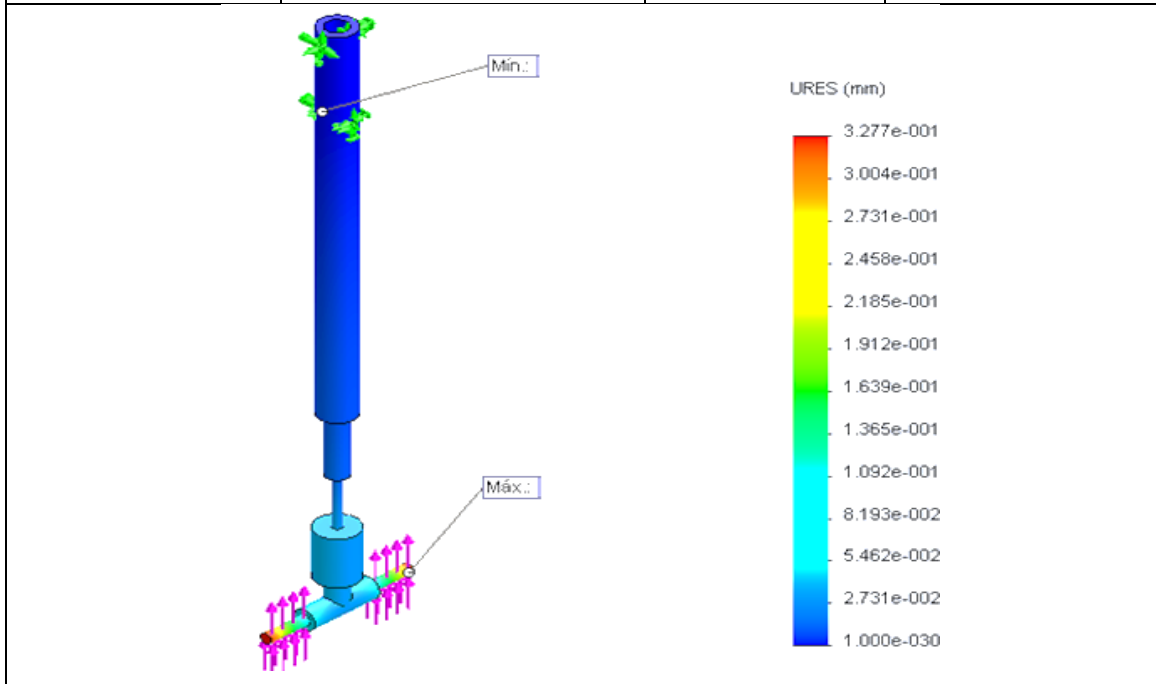
Límite elástico:	6.20422e+008 N/m ²	
Límite de tracción:	7.23826e+008 N/m ²	
Módulo elástico:	2.1e+011 N/m ²	
Coefficiente de Poisson:	0.28	
Densidad:	7700 kg/m ³	
Módulo cortante:	7.9e+010 N/m ²	
3. Características de la sujeción		
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 1 arista(s), 3 cara(s) Tipo: Geometría fija
4. Cargas aplicadas al modelo		
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 caras, 1 plano Referencia: Vista lateral Tipo: Aplicar fuerza Valores: 300 lbf
5. Condiciones de contacto del modelo		
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto global		Tipo: GAP nodo-a-nodo Componentes: 1 componente
6. Información de malla		

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	10.6509 mm
Tolerancia	0.532544 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	15681
Número total de elementos	8631
Cociente máximo de aspecto	6.277
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97.7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.0292
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01
Imagen del mallado del modelo	
	
7. Ejecutar simulación	
8. Análisis de los resultados	

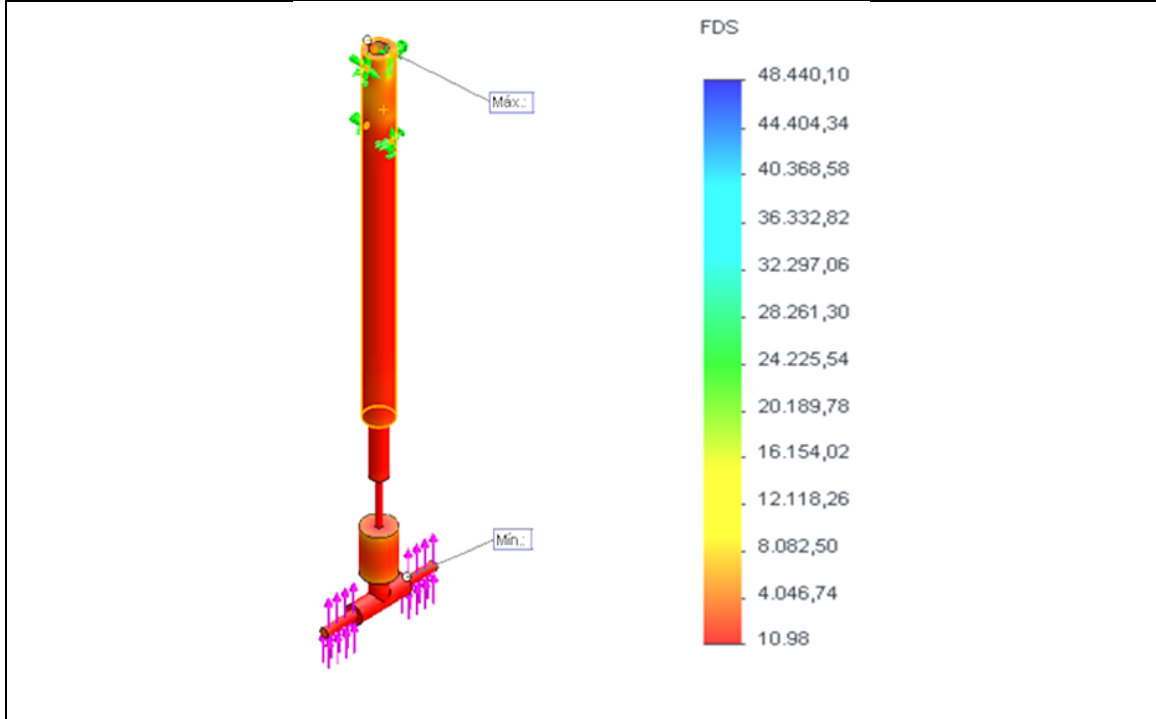
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	5677,11Pa Nodo: 4392	2,50517e7Pa Nodo: 13471



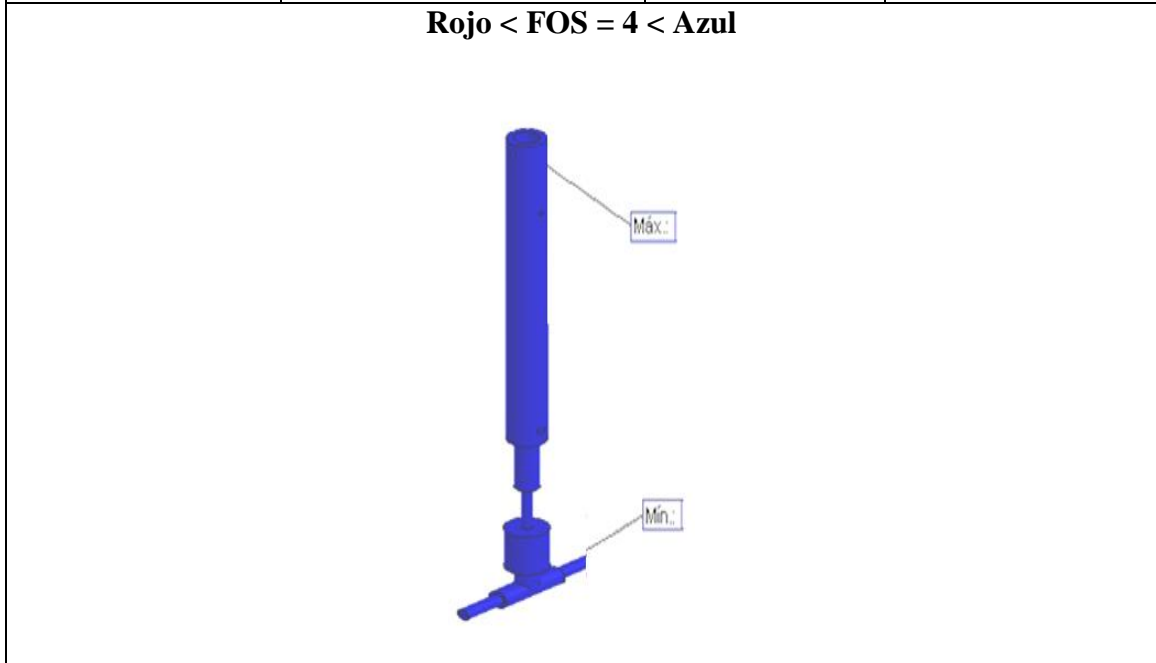
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0mm Nodo: 152	0,162109mm Nodo: 4615



Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 1	Tensión de Von Mises Máximo.	10,9773 Nodo: 13471	48440,1 Nodo: 4392



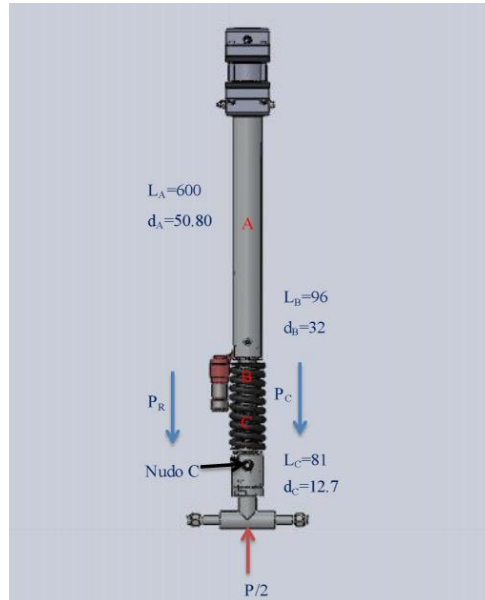
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 2	Tensión de Von Mises Máximo.	10,9773 Nodo: 13471	48440,1 Nodo: 4392



Fuente: Autor.

Cálculo de esfuerzo y deformación aplicadas al tren 4 (Material 6061-T6)

Diagrama de cuerpo libre



Cálculo de la fuerza aplicada del resorte con el material de titanio

$$\tau = \frac{ks \times 8 \times P \times D}{\pi d^3}$$

$$P = \frac{\pi d^3 \times \tau}{8 \times ks \times D}$$

$$\tau = \text{Resistencia de tensión } (900 \frac{N}{mm^2})$$

d = diametro del alambre del resorte (12mm)

D = Diametro primitivo del resorte(26.5mm)

P = Carga aplicada (N)

Ks = Factor de corrección de Wahl

Fórmula para calcular el factor de corrección de Wahl

$$K_s = 1 + \frac{0.5}{C}$$

$$\text{Indice del resorte: } C = \frac{D}{d}$$

$$K_s = 1 + \frac{0.5}{\frac{26.5}{12}}$$

$$K_s = 1.23$$

Fuerza del resorte

$$P_R = \frac{\pi d^3 \times \tau}{8 \times k_s \times D}$$

$$P_R = \frac{\pi \times (12 \times 10^{-3})^3 \times 900 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}{8 \times (26.5 \times 10^{-3} m) \times (1.23)}$$

$$P_R = 18.74 KN$$

Sumatoria de fuerzas en el punto C es el lugar más crítico del tren de aterrizaje

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$1.335 KN - P_R - P_C = 0$$

Reemplazamos los valores y despejamos la fuerza P_C

$$P_C = 1.335 KN - P_R$$

$$P_C = 1.335 KN - 18.74 KN$$

$$P_C = -17.4 KN$$

Cálculo del área de una sección circular maciza

$$A = \pi r^2$$

Donde:

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

$$r^2 = \text{Radio [m]}$$

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi \left(\frac{12.7}{2} \right)^2$$

$$A = 126.68 \text{mm}^2$$

$$A = 1.27 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

Cálculo de la deformación

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

$$\delta = \text{Deformación [m]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad [Pa]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

Reemplazamos los datos en la ecuación de la deformación

$$\delta = \frac{P_C \times L_C}{E \times A_C}$$

$$\delta = \frac{(17.4 \times 10^3 N) \times (81 \times 10^{-3} m)}{(96 \times 10^9 \frac{N}{m^2}) \times (1.27 \times 10^{-4} m^2)}$$

$$\delta = 1.15 \times 10^{-4} m$$

$$\delta = 0.14 mm$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P}{A}$$

Donde:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \text{Esfuerzo normal m\acute{a}ximo [Pa]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{2670 N}{(1.27 \times 10^{-4} m^2)}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 21.02 MPa$$

Cálculo del factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$$n = \text{Factor de seguridad [Adimencional]}$$

$\sigma = \text{Esfuerzo normal máximo [Pa]}$

$S_y = \text{Esfuerzo de fluencia de la aleación de aluminio 6061}$

$- T6[40000\text{Psi}] \rightarrow [275.86\text{MPa}]$

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

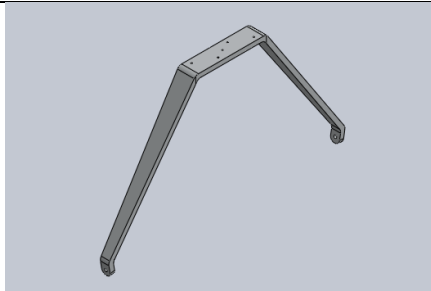
$$n = \frac{275.86\text{MPa}}{21.02\text{MPa}}$$

$$n = 11.12$$

Procedimiento para realizar la simulación mediante el método de elementos finitos para el tren 4 (Material 2024-T4).

Tabla 4-24 Procedimiento para el análisis del tren 4 (Material 2024-T4).

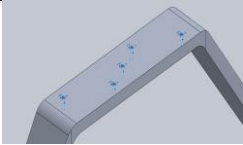
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS			
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de análisis:	Análisis estático		
Nombre de estudio:	Tren fijo de rodadura triciclo hidráulico		
PROCEDIMIENTO			
1. Propiedades volumétricas del modelo			
Masa:	12.288 kg	Densidad:	2700 kg/m ³
Volumen:	0.00455113 m ³	Peso:	120.423 N
Imagen del modelo			



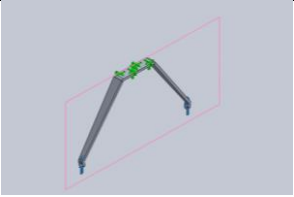
2. Propiedades del material: Aleación de aluminio 2024 T4

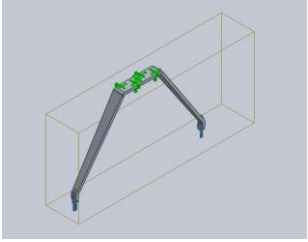
Límite elástico:	325MPa
Límite de tracción:	470MPa
Módulo elástico:	72000MPa
Coefficiente de Poisson:	0.33
Densidad:	7700 kg/m ³
Módulo cortante:	26000MPa

3. Características de la sujeción

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 5 caras Tipo: Geometría fija

4. Cargas aplicadas al modelo

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 caras, 1 plano Referencia: Vista lateral Tipo: Aplicar fuerza Valores: 300lbf

5. Condiciones de contacto del modelo		
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente Opciones: Mallado compatible
6. Información de malla		
Tipo de malla	Malla sólida	
Mallador utilizado:	Malla estándar	
Transición automática:	Desactivar	
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar	
Puntos jacobianos	4 Puntos	
Tamaño de elementos	13.1769 mm	
Tolerancia	0.658846 mm	
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden	
Número total de nodos	29467	
Número total de elementos	17099	
Cociente máximo de aspecto	53.122	
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98	
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.0292	
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0	
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01	
Imagen del mallado del modelo		

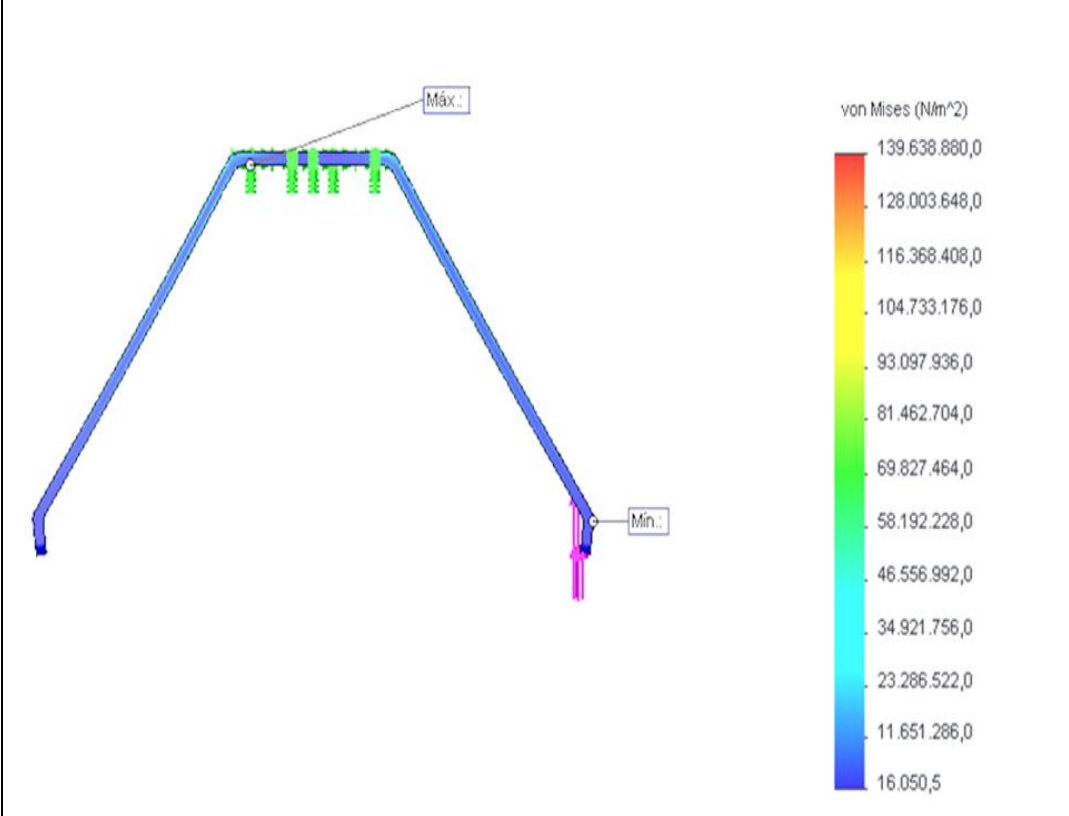

7. Ejecutar simulación
8. Análisis de los resultados

Fuente: Autor.

