

**REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN
ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE ALA DELTA**

LEONARDO DAVID PAYARES LUNA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2.009

**REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN
ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE ALA DELTA**

LEONARDO DAVID PAYARES LUNA

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Mecánico**

Director:

JORGE ENRIQUE MENESES FLÓREZ

Magíster en Ingeniería

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2009

DEDICATORIA

A Dios, que ha cuidado de mi y de mi familia, y que me llena de fuerzas en los momentos difíciles, a mi padre Carlos, quien ha sido un modelo a seguir y mi inspiración para lograr mis metas, a mi madre Eufemia, quien con su cariño ha llenado de motivos mi vida y mi futuro.

A mis hermanos Carlos, Diana, Mauricio, Juan Pablo, y al resto de mi familia.

Leonardo David Payares Luna.

AGRADECIMIENTOS

Por medio de estas líneas quisiera expresar mi agradecimiento a todas las personas que directa o indirectamente han colaborado en el desarrollo de este proyecto.

Quisiera agradecer la inestimable ayuda recibida, al profesor Jorge Enrique Meneses, Ingeniero Mecánico, y director de este proyecto, por su constante asistencia y particular interés en lograr que este proyecto se desarrollara de la mejor forma posible.

Ingeniero aeronáutico David Castañeda, por enfocar la investigación inicial y recopilación bibliográfica.

A la escuela de deportes de la Universidad Industrial de Santander por prestar los pesos olímpicos indispensables para el desarrollo del proyecto.

A los señores Henry Cruz, y Fredy Vargas por su valiosa colaboración en el proceso de construcción del proyecto.

A mis compañeros Ronal Pinzón, Cristian Aldana, Sergio Granados, Miguel Palencia, Julián Gómez, Ricardo Gómez, y William Pinto, por sus aportes y ánimos.

A los amigos Jezir Plata, Fernando Rubio y Fabio Molina, integrantes de mi grupo artístico, con el cual se consiguieron gran parte de los recursos económicos para llevar a feliz término este trabajo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.	1
1. OBJETIVOS.....	3
1.1 Objetivos generales.....	3
1.2 Objetivos específicos.	3
2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN.	5
2.1 TREN DE ATERRIZAJE DE COLA.	5
2.1.1 Alternativa 1: Cuadrilátero deformable.	5
2.1.2 Alternativa 2: Elite.	7
2.1.3 Alternativa 3: Tren de aterrizaje de forma piramidal.....	9
2.2 TREN DE ATERRIZAJE DELANTERO.	11
3. GENERALIDADES, Y DESCRIPCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DISEÑADO.....	13
3.1 DEFINICIONES.	13
3.1.1 Definición de ultraliviano:	13
3.1.2 Ultraliviano pendular o trike:	13
3.1.3 Fuerzas que actúan sobre un avión en vuelo.....	14
3.1.4 Procedimiento de aterrizaje de un trike.	15
3.2 TREN DE NARIZ DEL ULTRALIVIANO.	16
3.3 TREN PRINCIPAL O TRASERO DEL ULTRALIVIANO.	17
3.3.1 Cuerpo.	19
3.3.2 Brazos laterales	20
3.3.3 Trapecio inferior.....	21
3.3.4 Manivela.....	22
3.3.5 Eje rueda.....	22
3.3.6 Conjunto Resorte – Amortiguador.	23
4. PROCESO DE REDISEÑO DEL TREN DE ATERRIZAJE DELANTERO Y PRINCIPAL DEL ULTRALIVIANO.....	26