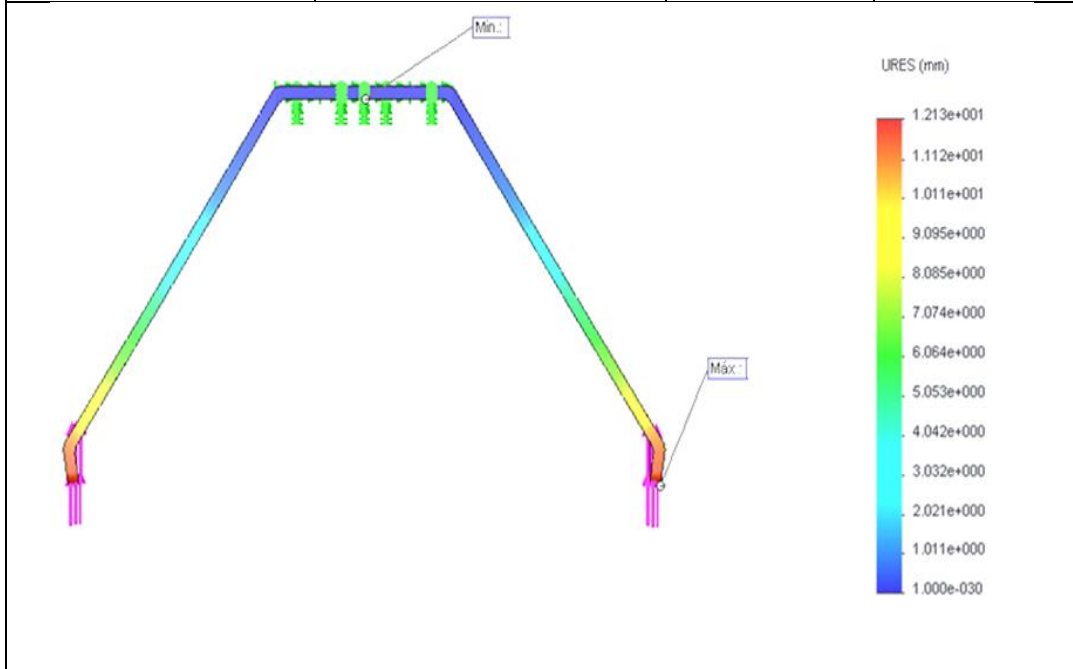
Resultados del estudio realizado al tren 4 (Material 2024-T4).

Tabla 25 Resultado del estudio realizado al tren 4 (Material 2024-T4).

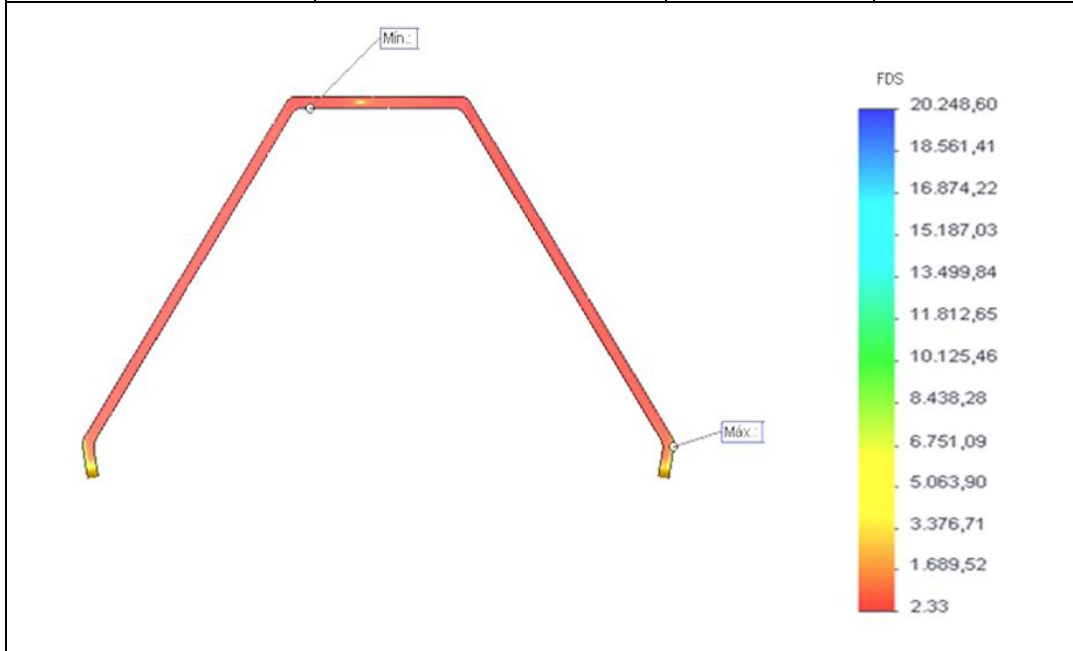
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	16050,5Pa Nodo: 25171	1,3963e8Pa Nodo: 106



Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0mm Nodo: 1	12,1272mm Nodo: 668



Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 1	Tensión de Von Mises Máximo.	2,32743 Nodo: 106	20248,6 Nodo: 25171



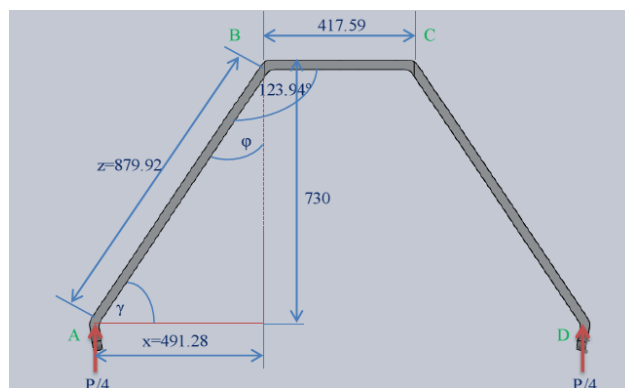
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 2	Tensión de Von Mises Máximo.	2,32743 Nodo: 106	20248,6 Nodo: 25171

Rojo < FOS = 4 < Azul

Fuente: Autor.

**Cálculo analítico de los esfuerzos y deformaciones realizado al tren 4
(Material 2024-T4)**

Esquema



Cálculo de los ángulos

$$\phi = 123.94^\circ - 90^\circ$$

$$\phi = 33.94^\circ$$

$$\text{Cos}\phi = \frac{730}{z}$$

$$\text{Cos}33.94^\circ = \frac{730}{z}$$

$$z = 879.92\text{mm}$$

$$\text{Sen}\phi = \frac{x}{z}$$

$$\text{Sen}33.94^\circ = \frac{x}{879.92}$$

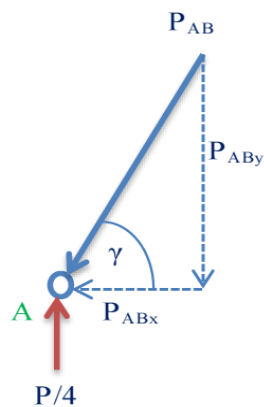
$$x = 491.28\text{mm}$$

$$\gamma = 90^\circ - \phi$$

$$\gamma = 90^\circ - 33.94^\circ$$

$$\gamma = 56.06^\circ$$

Diagrama de cuerpo libre del punto A



$$\text{Sen} \gamma = \frac{PAB_y}{PAB}$$

$$PAB_y = PAB \times \text{Sen} \gamma$$

Sumatoria de fuerzas

$$+\uparrow \sum Fy = 0$$

$$\frac{1.335}{2} \text{KN} - PAB_y = 0$$

Reemplazamos los valores y despejamos la fuerza PAB

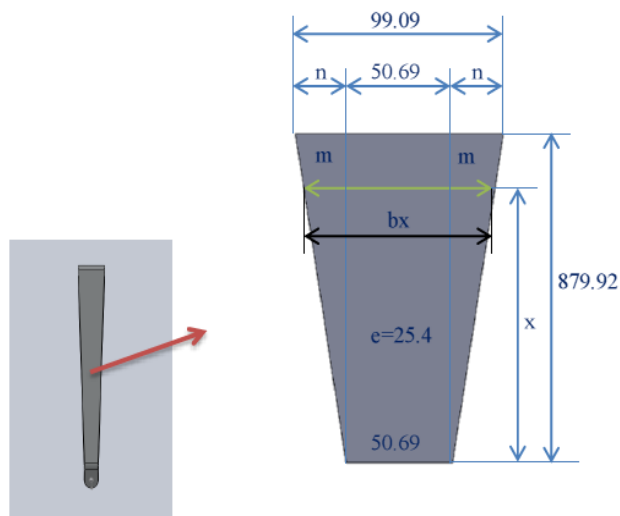
$$PAB_y = \frac{1.35}{2} \text{KN}$$

$$PAB \times \text{Sen} \gamma = 1.335/2 \text{KN}$$

$$PAB = \frac{\frac{1.335}{2} \text{KN}}{\text{Sen} 56.06^\circ}$$

$$PAB = 0.81 \text{KN}$$

Cálculo del área de una sección no simétrica



$$A = b_x \times e$$

Donde:

A = Área

B_x = Base a una distancia x

e = Espesor

Cálculos del valor de la constante n para poder calcular el área

$$n = \frac{90.09 - 50.69}{2}$$

$$n = 24.2mm$$

$$\tan \beta = \frac{m}{x} = \frac{24.2}{879.92}$$

$$m = 0.027x$$

$$b_x = 50.69 + 2m$$

$$b_x = 50.69 + 2(0.027x)$$

$$b_x = 50.69 + 0.054x$$

$$A = b_x \times e$$

$$A = (50.69 + 0.054x) \times (25.4)$$

$$A = 1287.53 + 1.37x$$

Cálculo de la deformación

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

$$\delta = \text{Deformación [m]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad [Pa]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

Calculamos el valor de la constante K para poder integrar con facilidad.

$$K = \frac{P_{AB} \times L_{AB}}{E}$$

$$K = \frac{(0.81 \times 10^3 \text{N}) \times (879.92 \times 10^{-3}) \text{m}}{72.4 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$K = 9.84 \times 10^{-9} \text{m}^3$$

$$K = 9.84 \text{mm}^3$$

Calculamos la deformación mediante una integral porque el área no es constante.

$$\delta = \int_0^L \frac{P_{AB} \times L_{AB}}{E \times A} dx$$

$$\delta_{AB} = K \int_0^L \frac{dx}{A}$$

$$\delta_{AB} = K \int_0^L \frac{dx}{1287.53 + 1.37x}$$

$$\delta_{AB} = K [\ln(1287.53 + 1.37x)] l_0^L$$

$$\delta_{AB} = K[\ln(1287.53 + 1.37L) - \ln(1287.53 + 1.37(0))]$$

$$\delta_{AB} = 9.84[\ln(1287.53 + 1.37(879.92)) - \ln(1287.53 + 1.37(0))]$$

$$\delta_{AB} = 11.58mm$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P}{A}$$

Donde:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \text{Esfuerzo normal m\acute{a}ximo [Pa]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \int_0^L \frac{P/4}{A} dx$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = P/4 \int_0^L \frac{dx}{A}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = P/4 \int_0^L \frac{dx}{1287.53 + 1.37x}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = P/4 [\ln(1287.53 + 1.37L) - \ln(1287.53 + 1.37(0))]$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{2670N}{4} \times (0.66mm^2)$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 151.25MPa$$

Cálculo del factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$n =$ Factor de seguridad [Adimencional]

$\sigma =$ Esfuerzo normal máximo [Pa]

$S_y =$ Esfuerzo de fluencia de la aleacion de aluminio 2024 – T4[325MPa]

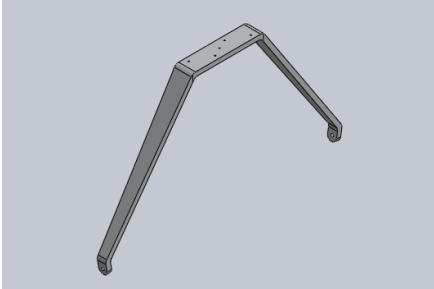
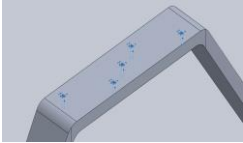

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

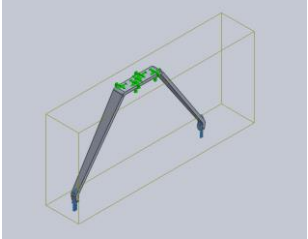
$$n = 2.19$$

Procedimiento y resultados del estudio realizado al tren 4 con el Material 6061-T6

Tabla 4-26 Procedimiento y resultado del estudio realizado al tren 4 (Material 6061-T6).

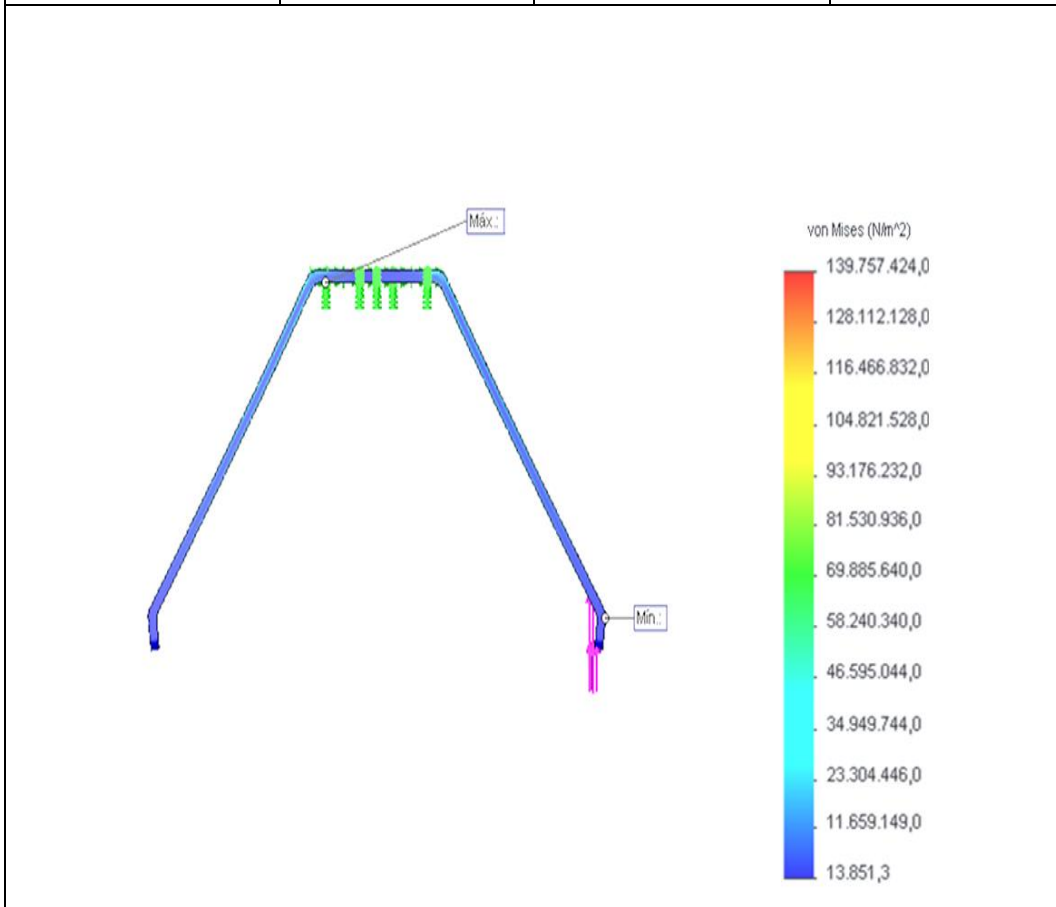
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS		
REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS		
Tipo de análisis:	Análisis estático	
Nombre de estudio:	Tren fijo de rodadura triciclo hidráulico	
PROCEDIMIENTO		
1. Propiedades volumétricas del modelo		
Masa:	12.288 kg	Densidad: 2700 kg/m ³

Volumen:	0.00455113 m ³	Peso:	120.423 N
Imagen del modelo			
			
2. Propiedades del material: Aleación de aluminio 6061 T6			
Límite elástico:	6.20422e+008 N/m ²		
Límite de tracción:	7.23826e+008 N/m ²		
Módulo elástico:	2.1e+011 N/m ²		
Coefficiente de Poisson:	0.28		
Densidad:	7700 kg/m ³		
Módulo cortante:	7.9e+010 N/m ²		
3. Características de la sujeción			
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción	
Fijo-1		Entidades: 5 caras Tipo: Geometría fija	
4. Cargas aplicadas al modelo			
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Fuerza-1		Entidades: 2 caras, 1 plano Referencia: Vista lateral Tipo: Aplicar	

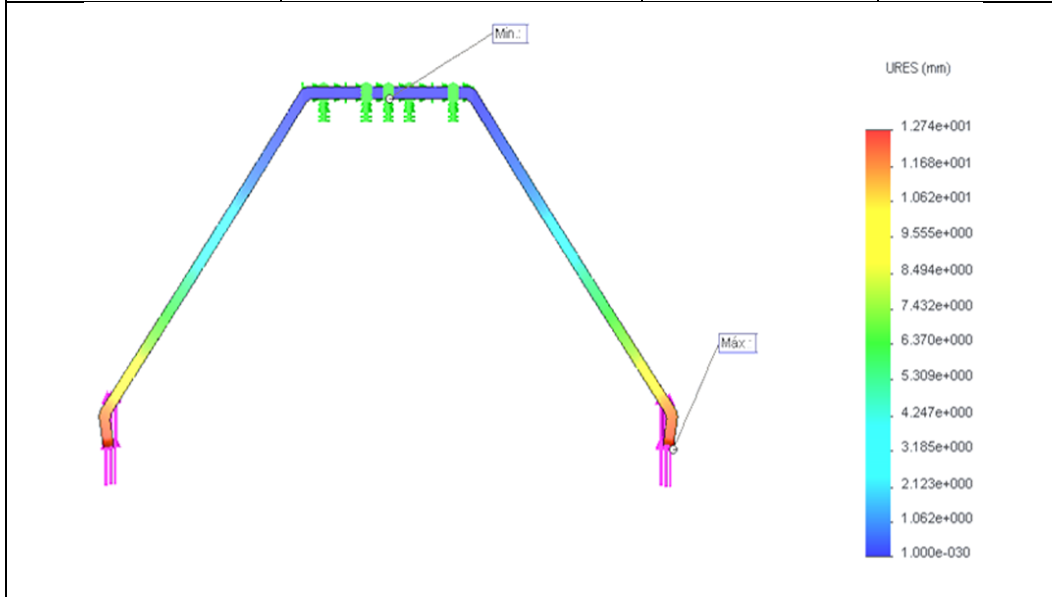
		fuerza Valores: 300lbf
5. Condiciones de contacto del modelo		
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente Opciones: Mallado compatible
6. Información de malla		
Tipo de malla	Malla sólida	
Mallador utilizado:	Malla estándar	
Transición automática:	Desactivar	
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar	
Puntos jacobianos	4 Puntos	
Tamaño de elementos	13.1769 mm	
Tolerancia	0.658846 mm	
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden	
Número total de nodos	29467	
Número total de elementos	17099	
Cociente máximo de aspecto	53.122	
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98	
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.0292	
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0	
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01	
Imagen del mallado del modelo		


7. Ejecutar simulación
8. Análisis de los resultados

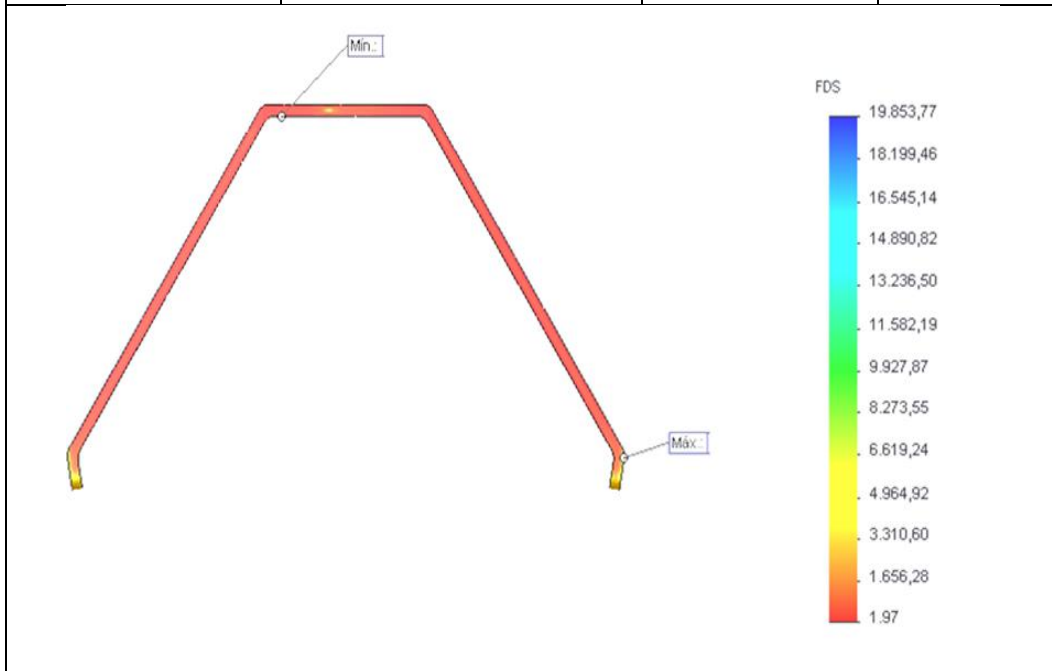
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	13851,3Pa Nodo: 28217	1,39757e8Pa Nodo: 106



Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0mm Nodo: 1	12,7405mm Nodo: 668

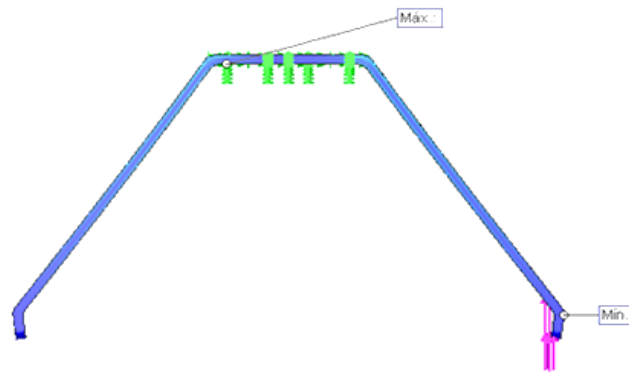


Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 1	Tensión de Von Mises Máximo.	1,97 Nodo: 106	19853,8 Nodo: 28217



Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 2	Tensión de Von Mises Máximo.	1,9677 Nodo: 106	19853,8 Nodo: 28217

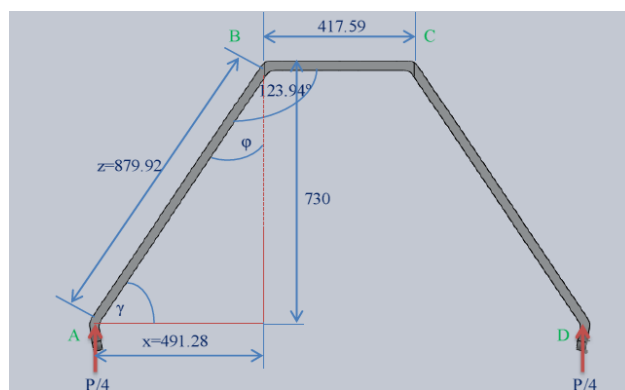
Rojo < FOS = 4 < Azul



Fuente: Autor.