4.1 REDISEÑO DEL TREN DE ATERRIZAJE DELANTERO.	26
4.1.1 Cálculo de las distancias interarticulares.	27
4.1.2 Diseño de los pedales de control.....	31
4.2 REDISEÑO DEL TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL.....	32
4.2.1 Fuerzas que actúan en el tren de aterrizaje.	33
4.2.2 Prueba de caída libre (Free drop test).....	36
4.2.3 Simulación dinámica computacional de la prueba de caída libre.	40
4.2.4 Diseño del resorte helicoidal.	43
4.2.5 Caracterización y rediseño de partes del amortiguador.	47
4.2.7 Diseño del trapecio inferior.	55
4.2.8 Diseño de la manivela.	57
4.2.9 Diseño de pasadores tren principal.....	59
4.2.10 Diseño del eje de la rueda.	61
4.2.11 Diseño del cuerpo.	63
5. PROCESO DE MANUFACTURA DEL TREN DE ATERRIZAJE.....	66
5.1 CONSTRUCCIÓN DEL CUERPO.	66
5.2 CONSTRUCCIÓN DE LOS BRAZOS LATERALES.....	67
5.3 CONSTRUCCIÓN EJE DE LA RUEDA.....	68
5.4 CONSTRUCCIÓN MANIVELA.....	69
5.5 CONSTRUCCIÓN TRAPECIO INFERIOR.	70
5.6 CONSTRUCCIÓN RESORTES HELICOIDALES.....	71
5.7 MODIFICACIÓN DEL AMORTIGUADOR HIDRÁULICO.	72
5.8 CONSTRUCCIÓN DE LOS PEDALES DE CONTROL.....	76
5.9 CONSTRUCCIÓN TENEDOR TREN DELANTERO.....	77
6. PRUEBAS.....	78
Una vez concluido el proceso de manufactura y montaje del tren de aterrizaje, se procede a evaluar el su comportamiento mediante pruebas.	78
6.1 COMPROBACIÓN DE DISEÑO DEL RESORTE.....	78
6.2 PRUEBA DE CAÍDA LIBRE.....	80
6.2.1 Interpretación de resultados.....	81

6.3 TREN DELANTERO.	85
7. CONCLUSIONES.	87
8. RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES.	89
BIBLIOGRAFÍA.	90
RECURSOS WEB.	91
ANEXOS.	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Alternativa 1.	6
Figura 2. Alternativa 2.	7
Figura 3. Fuerzas y movimiento generados por impactos en la suspensión.	8
Figura 4. Alternativa 3.	9
Figura 5. Sentido de rotación de la articulación.	10
Figura 6. Modelo de pedaleras de control.	12
Figura 7. Trike.	13
Figura 8. Fuerzas que actúan sobre el avión en vuelo.	14
Figura 9. Secuencia de aterrizaje.	15
Figura 10. Tren delantero.	16
Figura 11. Unidad Tren de aterrizaje principal.	18
Figura 12. Cuerpo.	20
Figura 13. Brazo lateral.	21
Figura 14. Trapecio inferior.	21
Figura 15. Manivela.	22
Figura 16. Eje.	23
Figura 17. Subconjunto amortiguador – resorte.	25
Figura 18. Posición de los pedales adecuada definida por los ángulos de confort A. Wisner, para modelos percentil 5 y 95.	30
Figura 19. Banco de pruebas de caída libre.	40
Figura 20. Ejemplo simulación computacional de sistema tren de aterrizaje	41
Figura 21. Modelo computacional de una parte del tren de aterrizaje principal.	43
Figura 22. Carga crítica en tubo exterior del amortiguador.	50

Figura 23. Análisis de tensiones y factor de seguridad del tubo exterior amortiguador.	52
Figura 24. Cargas críticas en brazo lateral.	53
Figura 25. Análisis de tensiones y factor de seguridad del brazo lateral. .	54
Figura 26. Cargas críticas trapecio inferior.	55
Figura 27. Análisis de tensiones y factor de seguridad del brazo lateral. .	56
Figura 28. Cargas críticas manivela.	57
Figura 29. Análisis de tensiones y factor de seguridad manivela.	58
Figura 30. Cargas críticas en eje.	61
Figura 31. Análisis de tensiones y factor de seguridad del eje.	62
Figura 32. Cargas críticas en cuerpo.	63
Figura 33. Análisis de tensiones y factor de seguridad del cuerpo.	64
Figura 34. Sujeción del cuerpo a la mesa del centro de mecanizado.	66
Figura 35. Mecanizado de un brazo lateral.	68
Figura 36. Construcción eje de la rueda.	69
Figura 37. Proceso de mecanizado manivela.	70
Figura 38. Método de sujeción de las pestañas para el mecanizado del contorno exterior.	71
Figura 39. Construcción resortes helicoidales.	72
Figura 40. Proceso de recorte del amortiguador hidráulico.	73
Figura 41. Partes del amortiguador fabricadas.	74
Figura 42. Proceso de fabricación de asiento del resorte.	75
Figura 43. Proceso de fundición de los pedales.	76
Figura 44. Tenedor tren delantero y pedales.	77
Figura 45. Comprobación de la constante de elasticidad del resorte.	79
Figura 46. Toma de datos de la prueba de caída libre.	81
Figura 47. Fotograma donde se aprecia la fuerza de fricción lateral actuando en la rueda al momento del impacto.	83
Figura 48. Curva de compresión del resorte del tren principal en prueba de caída libre desde una altura de 8.5 cm.	84
Figura 49. Velocidad de la canastilla a lo largo de la prueba de caída libre.	85

Figura 50. Prueba tren delantero.....	86
Figura 51. Curva de comportamiento de varios tipos de resortes.....	94
Figura 52. Distribución de velocidad vertical de aterrizajes bajo diferentes condiciones.....	96
Figura 53. Curva de deflexión bajo carga de una rueda.....	98
Figura 54. Ultraliviano a rediseñar.....	99
Figura 55. Reporte de calidad del resorte.....	102

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones antropométricas población laboral colombiana sexo masculino.....	27
Tabla 2. Segmentos interarticulares y ángulos de confort del puesto de conducción A. Wisner.....	28
Tabla 3. Dimensiones segmentos articulares población laboral colombiana sexo masculino.	29
Tabla 4. Parámetros para diseñar el resorte.	44
Tabla 5. Parámetros de entrada del resorte.	46
Tabla 6. Proceso de diseño del resorte.....	47
Tabla 7. Datos suspensión delantera camioneta Chevrolet luv 2.3 L.	48
Tabla 8. Comparación de resultados del la simulación dinámica en Cosmosworks, con los resultados de la prueba de caída libre.....	82

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: LA DINÁMICA DEL ATERRIZAJE.....	93
Anexo B: CARACTERÍSTICAS DEL ULTRALIVIANO.....	99
Anexo C: PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	100
Anexo D: REPORTE DE CALIDAD DE TRATAMIENTO TÉRMICO DEL RESORTE, Y EQUIVALENCIAS ENTRE NÚMEROS DE DUREZA SUPERFICIAL Y ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.	102
Anexo E: HISTORIAL DE FUERZAS Y MOMENTOS EN ARTICULACIONES Y CONTACTOS ENTRE ELEMENTOS-SIMULACIÓN EN COSMOMOTION DE CAÍDA LIBRE DEL TREN PRINCIPAL.....	104
Anexo F: PLANOS.....	116

GLOSARIO

AEPUL: Asociación española de pilotos de ultralivianos.

Aeronavegabilidad: Representa la condición técnica y legal que deberá tener una aeronave para volar en condiciones de operación segura.

European aviation safety agency (Agencia europea de seguridad aérea) EASA: Es una agencia de la unión europea, con oficinas en Cologne, Alemania; facultada para regular todos los aspectos relacionados con el campo de la seguridad de la aviación civil.

Ala delta: Es un ala flexible que tiene una estructura formada por tubos de aluminio aeronáutico o fibra de carbono, cables de acero trenzado de alta resistencia y por una vela. La vela o tela se construye con tejidos de materiales plásticos resistentes (Dacron, Mylar, Matriz, etc.)