Cálculo analítico de los esfuerzos y deformaciones realizado al tren 4 (Material 6061-T6)

Esquema



Cálculo de los ángulos

$$\phi = 123.94^\circ - 90^\circ$$

$$\phi = 33.94^\circ$$

$$\cos\phi = \frac{730}{z}$$

$$\cos 33.94^\circ = \frac{730}{z}$$

$$z = 879.92\text{mm}$$

$$\sin\phi = \frac{x}{z}$$

$$\sin 33.94^\circ = \frac{x}{879.92}$$

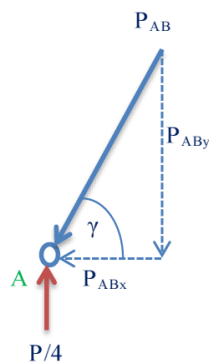
$$x = 491.28\text{mm}$$

$$\gamma = 90^\circ - \phi$$

$$\gamma = 90^\circ - 33.94^\circ$$

$$\gamma = 56.06^\circ$$

Diagrama de cuerpo libre del punto A



$$\sin\gamma = \frac{P_{ABy}}{P_{AB}}$$

$$P_{ABy} = P_{AB} \times \sin\gamma$$

Sumatoria de fuerzas

$$+\uparrow \sum Fy = 0$$

$$\frac{1.335}{2}KN - PAB_y = 0$$

Reemplazamos los datos en la ecuación de la sumatoria de fuerzas y despejamos la fuerza PAB

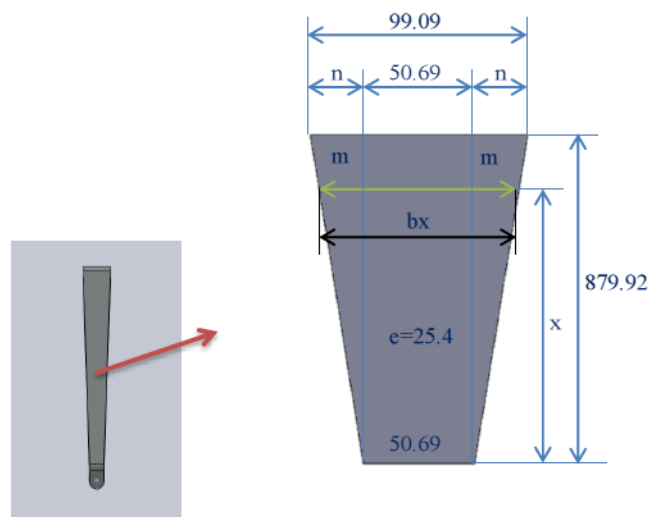
$$PAB_y = \frac{1.335}{2}KN$$

$$PAB \times \text{Sen} \gamma = 1.335/2 KN$$

$$PAB = \frac{\frac{1.335}{2}KN}{\text{Sen}56.06^\circ}$$

$$PAB = 0.81KN$$

Cálculo del área de una sección no simétrica



$$A = b_x \times e$$

Donde:

A = Área

B_x = Base a una distancia x

e = Espesor

Calculamos el valor de la constante n para poder calcular el área

$$n = \frac{90.09 - 50.69}{2}$$

$$n = 24.2mm$$

$$\tan \beta = \frac{m}{x} = \frac{24.2}{879.92}$$

$$m = 0.027x$$

$$b_x = 50.69 + 2m$$

$$b_x = 50.69 + 2(0.027x)$$

$$b_x = 50.69 + 0.054x$$

$$A = b_x \times e$$

$$A = (50.69 + 0.054x) \times (25.4)$$

$$A = 1287.53 + 1.37x$$

Cálculo de la deformación

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

$$\delta = \text{Deformación [m]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad [Pa]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

Calculamos el valor de la constante K para poder integrar con facilidad

$$K = \frac{P_{AB} \times L_{AB}}{E}$$

$$K = \frac{(0.81 \times 10^3 \text{N}) \times (879.92 \times 10^{-3}) \text{m}}{69 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$K = 1.03 \times 10^{-8} \text{m}^3$$

$$K = 10.3 \text{m}^3$$

Calculamos la deformación mediante una integral porque el área no es constante

$$\delta = \int_0^L \frac{P_{AB} \times L_{AB}}{E \times A} dx$$

$$\delta_{AB} = K \int_0^L \frac{dx}{A}$$

$$\delta_{AB} = K \int_0^L \frac{dx}{1287.53 + 1.37x}$$

$$\delta_{AB} = K [\ln(1287.53 + 1.37x)] \Big|_0^L$$

$$\delta_{AB} = K [\ln(1287.53 + 1.37L) - \ln(1287.53 + 1.37(0))]$$

$$\delta_{AB} = 10.3 [\ln(1287.53 + 1.37(879.92)) - \ln(1287.53 + 1.37(0))]$$

$$\delta_{AB} = 11.62mm$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P}{A}$$

Donde:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \text{Esfuerzo normal m\acute{a}ximo [Pa]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \int_0^L \frac{P/4}{A} dx$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = P/4 \int_0^L \frac{dx}{A}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = P/4 \int_0^L \frac{dx}{1287.53 + 1.37x}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = P/4 [\ln(1287.53 + 1.37L) - \ln(1287.53 + 1.37(0))]$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{2670N}{4} \times (0.66mm^2)$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 185.45MPa$$

Cálculo del factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$n = \text{Factor de seguridad [Adimensional]}$

$\sigma = \text{Esfuerzo normal máximo [Pa]}$

$S_y = \text{Esfuerzo de fluencia de la aleación de aluminio 6061 – T6 [275MPa]}$

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = 1.6$$

4.1.4.5 Análisis de los resultados entre los valores analíticos y los valores del análisis por método de elementos finitos

Tabla 4-27 Porcentaje de error de los resultados mediante métodos de elementos finitos y resultados analíticos.

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS			
1.Tren fijo de rodadura con articulación biclo			
(Aleación de aluminio 6061T6)			
Características	Método de elementos finitos	Valores analíticos	Porcentaje de error (%)
Tensiones de Von Misses (MPa)	144.7	1,552	7.26
Deformación (mm)	8.27	8.1	4.82
Factor de seguridad	1.9	1.69	11.5
2.Tren fijo de rodadura biclo			
(Aleación de aluminio 2024T4)			
Características	Método de elementos finitos	Valores analíticos	Porcentaje de error
Tensiones de Von Misses (MPa)	284.3	265	6,79
Deformación (mm)	22	20.94	0.35
Factor de seguridad	1.2	1.02	12
Tren fijo de rodadura biclo			
(Aleación de aluminio 6061T6)			
Características	Método de	Valores	Porcentaje de

	elementos finitos	analíticos	error
Tensiones de Von Misses (MPa)	284.8	265	6.95
Deformación (mm)	20.02	19.95	13.33
Factor de seguridad	0.97	0.89	8.25
3.Tren fijo de rodadura bicicleta hidráulico			
(Aleación de aluminio 2024T4)			
Características	Método de elementos finitos	Valores analíticos	Porcentaje de error
Tensiones de Von Misses (MPa)	50.1	49.8	0.60
Deformación (mm)	0.3	0.26	8.56
Factor de seguridad	6.49	7.06	8.78
Tren fijo de rodadura bicicleta hidráulico			
(Aleación de aluminio 6061T6)			
Características	Método de elementos finitos	Valores analíticos	Porcentaje de error
Tensiones de Von Misses (MPa)	50	49.5	1.00
Deformación (mm)	0.31	0.28	9.68
Factor de seguridad	5.49	6.08	10.75
4.Tren fijo de rodadura triciclo hidráulico			
(Aleación de aluminio 2024T4)			
Características	Método de elementos finitos	Valores analíticos	Porcentaje de error
Tensiones de Von Misses (MPa)	164	172	4.88
Deformación (mm)	12.28	11.73	4.48
Factor de seguridad	15.22	15.79	3.75
Tren fijo de rodadura triciclo hidráulico			
(Aleación de aluminio 6061T6)			

Características	Método de elementos finitos	Valores analíticos	Porcentaje de error
Tensiones de Von Misses (MPa)	164	174	6.10
Deformación (mm)	12.9	11.76	8.84
Factor de seguridad	12,95	12,72	1.78

Fuente: Autor.

4.1.4.6 Tiempo de simulación y características del PC en que se simulo.

Tiempo de simulación	1-10 (minutos)
Capacidad RAM	2.96 (GHz)
Número de cores	Intel (R) Core (TM) 2Duo CPU I 7500 @ 2.93 GHz

4.1.5 SELECCIÓN DEL MEJOR TREN DE ATERRIZAJE MEDIANTE PONDERACIÓN

Una vez realizada varias posibles soluciones se procede a seleccionar el tren con mejores características, para ello se realiza una selección de multi-criterio, que consiste en valorar cada una de las soluciones desde el punto de vista de varios criterios, las mismas que se ha tomado en consideración los siguientes:

- Facilidad de futura modificación.
- Adaptabilidad ante los cambios.
- Eficiencia del transporte.
- Utilización de la mano de obra.
- Eficiencia del almacenaje.
- Utilización de la superficie.
- Seguridad.
- Ergonomía.
- Facilidad de mantenimiento y control.
- Peso total de la estructura.
- Resistencia a esfuerzos.

➤ Costo de la construcción.

Las características del listado anterior fueron tomadas de las consideraciones que el personal del CIDFAE propuso, de este listado se eligieron los siguientes factores para la puntuación de cada una de las soluciones, según cada factor de evaluación de 0 a 10 que se recoge en la siguiente tabla:

Tabla 4-28 Selección de soluciones mediante decisiones multi-criterio.

Factores	Peso (%)	Trenes de aterrizaje			
		1	2	3	4
Facilidad de futura modificación.	10	7	5	9	8
Adaptabilidad ante los cambios.	5	5	8	10	4
Eficiencia de transporte	5	3	5	9	7
Seguridad	10	4	5	8	7
Ergonomía	15	3	7	10	9
Facilidad de mantenimiento y control.	10	6	6	9	8
Peso total de la estructura.	15	8	6	7	5
Resistencia a esfuerzos.	20	5	4	10	7
Costo de la construcción.	10	3	9	9	6
VALORACIÓN	100%	5,1	6	9	7

Fuente: Autor.

Según los factores elegidos para la valoración de los diseños de los trenes de aterrizaje, el tren que presenta mejores características expuestas en la Tabla 4.28 es el tren 3, debido a que es más resistente a esfuerzos, la misma se puede corroborar en la Tabla 4.20 en el factor de seguridad, además el peso está dentro de los requerimientos expuestos por el personal del CIDFAE, presenta una adaptabilidad muy alta ante posibles modificaciones es así que en la propuesta final del diseño se puede ir mejorando en base al tren 3, es ergonómico en cuanto a la altura ya que los trabajadores no tienen que estar inclinándose para tener acceso hacia el interior de la góndola, por último en cuanto a su construcción por tener menores elementos o partes la construcción de este tipo de tren se vuelve barato en comparación con las otras, adicional el armado no es complicado al no tener tantas piezas.

4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS

4.2.1 Interpretación de los resultados de la entrevista, encuesta y la guía de observaciones

La finalidad de la entrevista, encuesta y la guía de observaciones esta direccionado al diseño estructural, la misma que debe ser resistente a la carga que va a soportar y entrar dentro del rango del peso que debe tener el tren de aterrizaje, cada pregunta de la entrevista tiene su respectiva justificación señalando las respectivas soluciones al problema planteado, es así que de la entrevista se puede establecer el tipo de tren de aterrizaje que están utilizando, si este tipo de tren de aterrizaje es el apropiado, para en base al tren existente poder realizar nuevos diseños, además proporciona datos de los daños causados por utilizar este tipo de sistema de aterrizaje tanto en el personal como en el equipamiento y en la estructura en si del dirigible. Mediante la guía de encuesta se dice que el dirigible no cuenta con un sistema de aterrizaje adecuado la misma que no cuenta con un mecanismo de orientación según los requerimientos del piloto, además la estructura del tren de aterrizaje es muy rígido al no contar con una sistema de amortiguamiento la cual ocasiona deterioro en las ruedas y en el equipamiento que lleva el dirigible, en general el personal que opera la aeronave no se encuentra conforme con el sistema actual.

4.2.2 Interpretación de los estudios realizados mediante el programa de elementos finitos.

Tabla 4-29 Resultado de la evaluación de los factores ergonómicos.

Descripción	Actual	Tren seleccionado	
	6061-T6	2024-T4	6061-T6
Peso total del tren	6,88Kg	10,19Kg	9,25Kg
Carga a soportar	600lb	600lb	600lb
Tensiones (von misses)	Min.=4836,36Pa, Max.=1,447e8Pa	Min.=11354,2Pa, Max.=5,0103 e 8Pa	Min.=11354,2Pa, Max.=5,01033e7Pa
Desplazamientos	Min.=0mm, Max.=4,1359	Min.=0mm, Max.=0,3089mm	Min.=0mm, Max.=0,308
Factor de seguridad	<u>Min.=1,9</u>	<u>Min.=6,4865</u>	<u>Min.=5,4886</u>

Amortiguamiento	No	Hidráulico	Hidráulico
-----------------	----	------------	------------

Fuente: Autor.

La Tabla 4.29 muestra los resultados obtenidos mediante el análisis realizados en el software, la misma que evidencia las mejoras realizadas en el tren 3, es decir que en cuanto al peso total de la estructura se puede observar que tanto el tren actual como el seleccionado tren 3 se encuentran dentro de los rangos requeridos, pero al realizar el análisis aplicando la carga que debe soportar pone en evidencia que el tren seleccionado es más resistente, los desplazamientos son menos, y el factor de seguridad está dentro de los rangos establecidos en la normativa de aviación, además el tren seleccionado cuenta con un sistema de amortiguamiento que realizará la función de absorber cargas de impacto con lo cual protegerá a la estructura, los equipos en general a todo el dirigible, en la Tabla también se puede observar que se factible realizar la construcción ya sea en el material aleación de aluminio 2024-T4 o en el 6061-T6 ya que los dos tipos de materiales están dentro de los rangos del factor de seguridad requerida por la normativa

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Mediante los resultados que se obtuvieron del análisis en el programa por elementos finitos queda comprobado que se mejora el factor de seguridad de un 1,9 del tren actual a un 6,48 del tren seleccionado con el material 2024-T6 y de 5,48 para el 6061-T6, con la cual se establece que se reduce tanto los esfuerzos como las deformaciones en el tren seleccionado la cual queda evidenciado en la Tabla 4.29. Además de lo mencionado anteriormente el tren seleccionado es mejor por ser un sistema de tren de aterrizaje fijo bicicleta hidráulico, la misma que lleva incorporado una rueda loca para que los neumáticos no sufran daños o deterioros prematuros por la fuerza de arrastre del dirigible a causa de que esta toma diferentes direcciones por la acción del viento, posee un resorte para absorber las oscilaciones en el aterrizaje, el armado de sus partes no es compleja y cumple por lo requerido de la Tabla 4.28.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Con el marco teórico se identificaron los distintos sistemas mecánicos de trenes de aterrizaje existentes y las diferentes combinaciones que se pueden realizar para poder realizar el análisis en el programa mediante elementos finitos.
- Se determinaron los parámetros que rigen los sistemas mecánicos del tren de aterrizaje para un dirigible las mismas que se enlistan en el literal 4.1.5, refiriéndose a las características que debe tener el diseño como: facilidad de futura modificación, eficiencia de transporte, peso total de la estructura, seguridad, ergonomía, facilidad de mantenimiento y control. peso total de la estructura, resistencia a esfuerzos, costo de la construcción.
- En base a la encuesta, entrevista, observación se analizaron los diferentes problemas que ocasionaba el tren actual, en base a este se realizó la selección de la mejor configuración del tren de aterrizaje mediante ponderación como muestra en la Tabla 4.29 y también con un porcentaje de un 90% de disminución de la deformación.
- Se ejecutó el diseño de tres tipos de trenes de aterrizaje las mismas que fueron simuladas en el programa mediante elementos finitos, con la cual se seleccionó un tipo de tren de aterrizaje según la Tabla 4.29, el sistema que mejor cumple con los requerimientos de peso, de mayor resistencia a la carga, de menor deformación es el tren 3 correspondiente a un tipo de tren de aterrizaje fijo bicicleta hidráulico según el análisis realizado.

- Se realizó los cálculos de los esfuerzos y deformaciones de los sistemas mecánicos del tren de aterrizaje para determinar el mejor diseño con respecto al actual con un porcentaje promedio de un 80% de disminución.
- Se realizó el estudio de los tres trenes de aterrizaje en el programa por elementos finitos, con diferente material que es la aleación de aluminio 6061 T6 y la aleación de aluminio 2024 T4 la misma que soporto los esfuerzos y deformaciones los dos materiales pero en la configuración del tren fijo bicicleta hidráulico.
- Se Propuso un diseño de sistema mecánico de un tren de aterrizaje que tiene un factor de seguridad efectivo que es de 5 mediante los cálculos realizados con la ayuda del programa de elementos finitos.
- Se realizó la evaluación estructural del diseño mediante el programa por elementos finitos.