Ángulo de caída: Es el ángulo que queda definido entre el plano de la rueda y la vertical al suelo.

Carreteo: Conjunto de movimientos que el avión hace en tierra.

Carga límite: Son las máximas cargas que deben esperarse en servicio.

Carga última: Equivale a la carga límite multiplicada por el factor de seguridad.

Decolaje: Acción de despegue de una aeronave.

Energía de descenso: Es la energía cinética asociada con la velocidad vertical.

Factor de seguridad: Número que describe la fuerza operable, admisible y segura de un material.

Federal aviation administration (Administración federal de aviación)

FAA: Es un organismo del departamento de transporte de los Estados Unidos, con autoridad para regular y supervisar todos los aspectos de la aviación civil de los EE.UU. La FAA es el organismo gubernamental más influyente en el mundo de la aviación, seguido de la EASA.

Modulo de rigidez (G): Relación entre el esfuerzo cortante y su deformación unitaria.

Reglamento Federal de Aviación (Federal aviation regulation) FAR:

Son un conjunto de normas preescritas por la FAA, que rige todas las actividades de aviación en los Estados Unidos.

Resorte: Elemento de maquina que posee la propiedad de experimentar grandes deformaciones dentro del rango elástico del material, por la acción de las cargas que lo solicitan, construidos de materiales de alta elasticidad (típicamente acero).

Tren de aterrizaje: Se denomina tren de aterrizaje al conjunto de ruedas, soportes, amortiguadores y otros equipos que un avión utiliza para aterrizar o maniobrar sobre una superficie.

Tren de cola, principal o trasero: También es llamado tren principal. Este sistema recibe el impacto al momento del aterrizaje, lo que lo hace un componente muy importante del ultraliviano.

Tren de nariz: Parte delantera del tren de aterrizaje. En este se alojan los mecanismos de dirección y maniobra, como frenos dirección y acelerador.

Ultraliviano: Un ultraliviano es un carro motorizado suspendido bajo un ala de tipo delta. También es llamado trike debido a la configuración del tren de aterrizaje en forma de triciclo.

Valvulado: Conjunto de válvulas presentes en el amortiguador que producen el efecto de amortiguación por acción de la restricción del paso de un fluido hidráulico a través de estas.

Velocidad de descenso: Es el termino asociado a la velocidad vertical del ultraliviano al momento del aterrizaje.

RESUMEN

TITULO:
**REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO
MOTORIZADO TIPO TRIKE ALA DELTA.***

AUTOR (ES):
LEONARDO DAVID PAYARES LUNA. **

PALABRAS CLAVES:
Aviación ultraligera.

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto esta encaminado a fortalecer la línea de investigación y de apoyo tecnológico asociado con la industria aeromotriz en el departamento de Santander, reconociendo a la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander como pionera en el desarrollo de este tipo de proyectos a nivel regional.

En este proyecto se logró rediseñar y construir el tren de aterrizaje principal, y de nariz de una aeronave ultraliviana tipo trike de 390 Kg. de peso total, con capacidad de dos pasajeros, modelo Bison de la marca Cosmos Trikes, con el objetivo de mejorar las condiciones de seguridad, confort, y maniobrabilidad de esta en condiciones de aterrizaje, decolaje, y transito en la pista. La implementación de este tren de aterrizaje, mejora el comportamiento y control del ultraliviano, ya que hace posible el aterrizaje en campos no preparados para tal efecto, aumentando así, la seguridad en lugares duros y difíciles, realizando esta operación con confiabilidad.

Este trabajo se desarrolló bajo los lineamientos impuestos por los órganos internacionales mas reconocidos en materia de aviación civil, como son la Agencia Europea de seguridad Aérea EASA y la Administración Federal de Aviación FAA.

Con la aplicación de herramientas computacionales tipo **CAD-CAE-CAM**, como Solidwork 2007 y Mastercam X, se complementó el proceso convencional de diseño, con lo que se logró optimizar el tiempo de desarrollo del proyecto.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Jorge Meneses.

ABSTRACT

TITLE:

REDESIGN AND CONSTRUCTION LANDING GEAR OF A MOTORIZED ULTRA LIGHT TYPE DELTA WING TRIKE.

AUTHOR:

LEONARDO DAVID PAYARES LUNA.**

KEY WORDS:

Ultralight aviation.

DESCRIPTION:

This project is aimed to strengthen the research and technological support associated with the aircraft industry in Santander, recognizing the school of Mechanical Engineering at the Universidad Industrial de Santander as a pioneer in the development of such projects at regional level.

This project was made to redesign and build the main and nose landing gear in an aircraft type ultralight trike with 390 kg of total weight, with a capacity of two passengers, model Bison brand Cosmos Trikes, with the aim of improving its safety, comfort, and maneuverability in terms of landing, take-off, and traffic on the runway. The implementation of this landing gear gives a better behaviour and control of the ultralight, which makes landings in areas that have not been prepared for this purpose, thus the security is increased in places with hard and difficult terrain, making this operation more reliable.

This work was developed under the guidelines given by the most recognized international agencies in civil aviation, such as the European Aviation Safety Agency EASA and the Federal Aviation Administration FAA.

The conventional design process was complemented with the application of CAD-CAE-CAM computer tools such as Solidworks premium 2007, and Mastercam X, thereby the development time for the project is optimized.

* Senior Thesis

**Physical – Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Jorge Meneses.

INTRODUCCIÓN.

Durante muchos siglos el hombre, viendo que la naturaleza no le había proveído condiciones físicas suficientes para poder volar, comenzó a desarrollar (diseñar y construir, y en ocasiones solo construir) máquinas que suplieran dichas características, para acercarlo más a la experiencia de las aves.

En la actualidad, la práctica de volar no es tan esquiva como lo era en los principios del siglo pasado, y aunque muchas personas experimentan a diario esta sensación a bordo de aviones de pasajeros, solo pocas viven la emoción de sentir el aire y tener una visión panorámica del paisaje, al volar en pequeños modelos enmarcados en lo que se conoce como “*aviones ultralivianos*”. Si bien los primeros ULM eran extremadamente elementales, en el tiempo transcurrido desde entonces, se ha producido una notable evolución de las características de las aeronaves disponibles en este segmento del mercado, apreciándose una tendencia a la aparición de modelos cada vez más sofisticados técnicamente.

El diseño de estas maquinas ha ido evolucionando, y es por esto que, muchos de los ultralivianos motorizados de primera generación, como se denominaron a todos los creados a fines del 70 y comienzos de los 80, están siendo reacondicionados en todas partes del mundo, con el propósito de introducir las mejoras y características que distinguen los ultralivianos mas recientes.

El propósito de este proyecto es rediseñar el sistema de tren de aterrizaje de un ultraliviano pendular de dos plazas de la marca francesa “*Cosmos*”

trikes”, el cuál cuenta con un sistema de aterrizaje poco eficiente e inapropiado para maniobrar el aparato en terrenos irregulares. Por consiguiente, se tendrá un sistema de aterrizaje mucho más seguro, y se ampliarán las posibilidades de operar el ultraliviano en un rango más amplio de pistas de aterrizaje tanto preparadas como naturales.

1. OBJETIVOS.

1.1 Objetivos generales.

- ✓ Hacer efectiva y práctica la misión de la Universidad Industrial de Santander, comprometida con la generación y adecuación de conocimientos que permitan adaptar la tecnología existente a nuestro entorno así como mejorar la funcionalidad de los diseños.
- ✓ Crear un espacio propicio para la investigación y desarrollo de nuevos proyectos relacionados con el mejoramiento tecnológico en el área de diseño aeromotriz.