5.2 RECOMENDACIONES

Una vez finalizado el análisis del presente estudio es pertinente establecer las siguientes recomendaciones:

- Se debe tomar en consideración la altura correcta de la hélice, ya que de este depende la altura del tren, debido a que si no se toma este valor en consideración, los motores que se encuentran en el mismo pueden chocar en el piso y sufrir daños graves.
- Identificar las normas a adoptar de acuerdo a los parámetros de diseño del sistema mecánico del tren, para una selección correcta de los materiales a utilizar.
- Tomar en cuenta el peso total que va a soportar el tren de aterrizaje en el momento que se encuentra en tierra el dirigible.

- Utilizar un anclaje adecuado entre la góndola y el tren de aterrizaje, ya que esta debe tener características de absorción de impacto para reducir vibraciones a los equipos electrónicos en tierra y en el aterrizaje.
- Establecer el tipo de rodadura correcta para que los neumáticos no sufran desgastes exagerados, ya que esta debe auto alinearse a la dirección que tome el dirigible.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

Diseño y construcción de un sistema mecánico del tren de aterrizaje de la plataforma de gran altitud la cual permitirá reducir los esfuerzos y deformaciones.

6.1 DATOS INFORMATIVOS

El presente estudio de un sistema mecánico del tren de aterrizaje de la plataforma de gran altitud se lo realizó en la provincia de Tungurahua ciudad de Ambato en las instalaciones del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana en el aeropuerto de Chachoán sector Izamba.

Al tratarse del diseño y construcción de un sistema mecánico del tren de aterrizaje, los datos necesarios para el presente diseño son los obtenidos en los capítulos anteriores, tales como; el material, dimensionamiento, peso a soportar, sistema de amortiguación a soportar

EL tren de aterrizaje será construido en material en su gran mayoría en aluminio 6061-T6, ya que esta cumple con los requerimientos de resistencia a tracción y compresión además tiene un alto valor de módulo de elasticidad con un peso moderado en comparación con el acero, también debido a que este material se encuentra disponible en las instalaciones del CIDFAE.

Además el diseño será analizado en su totalidad en el programa por elementos finitos, en la cual está simulado el peso que va a soportar, el material que se va a utilizar y los esfuerzos a la que va estar sometida la selección de los amortiguadores y el resorte se lo realizará mediante tablas estas deben soportar cargas según lo especificado en el capítulo 4, finalmente la construcción del tren

de aterrizaje se lo efectuará en las instalaciones del CIDFAE con el apoyo de los técnicos con la cual se irán comprobando dimensiones del tren.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Para la presente investigación se ha obtenido referencias de un proyecto de tesis del Instituto Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería en Metalurgia cuyo tema es “Análisis de Integridad de un Componente Estructural de uso Aeronáutico”, siendo su autor el señor Oscar Madrigal Serrano, la misma que fue realizado en el año 2008 en el departamento de metalurgia mediante el cual la tesis contiene como objetivo: “Cálculo de las cargas en el tren de aterrizaje para determinar la función del tren de aterrizaje y las cargas que están sometidas y consideraciones de diseño”, también obtuvieron la siguiente conclusión: “ En el presente proyecto de investigación se ha establecido las acciones para lograr la extensión de la vida útil y prevención de las fallas, partiendo de un diagnóstico de integridad ”

También se ha obtenido referencia de un trabajo realizado por el Ingeniero José Fernando Viscomi, técnico aeronáutico (ENET N° 1 "Jorge Newbery", Haedo, provincia de Buenos Aires), ingeniero aeronáutico (Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Haedo), especialista en Ingeniería Gerencial (UTN. FRH) y magíster en Administración de Negocios (UTN. FRH). Fue mecánico de a bordo (Fuerza Aérea Argentina) y, desde 1980, se desempeña en el área de materiales aeronáuticos de Aerolíneas Argentinas. Se inició como previsionista de material aeronáutico, este proyecto tiene como objetivo: " Realizar trabajos que constituye una metodología para la enseñanza y para el aprendizaje. "La idea de esta metodología tiene como punto de partida una necesidad originada a través de un problema que, ha surgido en un ámbito de la realidad tecnológica, es planteado por el docente a sus alumnos, y al cual hay que hallarle una solución.

Otra fuente relacionada al presente proyecto es de un trabajo Realizado Evolución Histórica de los Trenes de Aterrizaje en las aeronaves, como autores; Rafael Trallero, Ricardo Atienza y Malte Frövel por de la Universidad Alfonso X. El Sabio Escuela Politécnica Superior de Villanueva de la Cañada (Madrid). Este artículo ofrece una visión histórica de carácter divulgativo acerca de la evolución

que ha sufrido el diseño de los trenes de aterrizaje de las aeronaves a lo largo de los años, desde los más simples elementos estructurales en los inicios de la aviación hasta las modernas configuraciones actuales dotadas de amortiguadores oleo neumáticos y multitud de sistemas adicionales. Como conclusión realizado por los autores expuesto en este artículo, se puede decir que queda manifiestamente clara la complejidad que lleva aparejado el diseño, desarrollo y mantenimiento de un tren de aterrizaje. Otra conclusión es conforme a lo largo de la historia las aeronaves llegaban a ser más rápidas y pesadas se ha ido producido una sofisticación indiscutible en sus diseños, consecuencia tanto de requisitos estructurales y operativos como de especificaciones impuestas por las normas aplicables.

6.3 JUSTIFICACIÓN

Proporcionar al Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana un modelo de tren fijo de rodadura biciclo realizando el diseño tomando en cuenta su funcionalidad, la resistencia mecánica, fácil ensamblaje y reparación en caso de ser necesario, la misma que debe cumplir con normas ergonómicas ya que los trabajadores deben realizar trabajos dentro de la góndola.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 Objetivo general

Diseño y construcción del tren fijo de rodadura biciclo de aterrizaje de la plataforma de gran altitud la cual permitirá reducir los esfuerzos y deformaciones.

6.4.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros necesarios para el diseño del tren de aterrizaje.
- Modelar las partes que conforman el sistema de tren de aterrizaje mediante la utilización del programa por elementos finitos para su posterior análisis de resistencia mecánica.

- Realizar el análisis estático mediante el programa de elementos finitos, para poder establecer los refuerzos, espesores y la resistencia total del tren de aterrizaje.
- Realizar el análisis analítico de las partes del tren de aterrizaje.
- Establecer el procedimiento de construcción del sistema de tren de aterrizaje.
- Analizar los costos con los que se constara para la construcción del tren de aterrizaje.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

EL diseño y construcción de un sistema mecánico del tren de aterrizaje de la plataforma de gran altitud la cual permitirá reducir los esfuerzos y deformaciones es factible, debido a que los materiales requeridos para su construcción se encuentran en las instalaciones del CIDFAE, así también se cuenta con las herramientas necesarias para el conformado del tren.

Además del recurso humano que fueron proporcionados por dicha institución, la cual colaboraron con la construcción del tren y también con las pruebas de funcionamiento requeridos para la verificación de su funcionalidad.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

6.6.1 Diseño y selección de los elementos del tren

El diseño de cada elemento que conforma el tren de aterrizaje se lo realizara mediante la utilización del programa por elementos finitos, en la cual se utilizó el material de aluminio 6061-T6, sus características se detallan a continuación:

6.6.1.1 Material a utilizar

El material utilizado para la construcción del tren debido a su uso y existencia en la institución es el aluminio 6061-T6 Las propiedades se detallado a continuación:

Tabla 6-1 **Propiedad de material utilizado en la construcción.**

Propiedades	Valor	Unidades
Modulo elástico en X	69000	MPa
Coefficiente de poisson en XY	0,33	N/D
Modulo cortante en XY	26000	MPa
Densidad de masa	2700	Kg/m ³
Límite de tracción en X	310	MPa
Límite de compresión en X		MPa
Limite elástico	275	MPa
Coefficiente de expansión térmica en X	2,40E-05	/K
Conductividad térmica en X	166,9	W/(m.K)

Fuente: Robert Mott. (2006) Diseño de elementos mecánicos.

6.6.1.2 Dimensionamiento general del tren

En la siguiente tabla se ha realizado el dimensionamiento general del tren de aterrizaje, tomando en cuenta parámetro como la altura ya que este es un parámetro muy importante tanto para el personal que va a trabajar en la góndola, como para los motores.

Tabla 6-2 **Dimensionamiento general del tren.**

Parámetros	Descripción	Observación
Carga a soportar.	500lb	Se aplicara una carga de 600lb debido a las cargas adicionales que requieran subir al dirigible.
Alto.	899mm	Corresponde del piso al borde de la góndola.
Largo.	220mm	Tomadas del extremos de las ruedas.
Área de sujeción.	80x140mm	Es la superficie en el cual se anclará la estructura de la góndola.

Fuente: Autor.

Tomando en cuenta los parámetros de la tabla anterior se ha realizado el modelado, en la cual se ha ubicado todos los elementos que conforma el tren de aterrizaje para su posterior análisis estructural.

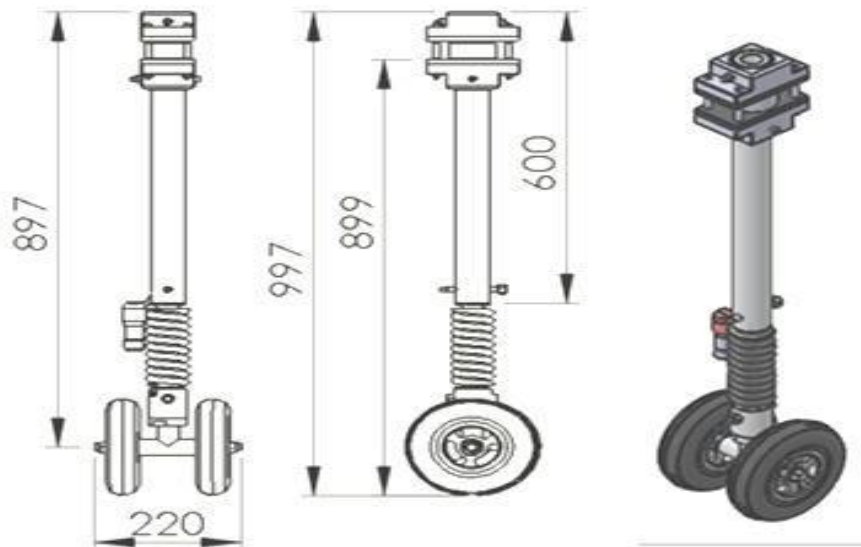


Figura 6-1 Dimensionamiento general del tren.

Fuente: Autor

6.6.1.3 Dimensionamiento del eje soporte amortiguador de la góndola

El dimensionamiento de este depende exclusivamente del tamaño de las hélices de los motores, una vez que se conoció los tamaños de las hélices se procedió a su dimensionamiento dichos datos se muestran en los Anexos de planos, la forma de esta se muestra a continuación:

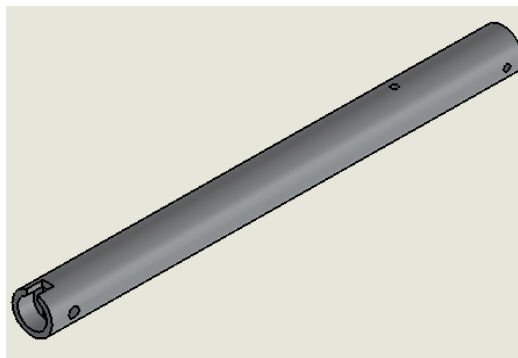


Figura 6-2 Dimensionamiento del eje.

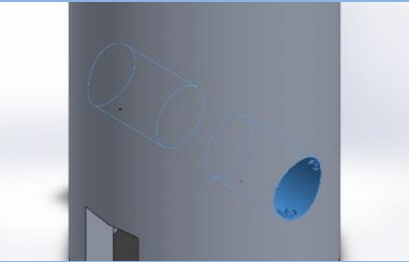
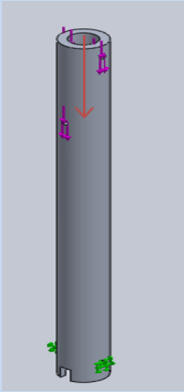
Fuente: Autor

Una vez realizado el dimensionamiento se procede al análisis en el software, para determinar la resistencia a la compresión cuando se aplica el peso total, tomando

encanta que no debe haber un exagerado desplazamiento, dichos cálculos se muestra a continuación:

1) Cargas y sujeciones aplicadas al eje del tren de aterrizaje.

Tabla 6-3 Cargas y sujeciones aplicadas al eje del tren.

Nombre	Imagen	Detalles			
<p>Sujeción.</p> <p>Fijo-1</p>		<p>Entidades: 2 caras.</p> <p>Tipo: Geometría fija.</p>			
Fuerza resultante					
Componentes		X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción (N)		0,006961	-1334,45	0,000494	1334,45
Momento de reacción (N-m)		0	0	0	0
<p>Carga</p> <p>Fuerza-1</p>		<p>Entidades: 4caras, 1 plano.</p> <p>Referencia: Vista Planta.</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza. Valor: 500lbf.</p>			

Fuente: Autor.

2) Resultados del estudio realizado al eje del tren de aterrizaje

Tabla 6-4 Resultado del estudio realizado al eje del tren.

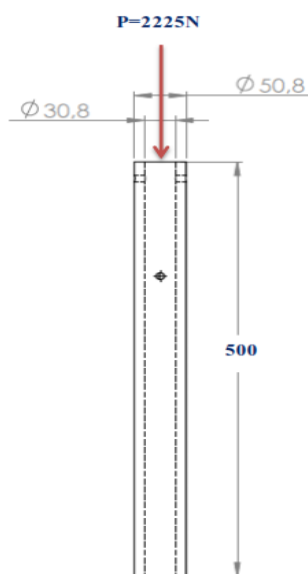
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	5645,78Pa Nodo: 923	9,2933e6Pa Nodo: 23
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0mm Nodo: 749	0,0222609mm Nodo: 1355

Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 1	Tensión de Von Mises Máximo.	29,591 Nodo: 23	48709 Nodo: 923

Fuente: Autor.

3) Cálculo analítico del esfuerzo y deformación para el eje del tren de aterrizaje

Elementos con cambio de sección:



Cálculo del área de una sección circular hueca

$$A_1 = \pi(R^2 - r^2)$$

$$A_1 = \pi(25.4^2 - 15.4^2)$$

$$A_1 = 1281.77\text{mm}^2$$

$$A_1 = 1.28 \times 10^{-3}\text{m}^2$$

Cálculo de la deformación

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

$$\delta = \text{Deformación [m]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad [Pa]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

$$\delta_1 = \frac{P \times L}{E \times A}$$

$$\delta_1 = \frac{(2225\text{N}) \times (0.5\text{m})}{\left(69 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) \times (1.28 \times 10^{-3}\text{m}^2)}$$

$$\delta_1 = 0.0126\text{mm}$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

σ = Esfuerzo normal máximo [Pa]

P = Fuerza [N]

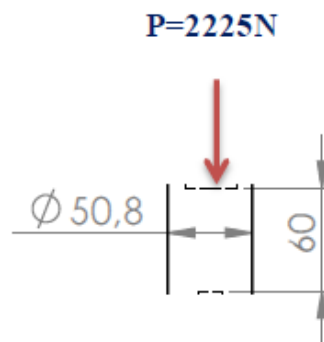
A = Area [m²]

$$\sigma_1 = \frac{P}{A_1}$$

$$\sigma_1 = \frac{2225N}{1.28 \times 10^{-3}m^2}$$

$$\sigma_1 = 1.81MPa$$

Cálculo del área de una sección circular



$$A_2 = \pi R^2$$

$$A_2 = \pi(25.4mm)^2$$

$$A_2 = 2026.83mm^2$$

$$A_2 = 2.03 \times 10^{-3} m^2$$

Cálculo de la deformación

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

$$\delta = \text{Deformación [m]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad [Pa]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

$$\delta_2 = \frac{P \times L}{E \times A}$$

$$\delta_2 = \frac{(2225N) \times (0.06m)}{\left(69 \times 10^9 \frac{N}{m^2}\right) \times (2.03 \times 10^{-3} m^2)}$$

$$\delta_2 = 9.55 \times 10^{-4} mm$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

$$\sigma = \text{Esfuerzo normal máximo [Pa]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

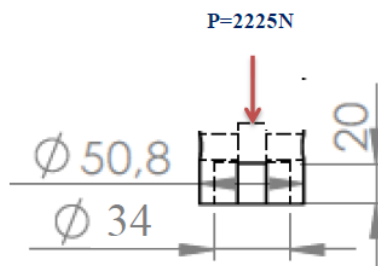
$$A = \text{Area}[m^2]$$

$$\sigma_2 = \frac{P}{A_2}$$

$$\sigma_2 = \frac{2225N}{2.03 \times 10^{-3}m^2}$$

$$\sigma_2 = 1.65MPa$$

Cálculo del área de una sección circular hueca



$$A_c = \pi(R^2 - r^2)$$

$$A_c = \pi(25.4^2 - 17^2)$$

$$A_c = 1118.9mm^2$$

$$A_c = 1.12 \times 10^{-3}m^2$$

Cálculo de la deformación

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

$$\delta = \text{Deformación [m]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad [Pa]}$$

$$A = \text{Area[m}^2\text{]}$$

$$\delta_3 = \frac{P \times L}{E \times A}$$

$$\delta_3 = \frac{(2225N) \times (0.02m)}{\left(69 \times 10^9 \frac{N}{m^2}\right) \times (1.12 \times 10^{-3}m^2)}$$

$$\delta_3 = 5.76 \times 10^{-4}mm$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

$$\sigma = \text{Esfuerzo normal máximo [Pa]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$A = \text{Area[m}^2\text{]}$$

$$\sigma_3 = \frac{P}{A_c}$$

$$\sigma_3 = \frac{2225N}{1.12 \times 10^{-3}m^2}$$

$$\sigma_3 = 2.29MPa$$

Cálculo del área

$$A_D = \pi(R^2 - r^2) - 14x$$

$$x = 25.5 - 18.5$$

$$A_D = \pi(25.4^2 - 18.5^2) - 14(25.5 - 18.5)$$

$$A_D = 855.02 \text{ mm}^2$$

$$A_D = 8.55 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Cálculo de la deformación

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

$$\delta = \text{Deformación [m]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad [Pa]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

$$\delta_4 = \frac{P \times L}{E \times A}$$

$$\delta_4 = \frac{(2225 \text{ N}) \times (0.02 \text{ m})}{\left(69 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) \times (8.55 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}$$

$$\delta_4 = 7.54 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

$\sigma =$ Esfuerzo normal máximo [Pa]

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

$$\sigma_4 = \frac{P}{A_D}$$

$$\sigma_4 = \frac{2225N}{8.55 \times 10^{-4}m^2}$$

$$\sigma_4 = 2.95MPa$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo total

$$\sigma_T = 1.81MPa + 1.65MPa + 2.29MPa + 2.95MPa$$

$$\sigma_T = 8.7MPa$$

Cálculo de la deformación total

$$\delta_T = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4$$

$$\delta_T = (0.0126 + 9.53 \times 10^{-4} + 5.76 \times 10^{-4} + 7.54 \times 10^{-4})mm$$

$$\delta_T = 0.016mm$$

Cálculo del factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$n =$ Factor de seguridad [Adimensional]

$\sigma = \text{Esfuerzo normal máximo [Pa]}$

$S_y = \text{Esfuerzo de fluencia de la aleación de aluminio 6061}$
 $- T6[275.86MPa]$

$$n = \frac{275.86MPa}{8.7MPa}$$

$$n = 31.2$$

6.6.1.4 Dimensionamiento de la te

Para realizar el dimensionamiento de este elemento se tomó en consideración el tipo de ruedas, su función ya que esta va a cumplir la misión de una rueda loca, los detalles muestran en los Anexos de planos, la forma de esta se muestra a continuación:

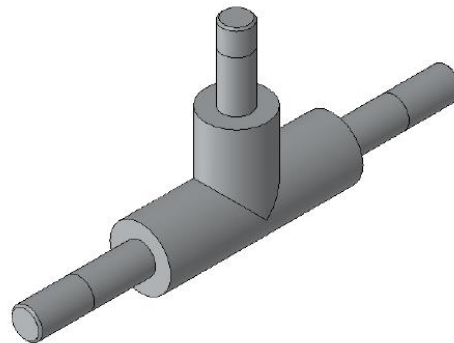


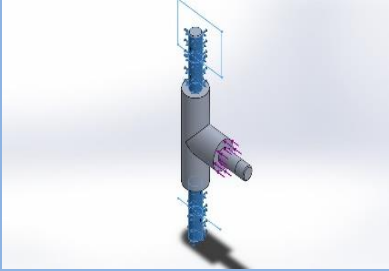
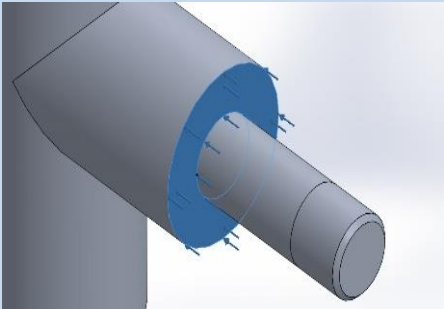
Figura 6-3 Dimensionamiento de la Te.