1.2 Objetivos específicos.

- ✓ Rediseñar y construir el tren de aterrizaje de cola de un ultraliviano motorizado tipo trike ala delta, que permita amortiguar los impactos generados al momento del despegue y aterrizaje; además permitir la posibilidad de maniobrar en terrenos pobremente preparados para tal efecto. Las características del ultraliviano son:
 - Marca: Cosmos
 - Modelo: Bison
 - Configuración: 2 Plazas Tandem
 - Peso vacío: 290 lb.
 - Peso total: 860 lb.
 - Área de las alas: 16.2 m²
 - Motor Standard: 503 Rotax
 - Potencia del motor: 46 Hp @ 6250 RPM.

- Velocidad crucero: 43 MPH.
 - Rata de ascenso con peso total: 800 pies/min
 - Distancia de despegue: 200 pies
 - Distancia de aterrizaje: 200 pies
-
- ✓ Realizar un estudio de esfuerzos mecánicos por elementos finitos mediante el paquete de simulación *Cosmos Works 2007*, a los diferentes elementos constituyentes del tren de aterrizaje de cola.
-
- ✓ Verificar el correcto funcionamiento del sistema construido, y el cumplimiento de los requisitos establecidos en el diseño mediante pruebas prototipo en tierra de caída libre, basadas en la legislación de la Asociación española de pilotos de ultraligeros AEPUL*.
-
- ✓ Diseñar y construir los pedales del tren de nariz del ultraliviano, que permitan realizar las operaciones de frenado y aceleración; además que proporcionen una plataforma de descanso adecuada para los pies del piloto.

2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN.

Antes de formular las alternativas de solución, se deben identificar los parámetros condicionantes del diseño. A continuación, se listan los parámetros principales que necesariamente se deben tener en cuenta para enfocar nuestro diseño:

- ✓ Comportamiento cinemático y dinámico.
- ✓ Costo.
- ✓ Peso.
- ✓ Espacio disponible.
- ✓ Facilidad de montaje y mantenimiento.
- ✓ Adaptabilidad sin grandes modificaciones a la estructura original.

2.1 TREN DE ATERRIZAJE DE COLA.

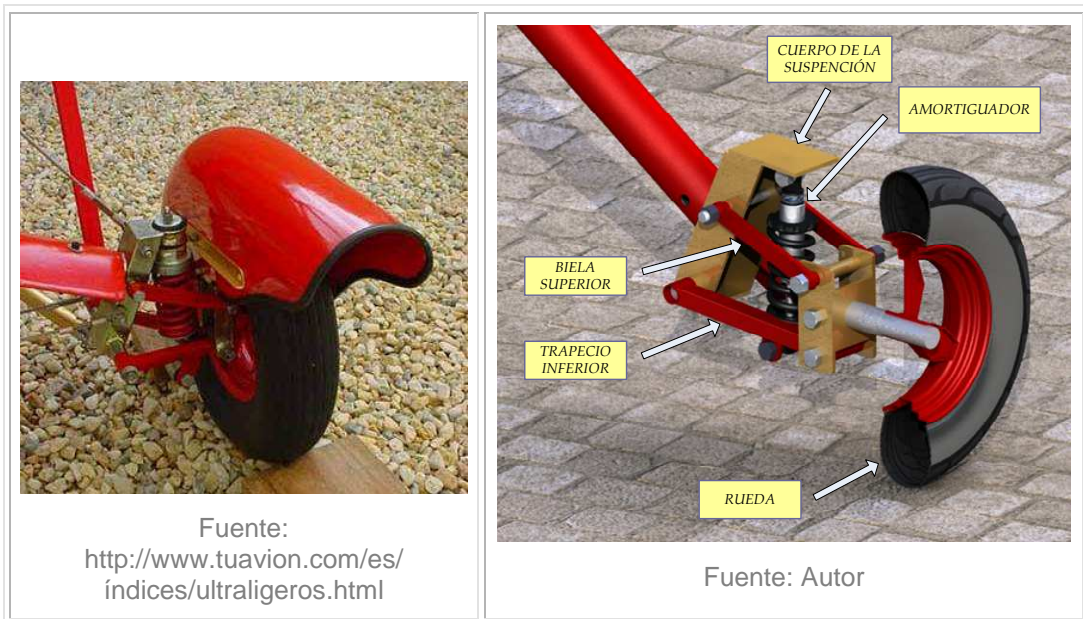
Para definir la mejor opción a desarrollar en este proyecto se han tenido en cuenta factores dinámicos, estructurales y económicos, analizando tres escenarios: un primer diseño que consiste en una suspensión tipo cuadrilátero deformable y amortiguador; un segundo diseño, adoptado del tren de cola del ultraliviano modelo *Elite* de la marca Motodelta Italia, y un tercer diseño muy difundido, de forma piramidal.

2.1.1 Alternativa 1: Cuadrilátero deformable.

Este sistema consta de dos bielas superiores y un trapecio inferior, que por un extremo se articulan al perfil circular o estructura portante, por medio del cuerpo de la suspensión, y por el otro extremo con el eje de la rueda. El conjunto formado por las bielas y el trapecio inferior, se

comporta como un cuadrilátero deformable. En este elemento de suspensión, el elemento elástico esta conformado por un resorte helicoidal anclado sobre el trapecio inferior y al cuerpo de la suspensión. El elemento amortiguador se monta concéntrico al resorte.

Figura 1. Alternativa 1.



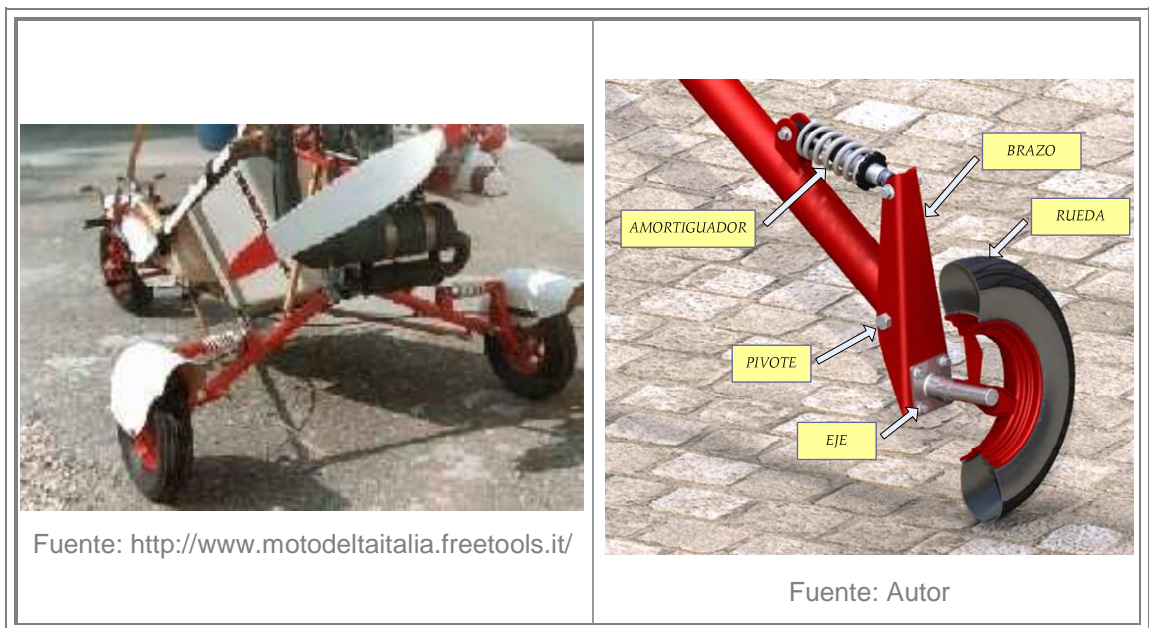
Para la construcción de éstos se emplea generalmente chapa de estampación, pero en muchos casos se hace uso de elementos de acero forjado; y aleaciones ligeras. En función de la disposición y de los ángulos geométricos característicos de los brazos se pueden obtener sacudidas con variación controlada tanto de la huella del neumático como de los ángulos de la propia rueda respecto al terreno.