Fuente: Autor

Una vez realizado el dimensionamiento se procede al análisis en el software, para determinar la resistencia a la flexión cuando se aplica el peso total, tomando en cuenta que no debe haber un exagerado desplazamiento, dichos cálculos se muestran a continuación:

1) Cargas y sujeciones aplicadas a la Te del tren de aterrizaje.

Tabla 6-5 Cargas y sujeciones aplicadas a la Te del tren.

Nombre	Imagen	Detalles			
<p>Sujeción.</p> <p>Fijo-1</p>		<p>Entidades: 2 caras.</p> <p>Tipo: Geometría fija.</p>			
Fuerza resultante					
Componentes		X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción (N)		2220.7	-0.05814	0.0138662	2220.7
Momento de reacción (N-m)		0	0	0	0
<p>Carga</p> <p>Fuerza-1</p>		<p>Entidades: 2caras, 1 plano.</p> <p>Referencia: Vista Planta.</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza. Valor: 500lbf.</p>			

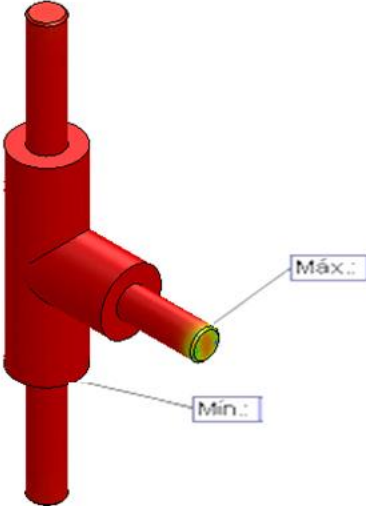
Fuente: Autor.

2) Resultados del estudio realizado a la Te del tren de aterrizaje

Tabla 6-6 Resultado del estudio realizado a la Te del tren.

Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	0,21065Pa Nodo: 21541	2,55037e7Pa Nodo: 27099
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0mm Nodo: 51	0,0103346mm Nodo: 317

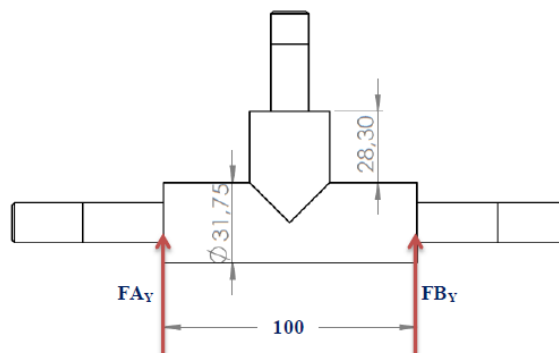
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Factor de seguridad 1	Tensión de Von Mises Máximo.	10,7827 Nodo: 27099	1,3054e9 Nodo: 21541

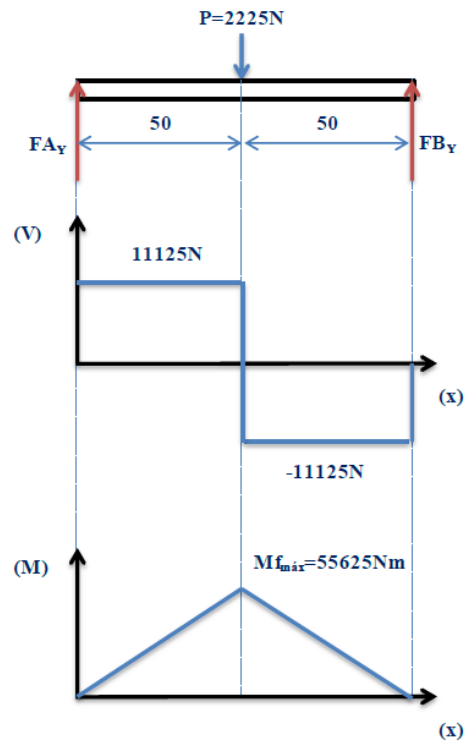


Fuente: Autor.

3) Cálculo analítico del esfuerzo y deformación realizado a la Te del tren de aterrizaje.

Diagrama de cuerpo libre





Sumatoria de momentos en A

$$+\circlearrowleft \sum M_A = 0$$

$$-(P \times 50) + (P B_y \times 100) = 0$$

$$P B_y = \frac{(P \times 50)}{100}$$

$$P B_y = \frac{P}{2}$$

Sumatoria de fuerzas en y

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$P A_y + P B_y - P = 0$$

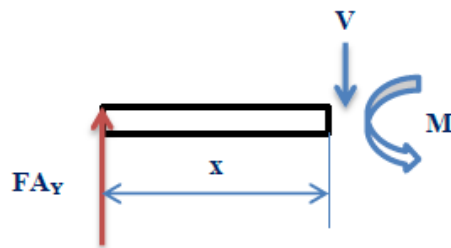
$$P A_y = P - P B_y$$

$$PA_y = P - \frac{P}{2}$$

$$PA_y = \frac{P}{2}$$

$$PA_y = PB_y = \frac{2225N}{2} = 1112.5N$$

Tramo: $0 < x < 50$



Sumatoria de fuerzas en y

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$PA_y - V = 0$$

$$V = PA_y$$

$$V = 1112.5N$$

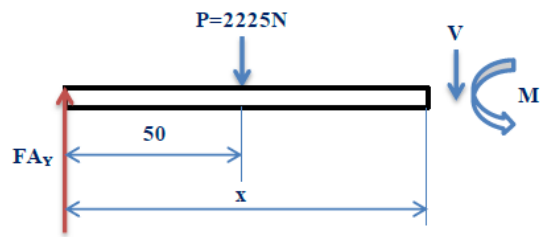
Sumatoria de momentos en A

$$+\curvearrowright \sum M_A = 0$$

$$M - V(x) = 0$$

$$M = V(x) = 1112.5N(x)$$

Tramo: $50 < x < 100$



Sumatoria de fuerzas en y

$$+\uparrow \sum Fy = 0$$

$$PA_y - P - V = 0$$

$$V = PA_y - P$$

$$V = \frac{P}{2} - P$$

$$V = -\frac{P}{2}$$

$$V = -1112.5N$$

Sumatoria de momentos en A

$$+\circlearrowleft \sum M_A = 0$$

$$-P \times (50) + M - V(x) = 0$$

$$M = P \times (50) + V(x)$$

$$M = 2225 \times (50) + 1112.5(x)$$

$$M_{f_{m\acute{a}x}} = 55.63N.m$$

Cálculo del esfuerzo por flexión

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{Mc}{I}$$

Momento de inercia de la sección transversal con respecto a su centroide

Sección circular solida

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$I = \frac{\pi(31.75 \times 10^{-3}m)^4}{64}$$

$$I = 49882.11mm^4$$

$$I = 4.988 \times 10^{-8}m^4$$

Distancia del eje centroidal

$$c = \frac{d}{2}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M \times \left(\frac{d}{2}\right)}{\frac{\pi \times d^4}{64}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{32 \times M f_{m\acute{a}x}}{\pi \times d^3}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{32 \times (55.625N.m)}{\pi \times (31.75 \times 10^{-3}m)^3}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 21.70MPa$$

Cálculo de la deformación

$$\delta_{m\acute{a}x} = -\frac{F \times L^3}{48 \times E \times I}$$

Donde:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \text{Deformaci3n [m]}$$

$$F = \text{Fuerza [N]}$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad [Pa]}$$

$$I = \text{Momento de inercia}$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = -\frac{F \times L^3}{48 \times E \times I}$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = -\frac{(2225N) \times (0.14)^3}{48 \times \left(69 \times 10^9 \frac{N}{m^2}\right) \times (4.9882 \times 10^{-8}m^4)}$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = 1.3468 \times 10^{-5}m$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = 0.01346mm$$

C3lculo del factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{m\acute{a}x}}$$

Donde:

$$n = \text{Factor de seguridad [Adimencional]}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \text{Esfuerzo normal m3ximo [Pa]}$$

$S_y = \text{Esfuerzo de fluencia de la aleacion de aluminio 6061}$
– T6[275.86MPa]

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{\text{máx}}}$$

$$n = \frac{275.86\text{MPa}}{21.7\text{MPa}}$$

$$n = 12.4$$

6.6.1.4 Dimensionamiento de la unión

Este elemento permite acoplar la T con el sistema de amortiguamiento, la cual soporta la fuerza de compresión, los detalles muestran en los Anexos de planos, la forma de esta se muestra a continuación:

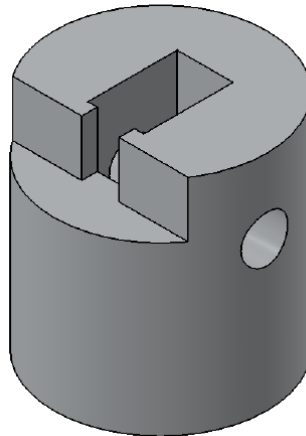



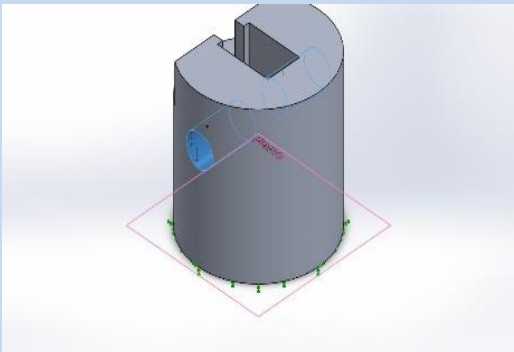
Figura 6-4 Dimensionamiento de la unión.

Fuente: Autor

Una vez realizado el dimensionamiento se procede al análisis en el software, para determinar la resistencia a la compresión cuando se aplica el peso total, dichos cálculos se muestra a continuación:

1) Cargas y sujeciones aplicadas a la unión del tren de aterrizaje.

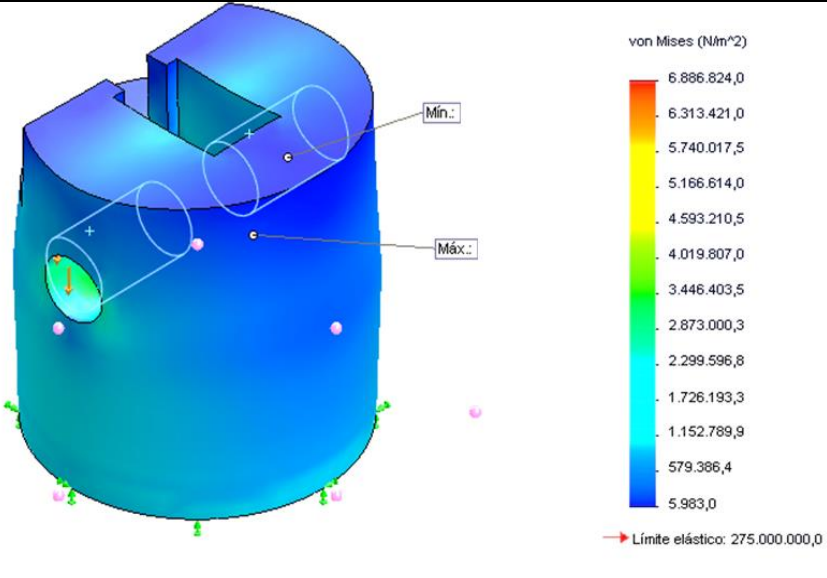
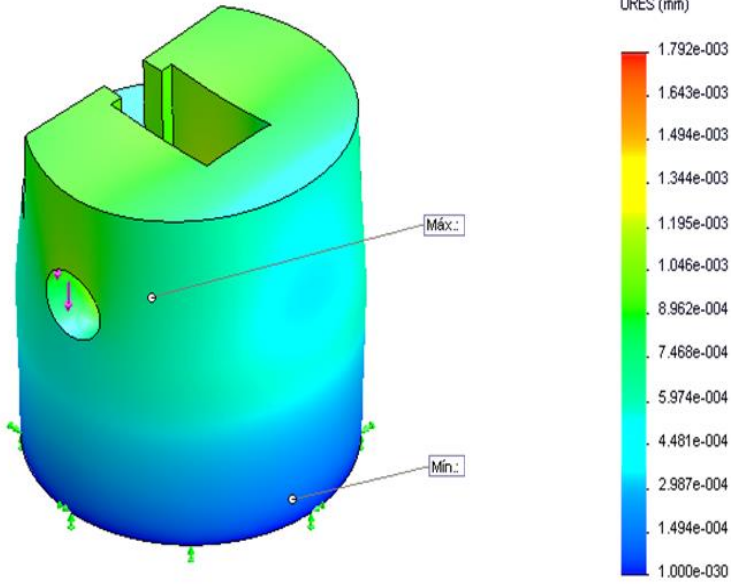
Tabla 6-7 Cargas y sujeciones aplicadas a la unión del tren.

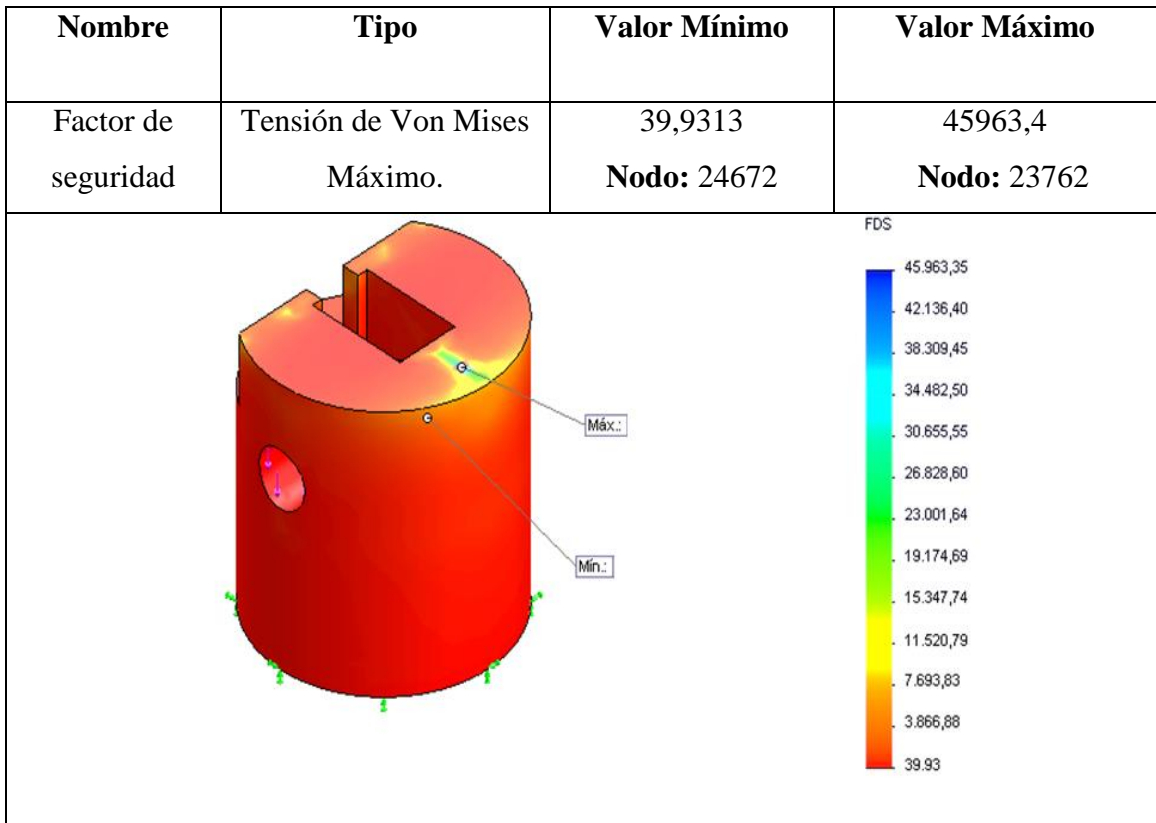
Nombre	Imagen	Detalles			
<p>Sujeción.</p> <p>Fijo-1</p>		<p>Entidades: 1 caras.</p> <p>Tipo: Geometría fija.</p>			
Fuerza resultante					
Componentes		X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción (N)		0.00102979	999.989	0.00163946	999.989
Momento de reacción (N-m)		0	0	0	0
<p>Carga</p> <p>Fuerza-1</p>		<p>Entidades: 2caras, 1 plano.</p> <p>Referencia: Vista Planta.</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza. Valor: 500lbf.</p>			

Fuente: Autor.

2) Resultados del estudio realizado a la unión del tren de aterrizaje

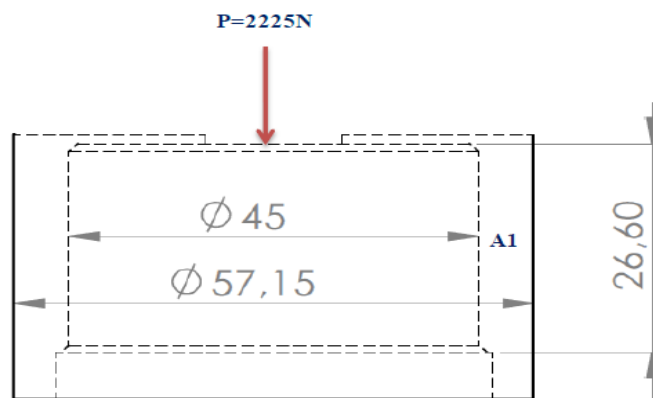
Tabla 6-8 Resultado del estudio realizado a la T del tren.

Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	5983,03Pa Nodo: 23762	6,8868e6Pa Nodo: 24672
			
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0mm Nodo: 357	0,00179235mm Nodo: 566
			



Fuente: Autor.

3) Cálculo analítico del esfuerzo y deformación realizada a la unión del tren de aterrizaje.



Cálculo del área 1 de una sección circular

$$A_1 = \pi(R^2 - r^2)$$

$$A_1 = \pi(28.58^2 - 22.5^2)$$

$$A_1 = 975.67 \text{mm}^2$$

$$A_1 = 9.75 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

Cálculo de la deformación

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

$$\delta = \text{Deformación [m]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad [Pa]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

$$\delta_1 = \frac{P \times L}{E \times A}$$

$$\delta_1 = \frac{(2225 \text{N}) \times (26.6 \times 10^{-3} \text{m})}{\left(69 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) \times (9.75 \times 10^{-4} \text{m}^2)}$$

$$\delta_1 = 8.79 \times 10^{-7} \text{m}$$

$$\delta_1 = 8.79 \times 10^{-4} \text{mm}$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

$\sigma = \text{Esfuerzo normal máximo [Pa]}$

$P = \text{Fuerza [N]}$

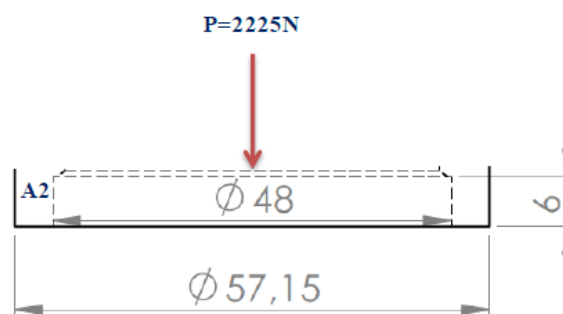
$A = \text{Area [m}^2\text{]}$

$$\sigma_1 = \frac{P}{A_1}$$

$$\sigma_1 = \frac{2225N}{9.75 \times 10^{-4}m^2}$$

$$\sigma_1 = 2.88MPa$$

Cálculo del área 2 de una sección circular



$$A_2 = \pi(R^2 - r^2)$$

$$A_2 = \pi(28.58^2 - 24^2)$$

$$A_2 = 756.55mm^2$$

$$A_2 = 7.56 \times 10^{-4}m^2$$

Cálculo de la deformación

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

Donde:

$$\delta = \text{Deformación [m]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$L = \text{Longitud [m]}$$

$$E = \text{Modulo de elasticidad [Pa]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

$$\delta_2 = \frac{P \times L}{E \times A}$$

$$\delta_2 = \frac{(2225N) \times (6 \times 10^{-3}m)}{(69 \times 10^9 \frac{N}{m^2}) \times (7.56 \times 10^{-4}m^2)}$$

$$\delta_2 = 2.55 \times 10^{-7}m$$

$$\delta_2 = 2.55 \times 10^{-4}mm$$

Cálculo del esfuerzo normal máximo

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

$$\sigma = \text{Esfuerzo normal máximo [Pa]}$$

$$P = \text{Fuerza [N]}$$

$$A = \text{Area [m}^2\text{]}$$

$$\sigma_2 = \frac{P}{A_2}$$

$$\sigma_2 = \frac{2225N}{2.55 \times 10^{-7}m}$$

$$\sigma_2 = 3.24MPa$$

Cálculo del esfuerzo total

$$\sigma_T = \sigma_1 + \sigma_2$$

$$\sigma_T = 2.88MPa + 3.24MPa$$

$$\sigma_T = 6.12MPa$$

Cálculo de la deformación total

$$\delta_T = \delta_1 + \delta_2$$

$$\delta_T = 8.79 \times 10^{-4} + 2.55 \times 10^{-4}$$

$$\delta_T = 1.134 \times 10^{-3}mm$$

Cálculo del factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$n =$ *Factor de seguridad [Adimensional]*

$\sigma =$ *Esfuerzo normal máximo [Pa]*

$S_y =$ *Esfuerzo de fluencia de la aleacion de aluminio 6061*

– T6[275.86MPa]

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{275.86MPa}{6.12MPa}$$

$$n = 44.1$$

6.6.1.5 Dimensionamiento del soporte

Esta pieza permite ensamblar el tren de aterrizaje con la góndola, está fabricada de nailon 101 que se puede encontrar en el mercado, conforman por unidades, la primera está ubicada dentro de la góndola mientras que la otra está ubicada debajo de la góndola como se muestra en el Anexo de planos, la forma de esta se muestra a continuación:

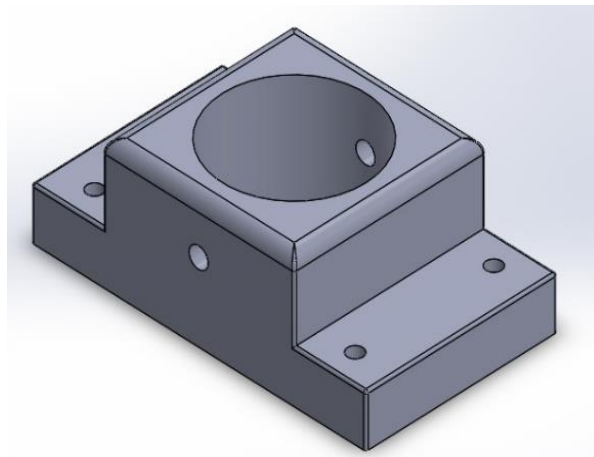


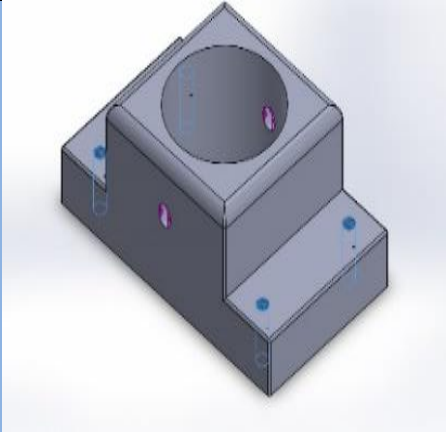
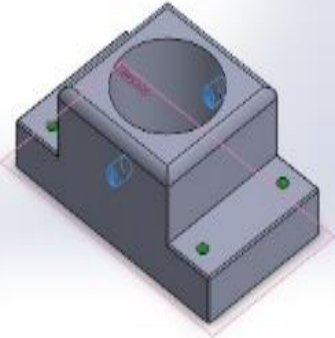
Figura 6-5 Dimensionamiento del soporte.

Fuente: Autor

Una vez realizado el dimensionamiento se procede al análisis en el software, para determinar la resistencia a la tracción en los agujeros donde se aplica la carga, dichos cálculos se muestra a continuación:

1) Cargas y sujeciones aplicadas al soporte

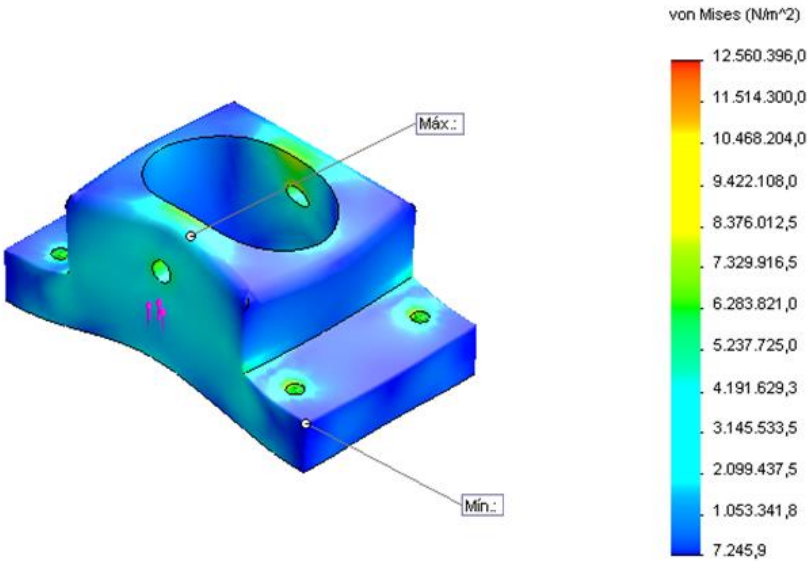
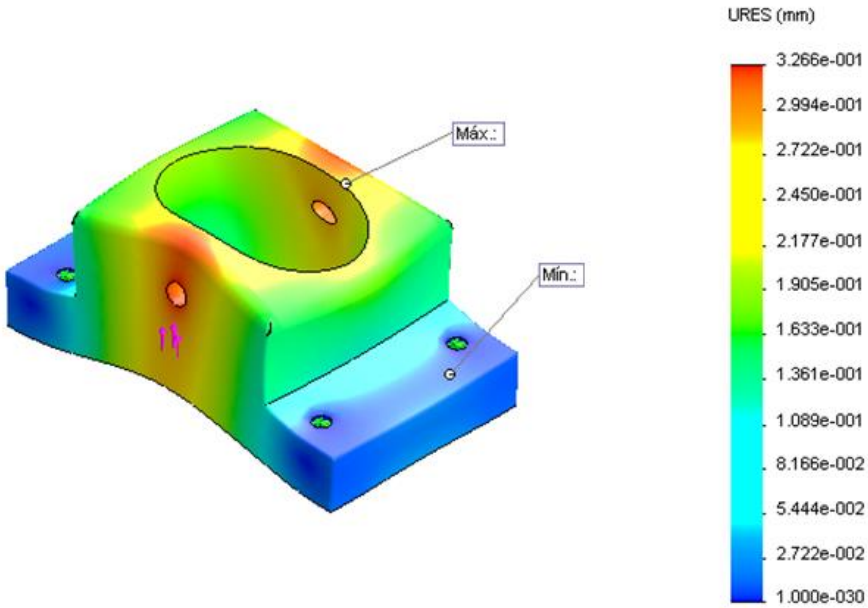
Tabla 6-9 Cargas y sujeciones aplicadas al soporte.

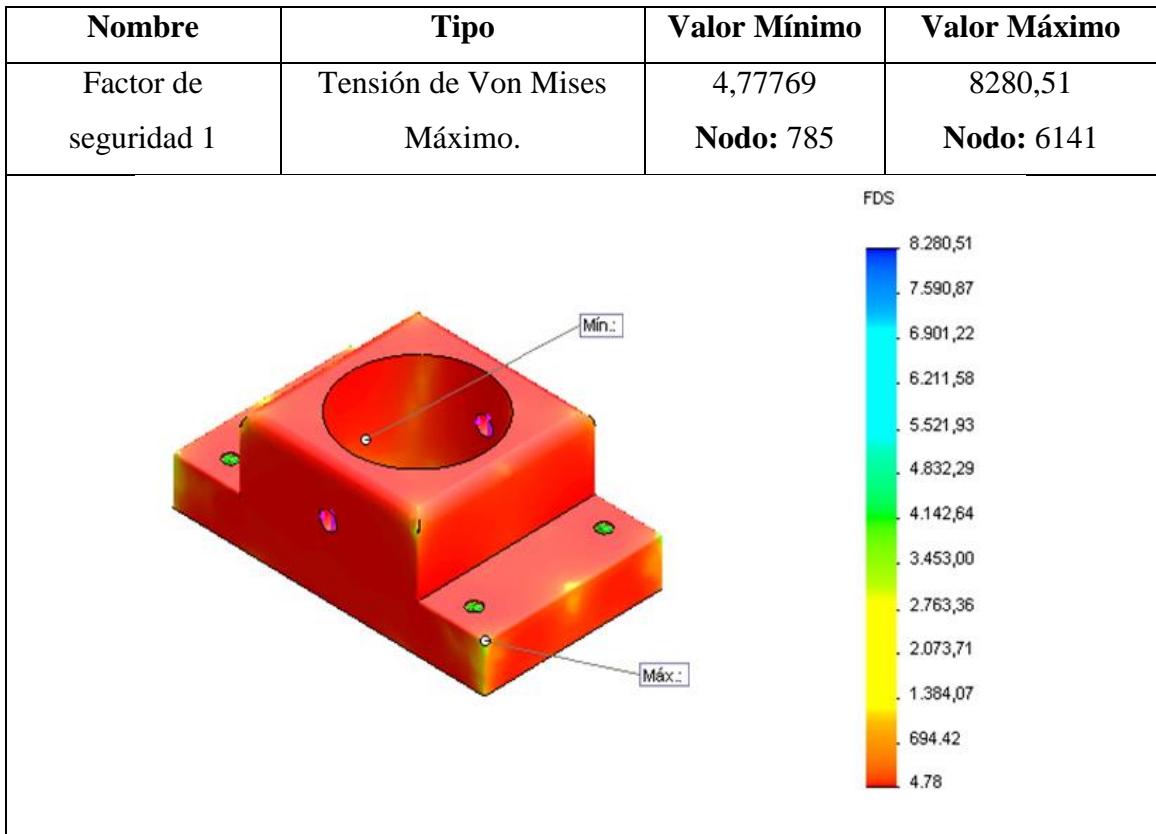
Nombre	Imagen	Detalles			
Sujeción. Fijo-1		Entidades: 4 caras. Tipo: Geometría fija.			
Fuerza resultante					
Componentes		X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción (N)		0.0122271	-2224.11	-0.00308132	2224.11
Momento de reacción (N-m)		0	0	0	0
Carga Fuerza-1		Entidades: 2caras, 1 plano. Referencia: Vista Planta. Tipo: Aplicar fuerza. Valor: 500lbf.			

Fuente: Autor.

2) Resultados del estudio realizado al soporte

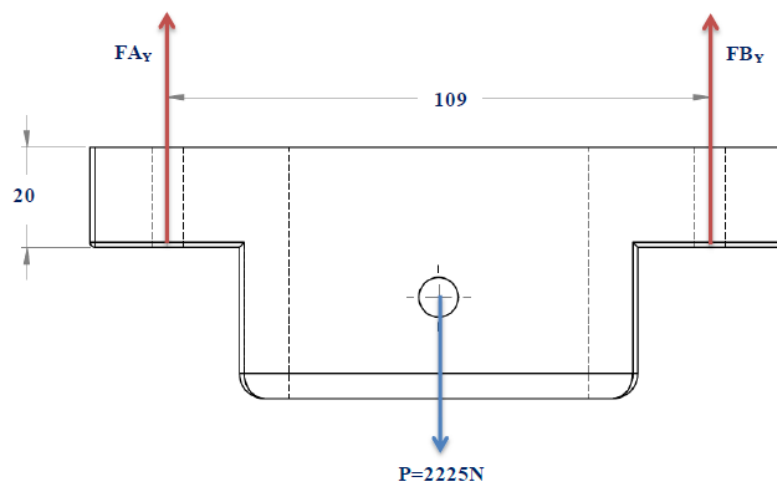
Tabla 6-10 Resultado del estudio realizado al soporte.

Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	7245,93Pa Nodo: 6141	1,25604e7Pa Nodo: 785
			
Nombre	Tipo	Valor Mínimo	Valor Máximo
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0mm Nodo: 39	0,326623mm Nodo: 1019
			



Fuente: Autor.

3) Cálculo analítico del esfuerzo y deformación realizado al soporte



Cálculo del momento flector máximo

$$FA_y = FB_y = \frac{P}{2}$$

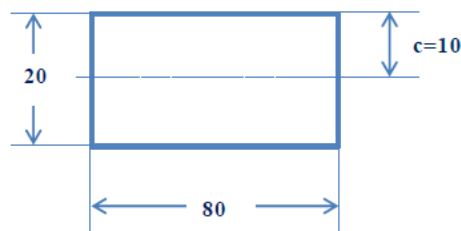
$$Mf_{m\acute{a}x} = \frac{P \times L}{4}$$

$$Mf_{m\acute{a}x} = \frac{(2225N) \times (0.109m)}{4}$$

$$Mf_{m\acute{a}x} = 60.63N.m$$

Momento de inercia de la secci3n transversal con respecto a su centroide

Secci3n rectangular



$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$I = \frac{(0.08) \times (0.02)^3}{12}$$

$$I = 5.33 \times 10^{-8}m^4$$

C3lculo del esfuerzo normal m3ximo

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{Mf_{m\acute{a}x} \times c}{I}$$

Donde:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \text{Esfuerzo normal m3ximo [Pa]}$$

$M_{f_{\text{máx}}} = \text{Momento flector máximo} [N \cdot m]$

$c = \text{Dostancia del eje centroidal} (m)$

$I = \text{Momento de inercia}$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{(60.63 N \cdot m) \times (0.01 m)}{5.33 \times 10^{-8} m^4}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 11.875 MPa$$

Cálculo de la deformación máxima

$$\delta = \frac{F \times L^3}{48 \times E \times I}$$

Donde:

$\delta = \text{Deformación} [m]$

$F = \text{Fuerza} [N]$

$L = \text{Longitud} [m]$

$E = \text{Modulo de elasticidad del material nailón101} [10 \times 10^9 Pa]$

$I = \text{Momento de inercia}$

$$\delta_{\text{máx}} = \frac{F \times L^3}{48 \times E \times I}$$

$$\delta_{\text{máx}} = \frac{(2225 N) \times (0.14 m)^3}{48 \times (10 \times 10^9 N/m^2) \times (5.33 \times 10^{-8} m^4)}$$

$$\delta_{\text{máx}} = 2.876 \times 10^{-4} m$$

$$\delta_{\text{máx}} = 0.2876 mm$$

Cálculo del factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$n =$ Factor de seguridad [Adimencional]

$\sigma =$ Esfuerzo normal máximo [Pa]

$S_y =$ Esfuerzo de fluencia del material nailón101[60MPa]

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{60MPa}{11.875MPa}$$

$$n = 5.05$$

6.7 Metodología, modelo operativo

Una vez terminada el diseño en el software de cada una de las piezas que conforma el tren de aterrizaje, se procede a su construcción para lo cual se debe tomar en cuenta que las medidas y los detalles se cumplan de acuerdo a los planos establecidos en el Anexo, ya que de este dependerá para que cada pieza cumpla con el objetivo para el que fue diseñado, el proseo de la construcción se detallas continuación de cada uno de los elementos.

6.7.1 Construcción del eje

El eje está construido en material de aluminio 6061-T6, el mismo que se construyó de la forma siguiente; se cortó el eje de diámetro 2 pulgadas con una longitud de 600mm, luego en él un extremo se realizó una perforación de

diámetro 19mm hasta una longitud de 500mm, posterior a eso en el otro extremo se realizó la perforación para que entre la cabeza del amortiguador, también se realizó perforaciones paralelas al eje, la primera se pasó una broca de diámetro de 5/16 pulgadas estos agujeros permitirán anclar el sistema de tren de aterrizaje a la góndola mediante pasadores en sus respectivas bases, el otro agujero se realizó para sujetar el sistema de amortiguación, la misma que se pasó una broca 0,5 pulgadas, los detalles se encuentran en el Anexo de planos.



Figura 6-6 **Construcción del eje.**

Fuente: Autor

6.7.2 Construcción de la Te

Esta pieza se construyó en material aluminio 6061-T6, para su conformación se cortó dos ejes de diámetro 1,25 pulgadas, de longitudes $L1= 68\text{mm}$ y $L2=220\text{mm}$, al eje de longitud $L1$ se realizó un desbaste hasta alcanzar un diámetro de 15mm, en este diámetro se realizó una rosca de longitud 13mm, la longitud del desbaste fue de 40mm. Mientras que al eje de longitud $L2$ en los dos extremos se realizó un desbaste hasta llegar a un diámetro de 5/8 pulgada, en este diámetro se realizó las respectivas roscas de longitud 28mm, la distancia del desbaste fue 60mm en cada extremo, esto sirve para el posterior ensamblaje de las ruedas. Finalmente se suelda las dos piezas formando una te como se muestra en la figura y en los Anexos de los planos.



Figura 6-7 **Construcción de la te.**

Fuente: Autor

6.7.3 Construcción de la unión

Se construyó en material aluminio 6061-T6, para lo cual se cortó un eje de diámetro 2,25 pulgada de longitud 60mm, se realizó en él un extremo el maquinado para que entre la cabeza del amortiguador en la cual también se realizó un agujero transversal de diámetro 12.5mm la misma que sirve para introducir un pasador que deberá sujetar dicho amortiguador, mientras que en el otro extremo se realizó el maquinado para ensamblar la te según la forma como se muestra en los Anexos de planos.



Figura 6-8 **Construcción de la unión.**

Fuente: Autor

6.7.4 Construcción de los soportes

Se construyeron dos soportes una para colocar en la parte interna y la otra para la parte externa de la góndola, se utilizó el material de nailon 101, este elemento permitirá ensamblar el sistema de tren de aterrizaje a la estructura de la góndola, se procedió cortando dos pedazos rectangulares de nailon de 140x80x80, se

maquino en forma de omega en el centro se realizó una perforación de diámetro 60mm para que pase el eje, para sujetar dicho eje se pasó una broca 5/16 pulgada, mientras para sujetar este soporte se realizó 4 agujeros de 0,25 pulgada como se muestra en el Anexo de planos.

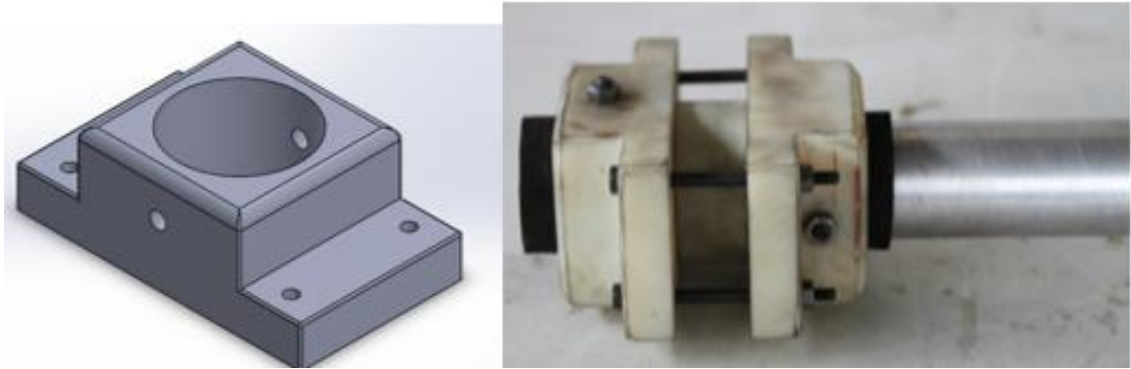


Figura 6-9 Construcción de los soportes.

Fuente: Autor

6.7.5 Ensamblaje del sistema de tren de aterrizaje

Se procede a ensamblar el sistema de amortiguación al eje y a la unión mediante pasadores,

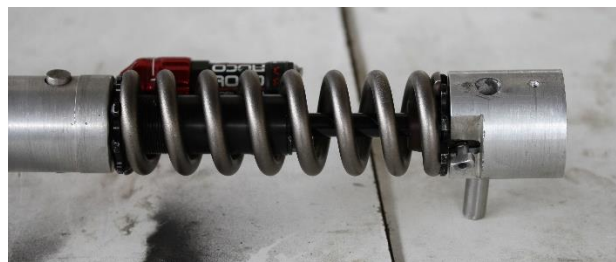


Figura 6-10 Ensamblaje sistema amortiguación unión y eje.

Fuente: Autor

Se ensambla la te a la unión que se encuentra ya ensamblado al sistema de amortiguación.



Figura 6-11 **Ensamblaje unión con la te.**

Fuente: Autor

Procedemos a colocar las dos ruedas en la T con su respectiva arandela y tuerca.



Figura 6-12 **Ensamblaje de los neumáticos.**

Fuente: Autor

El ensamble anterior colocar con sus respectivos soportes en la góndola como se muestra en figura siguiente:



Figura 6-13 **Ensamblaje del tren de aterrizaje en la góndola.**

Fuente: Autor

Finalmente para evitar que el eje se flexione por el torque o por el arrastre de las ruedas se colocó dos amortiguados a gas indicadas en la figura siguiente:



Figura 6-14 **Ensamblaje de los amortiguadores a gas.**

Fuente: Autor

6.8 Administración

Una vez finalizada la construcción se procede a calcular el costo total del tren de aterrizaje para su respectivo análisis, para lo cual tenemos en la siguiente tabla los costos de los materiales y el maquinado correspondiente a cada pieza que se construyó.

Tabla 6-11 **Costo de materiales y maquinado.**

N°	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio Total
1	Eje 6061-T6 d=2in, L= 800mm	1	U	50	50
2	Eje 6061-T6 d=1,25in, L= 300mm	1	U	25	25
3	Eje 6061-T6 d=2,25in, L= 100mm	1	U	15	15
4	Nailon 149x80x80	2	U	53,6	107,2
5	Electrodo ER-5356	1	U	32	32
6	Lijas	3	U	5	15
7	Sistema de amortiguación	1	U	500	500
8	Peros tuercas y	15	U	1	15

	arandelas				
9	Ruedas	2	U	68,49	136,98
10	Amortiguadores a gas	2	U	85	170
11	Torneado	N/A	N/A	233	233
12	Soldado	N/A	N/A	65	65
13	Guantes	2	U	1,5	3
14	Mascarilla	3	U	1	3
Precio Total (USD)					1370,18

Fuente: Autor.

Los costos por mano de obra se calcularon tomando en cuenta el sueldo de un sargento como el maestro y del cabo como ayudante, ya que estas dos personas intervinieron en la construcción directamente de los elementos que conforma el tren de aterrizaje, dichos cálculos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6-12 Costo mano de obra.

Cargo	Horas de trabajo	Costo-hora	Total
Maestro	40	13,24	529,6
Ayudante	40	8,33	333,2
Precio Total (USD)			862,8

Fuente: Autor.

EL costo total de construcción del tren de aterrizaje es la suma de la mano de obra respecto a los materiales utilizados dando un total de 2232,98 dólares.

Por ultimo una vez que se realizaron los cálculos del costo de la construcción del tren de aterrizaje se procedió a obtener el costo total de la investigación como se muestra a continuación:

Tabla 6-13 Costo total de la investigación.

N°	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio Total
1	Tren de aterrizaje ensamblado	1	U	2232,98	2232,98
2	Materiales de oficina	1	U	100	100
3	Transporte	1	U	350	350
4	Bibliografía	1	U	300	300
5	Anillados	8	U	4	32

6	Calibrador	1	U	45	45
7	Cámara	1	U	195	195
8	Flexómetro	1	U	8	8
9	Alimentación	20	U	2	40
10	Impresiones	8	U	10	80
11	Personal	1	U	800	800
Precio Total (USD)					4182,98

Fuente: Autor.

6.9 Previsión de la evaluación

Una vez de haber finalizado la presente investigación, el mismo que fue realizado el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana de la ciudad de Ambato, se sugiere tomar en consideración todas las conclusiones y recomendaciones citadas en el capítulo cinco, con el fin de poder garantizar el diseño. Además se recomienda engrasar los puntos móviles, especialmente en el sistema de la rueda loca para que su deslizamiento sea suave y no se atasque, también se debe realizar una revisión periódica al sistema de amortiguamiento ya sea la resorte como al amortiguador.

BIBLIOGRAFÍA

- a) Askeland, Donald R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los materiales. Tercera Edición. Pág.371
- b) Atienza Ricardo y Malte Frövel (1980). Histórica de los Trenes de Aterrizaje en las aeronaves. Pág. 15,16.
- c) Ficha técnica NFT01. (2000). Introducción al análisis de fatiga o durabilidad. Editorial Iberisa. Pág. 19,20.
- d) Harmer E. Davis. (1982). Ensaye e Inspección de los Materiales de Ingeniería Editorial: CONTINENTAL, S. A. DE C. V. MEXICO 22, D. F. Tercera Edición. Pág. 46,47
- e) Hufnagel.W. (1987).manual del Aluminio. Ed. Reverte. Barcelona.
- f) INEN. (1981).Dibujo Técnico Mecánico (1ra Edición).
- g) Ibars José Ramón. (2007).Aluminio y Aleaciones de Aluminio.
- h) Machucha Domínguez, J. A. (Editorial Mc. Graw Hill.). (1995).Dirección de operaciones. Aspectos estratégicos en la producción y los servicios. Pág. 12,13.
- i) Madrigal Oscar (2008). Análisis de Integridad de un Componente Estructural de uso Aeronáutico. tesis. Pág. 80,102
- j) Mott Robert L. (2006) Diseño de Elementos de Máquinas. (4ta Edición). D. R. 2006 Por Pearson Educación de México S.A. de C.V.
- k) Rodríguez., M. e. (2008). Fundamentos de Mecánica de Sólidos. Cuautitlán Izcalli. Pág. 70,74,75
- l) Rodríguez., M. e. (2011). Vibraciones Mecánicas. Cuautitlán Izcalli, 2.
- m) Shirley, E, & Charles, R. (2008). Diseño en ingeniería mecánica. Editorial: Mcgraw-hill. Octava edición. Pág. 6
- n) Sumitec. Generalidades del aluminio. (1998).disponible en la página: www.sumiteccr.com
- o) V.H. Guerrero, J. Dávila, S. Gales. P. Pontón, N Rosas. (2011). Nuevos materiales aplicaciones estructurales e industriales. Edición. Primera.
- p) Viscomi. José Fernando. (1990). Materiales Aeronáuticos. tesis de la Universidad Tecnológica Nacional.

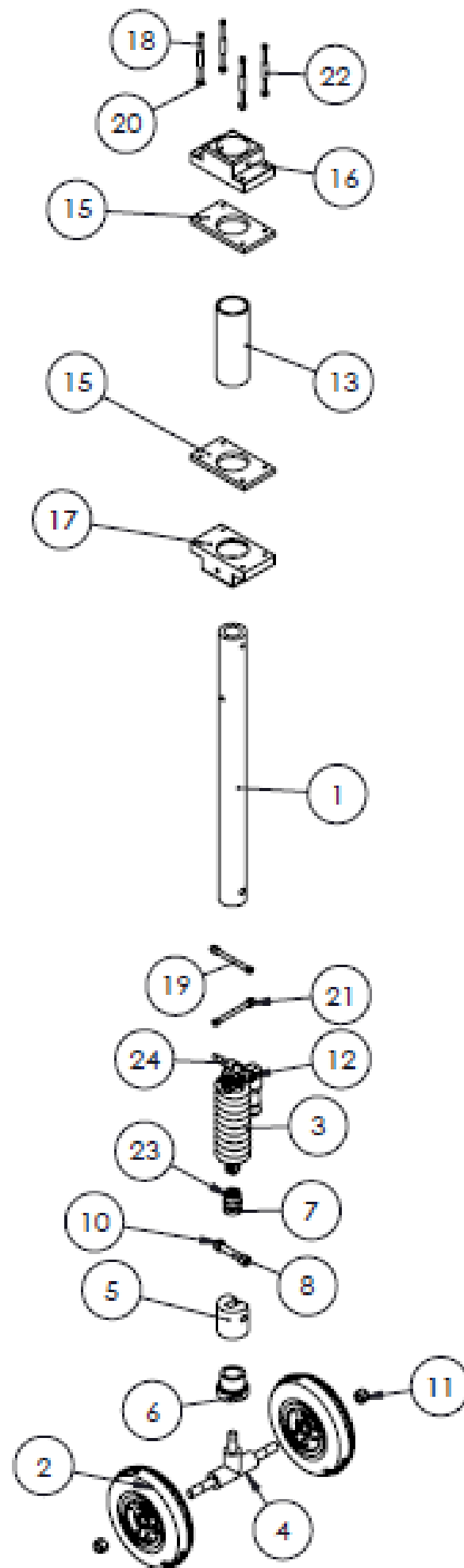
ANEXOS

ANEXO 1

PLANOS

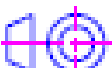
DEL

TREN.

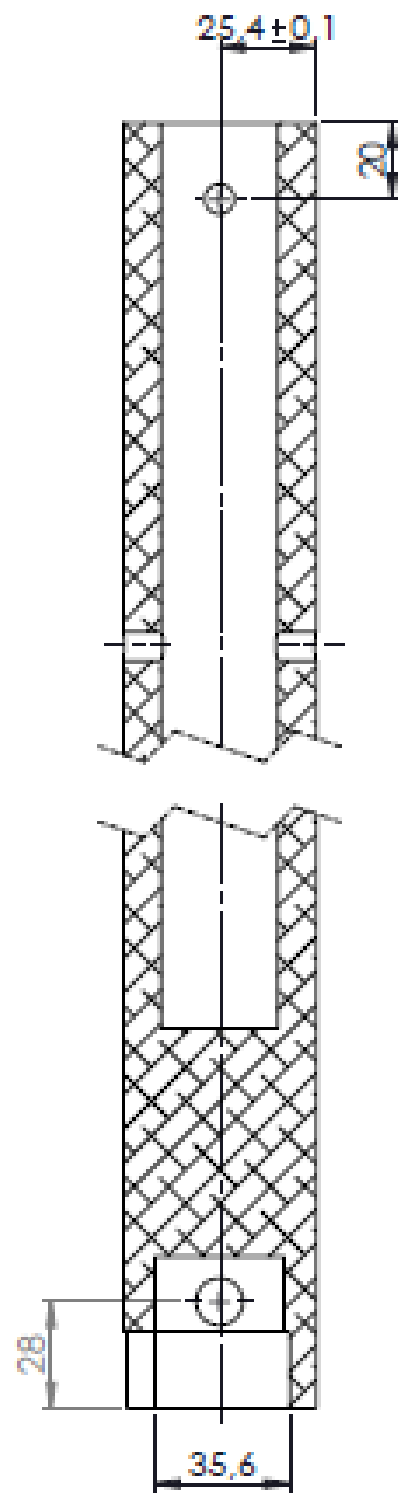


N.º	N.º DE PIEZA	MATERIAL	DESCRIPCIÓN	C.
1	EJE-SOPORTE AMORTIGUADOR-GONDOLA	6061-T6	Eje macizo	1
2	RUEDA 200X50		Adquirida, Aro de aluminio	2
3	AMORTIGUADOR ROCO CON CAMARA DE PRESURIZACION		Incluye resorte de 400lbf	1
4	T DE SEPARACION	6061-T6	Anclaje para ruedas locas	1
5	UNIÓN RESORTE PARTE MOVIL	6061-T6		1
6	RODAMIENTO		Adquirido	2
7	ISO 4762 M12x65---36C	Grado 8	Perno M12, cabeza allen, L=70mm	1
8	ISO 4762 M12 x 65 --- 36C	Grado 8	Perno M12, cabeza allen, L=70mm	1
9	ISO 4762 M12 x 70 --- 36C	Grado 8	Perno M12, cabeza allen, L=70mm	1
10	ISO 7719-M12-N	Grado 8	Tuerca	1
11	ISO 7720-M14-N	Grado 8	Tuerca 5/16 in, Hexagonal	2
12	Hexagon Nut ISO - 4033 - M12 - D - C	Grado 8		1
13	BUJE DE CAUCHO	Poliuretano (11671)	Amortiguación del eje	1
14	BUJE EN LA GÒNDOLA	Nailon 101	Pegar en la pared del agujero	1
15	CAUCHO	Poliuretano (11671)	En las bases de los soportes	2
16	SOPORTE GÒNDOLA-TREN DE ATERRIZAJE	Nailon 101	Sujeción del tren de aterrizaje	2
17	HHSNUT 0,6250-11-D-C			1
18	HX-SHCS 0.25-28x4.25x1.25-C	Grado 8	Perno 1/4, cabeza allen, L=4,25in	4
19	HX-SHCS 0.3125-18x3.75x1.125-N	Grado 8	Perno 5/16, cabeza allen, L=3.5in	2
20	HTNUT 0.2500-28-D-N	Grado 8	Tuerca 1/4 in, Hexagonal	4
21	HTNUT 0.3125-18-D-N	Grado 8	Tuerca 5/16 in, Hexagonal	2
22	UNION RESORTE PARTENMOVIL	6061-T6	Sistema rueda loca	1
23	HHSNUT 0.6250-11-D-C	Grado 8	Tuerca de castillo, M15	1
24	PASADOR AMORTIGUADORES	6061-T6	Sujetar amortiguadores de gas	1

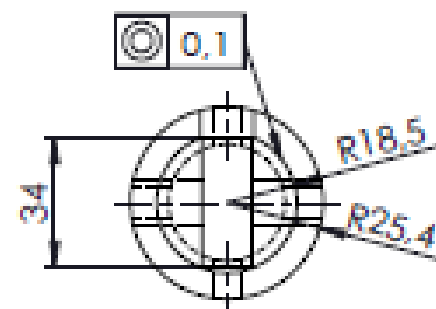
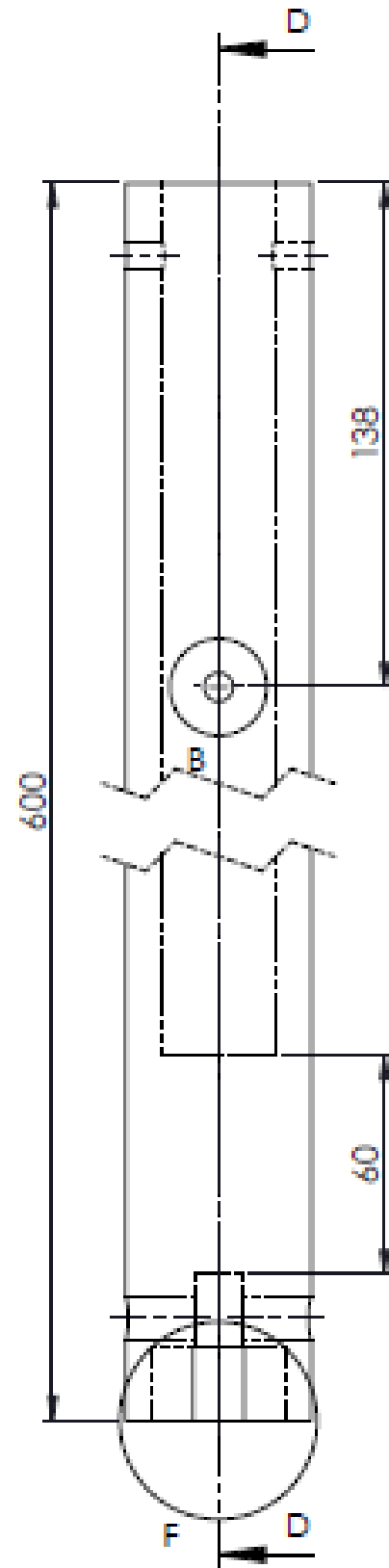
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	9,027 Kg	VARIOS	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dibujo: 22/08/14	Osquei J.	TREN DE ATERRIZAJE	
				Revisó: 09/12/14	Ing. López G.	Escala: 1:10	
				Aprobó: 09/12/14	Ing. López G.	Número del dibujo: 01 de 08	
				UTA Ingeniería Mecánica		(Sustitución)	
Fecha:	Modificación:	Fecha:	Nombre:				



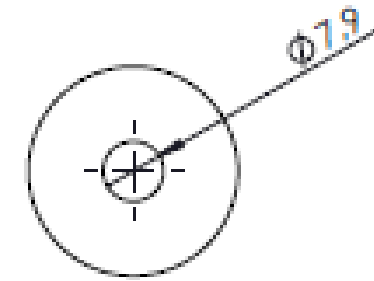
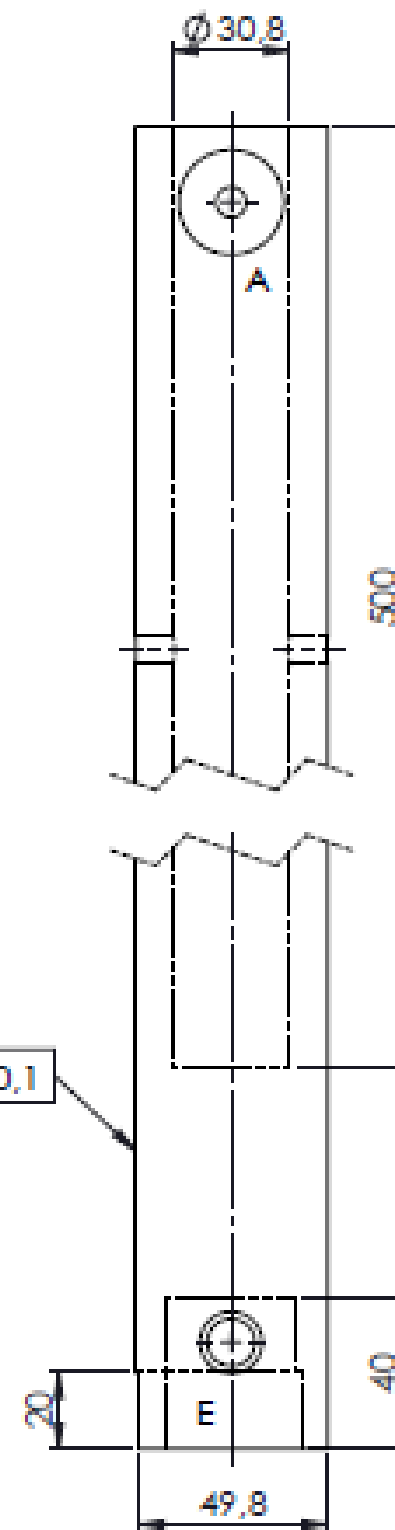
3,2 N8



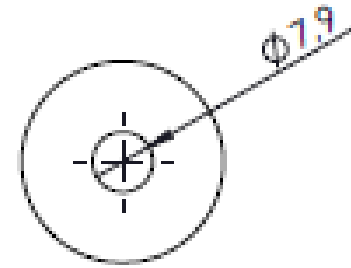
SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 2



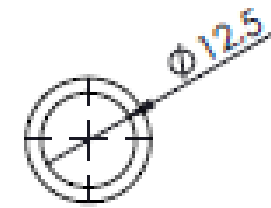
0,1



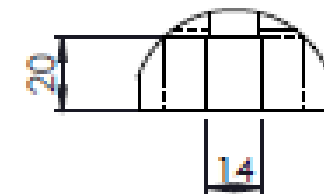
DETALLE A
ESCALA 1 : 1



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

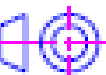


DETALLE E
ESCALA 1 : 1

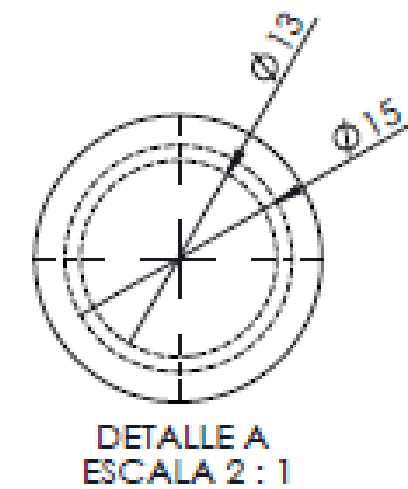
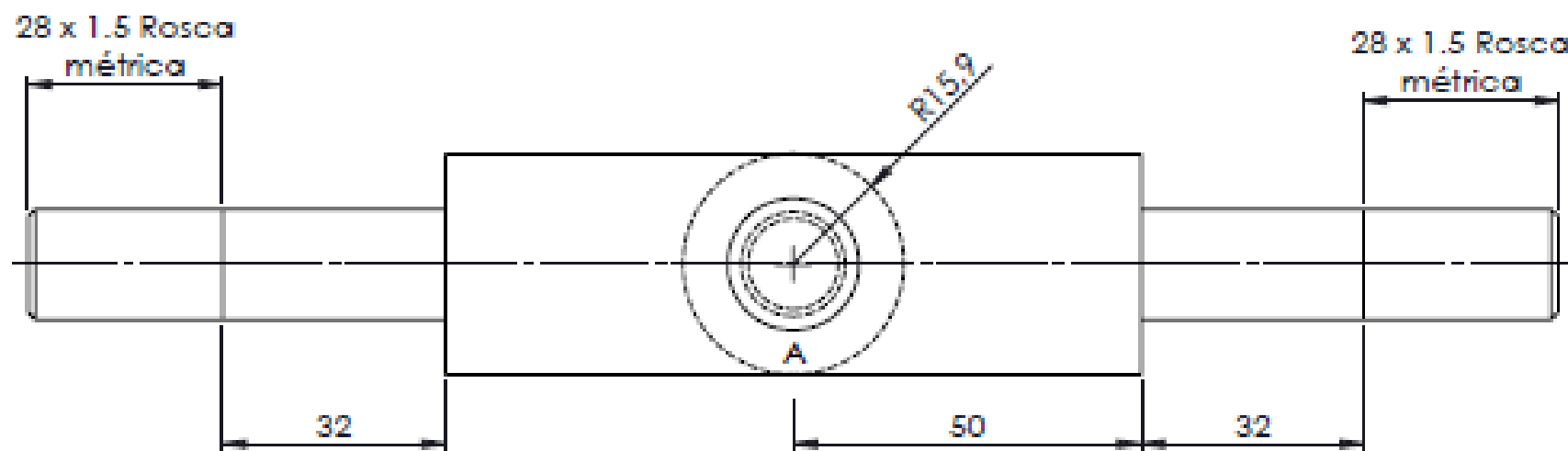
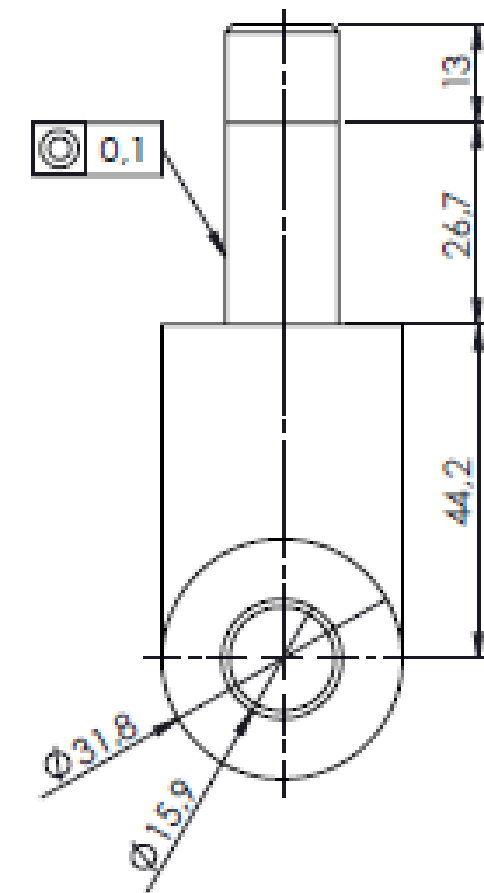
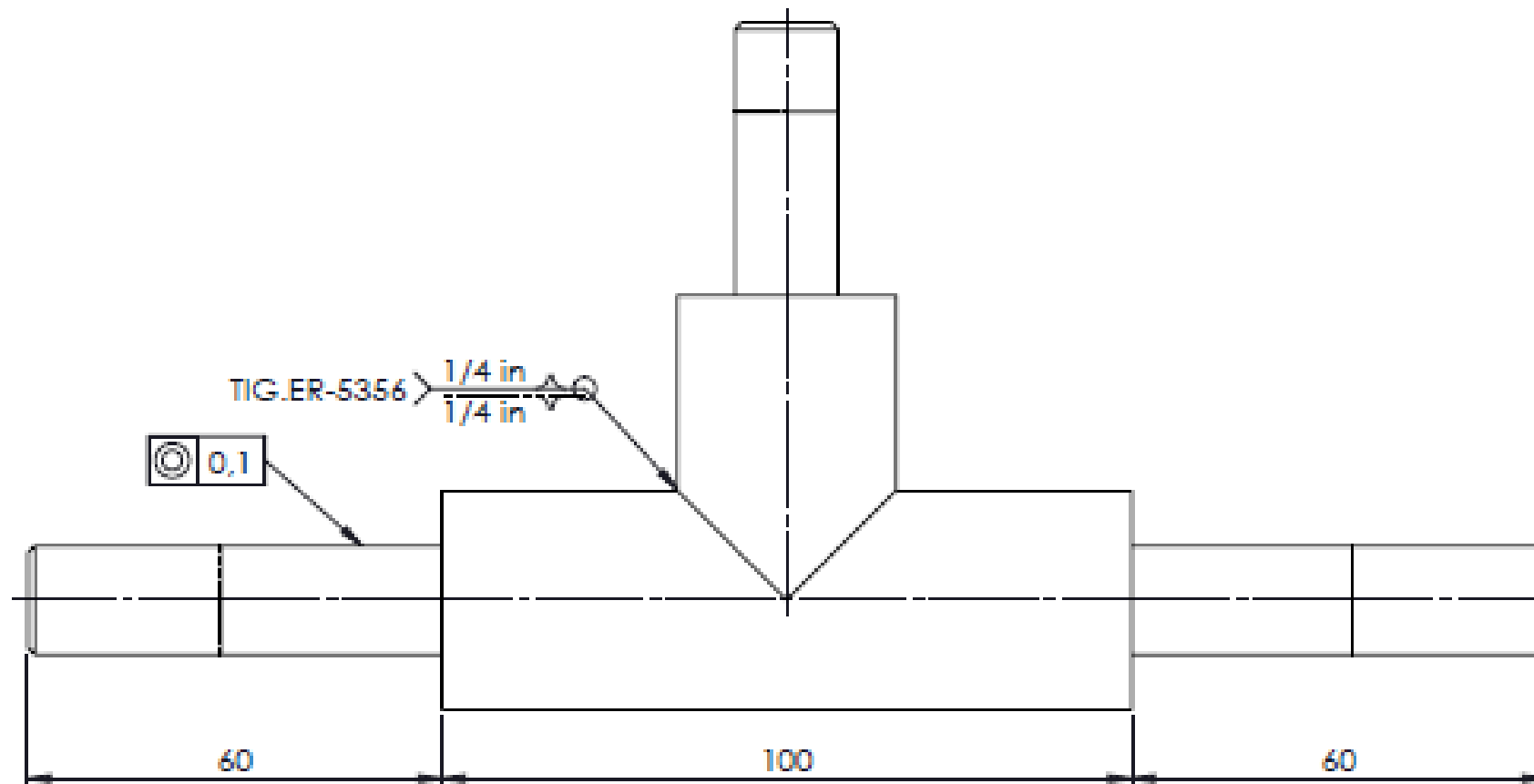


DETALLE F
ESCALA 1 : 2

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	1,41 Kg	ALEACIÓN DE ALUMINIO 6061-T6	
						Fecha	Nombre
						Dibujo: 22/08/14	Quique J.
						Revisó: 09/12/14	Ing. López G.
						Aprobó: 09/12/14	Ing. López G.
				UTA Ingeniería Mecánica		Denominación:	
						EJE DE SOPORTE AMORTIGUADOR-GÓNDOLA	
						Número del dibujo:	02 de 06
						(Sustitución)	
						Escala: 1:2	

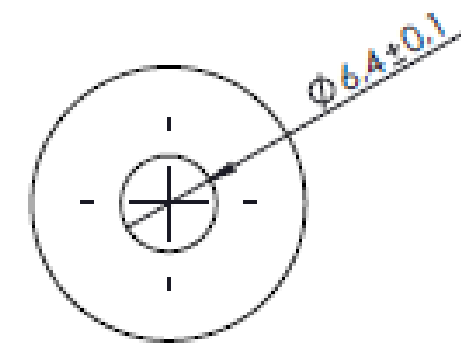
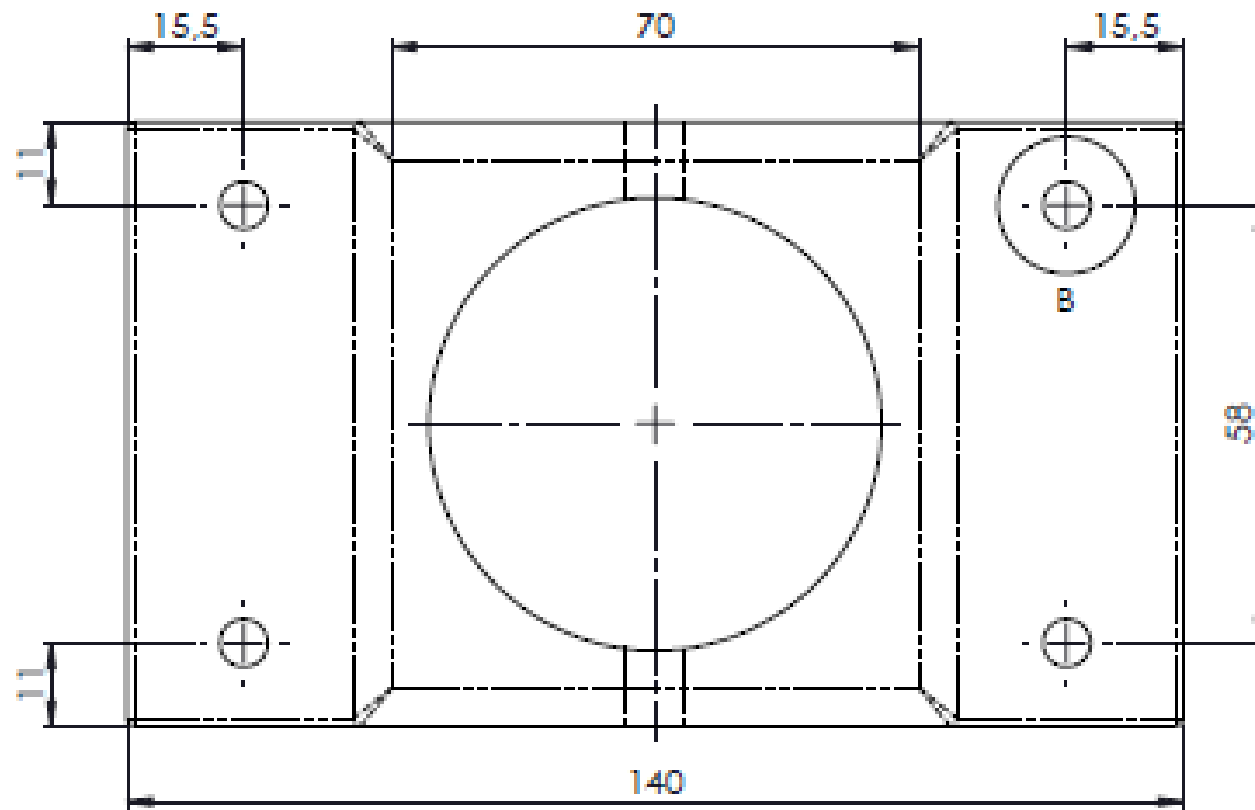
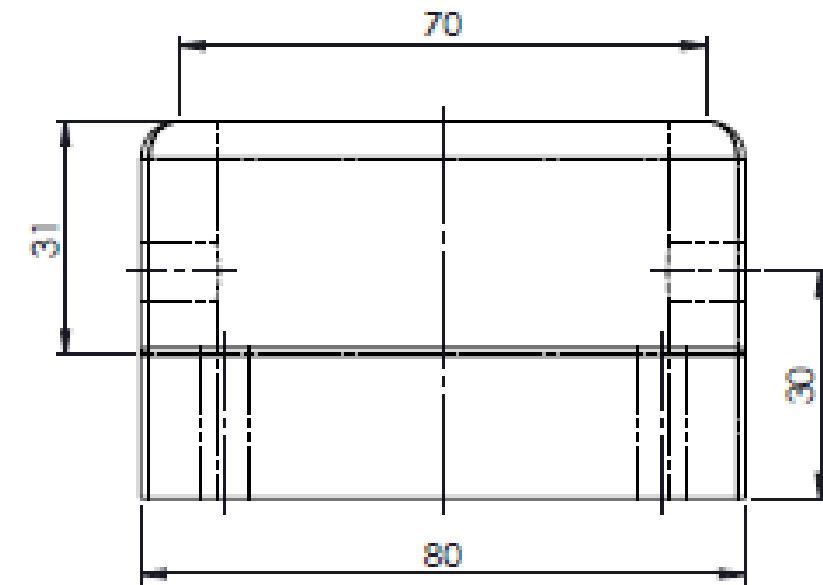
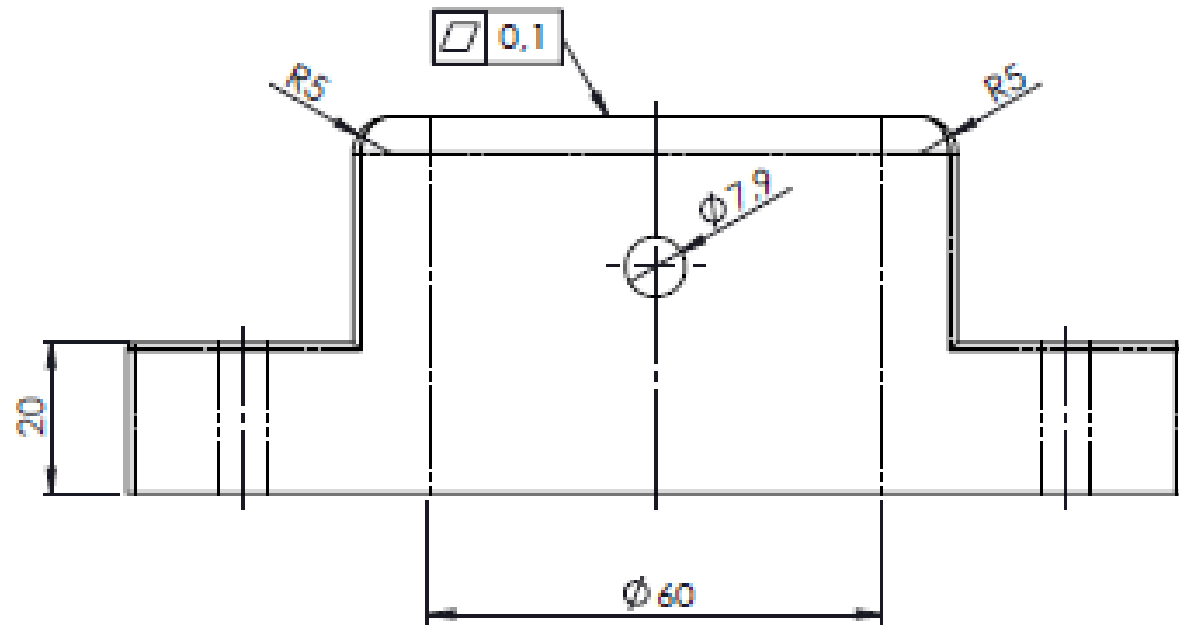


3,2 N8/



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.362 Kg	ALEACIÓN DE ALUMINIO 6061-T6	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujo: 22/09/14	Osquepe J.	T DE SEPARACIÓN-RUEDA LOCA	1:1
				Revisó: 09/12/14	Ing. López G.		
				Aprobó: 09/12/14	Ing. López G.		
				UTA		Número del dibujo: 03 de 06	
				Ingeniería Mecánica		(Sustitución)	
Fecha	Modificación	Fecha	Nombre				

3,2 N8



DETALLE B
ESCALA 2 : 1

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.3 Kg	Nailon 101	
						Fecha	Nombre
						22/09/14	Osipe J.
						Revisó: 09/12/14	Ing. López G.
						Aprobó: 09/12/14	Ing. López G.
						Denominación:	
						SOPORTE SUPERIOR GÓNDOLA-TREN DE ATERRIZAJE	
						Número del dibujo: 05 de 06	
						(Sustitución)	
						Escala: 1:1	
Fecha	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica			