Este tipo de suspensión es ampliamente utilizada también en suspensiones de autos rally, debido a su excelente desempeño en terrenos no uniformes, que requieren de altas prestaciones en cuanto a amortiguación.

2.1.2 Alternativa 2: Elite.

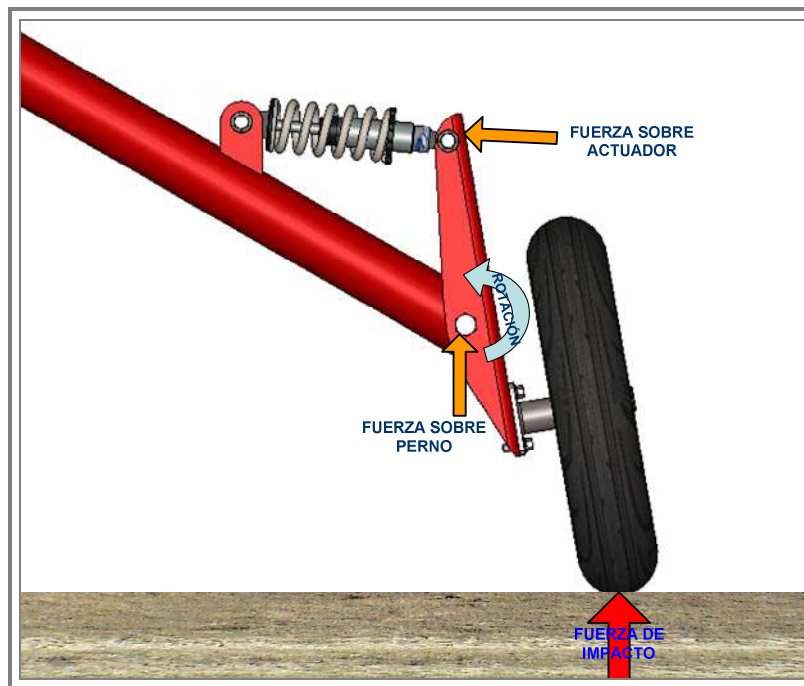
La segunda alternativa a evaluar es un diseño implementado en el modelo *l'elite* de los ultralivianos marca Motodelta Italia. Este sistema esta compuesto por un brazo conformado por doblado de lámina, que en un extremo pivota con el amortiguador, el cual presenta en este caso una disposición horizontal; y por el otro extremo esta atornillado al eje de la rueda. El brazo esta conectado a la estructura (perfil circular) por medio de un perno; articulación que permite la rotación del conjunto rueda – eje – brazo en torno al eje del perno.

Figura 2. Alternativa 2.



La acción de amortiguación se produce cuando la rueda recibe el impacto, y el conjunto rueda – eje – brazo se mueve en torno al pivote, comprimiendo así el amortiguador (ver fig. 2). El brazo transmite las fuerzas al pivote y al amortiguador.

Figura 3. Fuerzas y movimiento generados por impactos en la suspensión.



Fuente: Autor

Como el movimiento descrito por el punto de contacto de la rueda con la pista es un arco con centro en el pivote, el recorrido de la suspensión en la dirección del impacto no es muy amplio. Es por esto que esta suspensión no tiene capacidad de amortiguar eficientemente grandes impactos como los generados al momento del aterrizaje. Como consecuencia se transmite un porcentaje considerable de la carga de impacto a la estructura portante de la suspensión. También se puede observar que el ángulo de caída de la rueda varía mucho, lo que produce desgaste prematuro y desigual de los neumáticos.

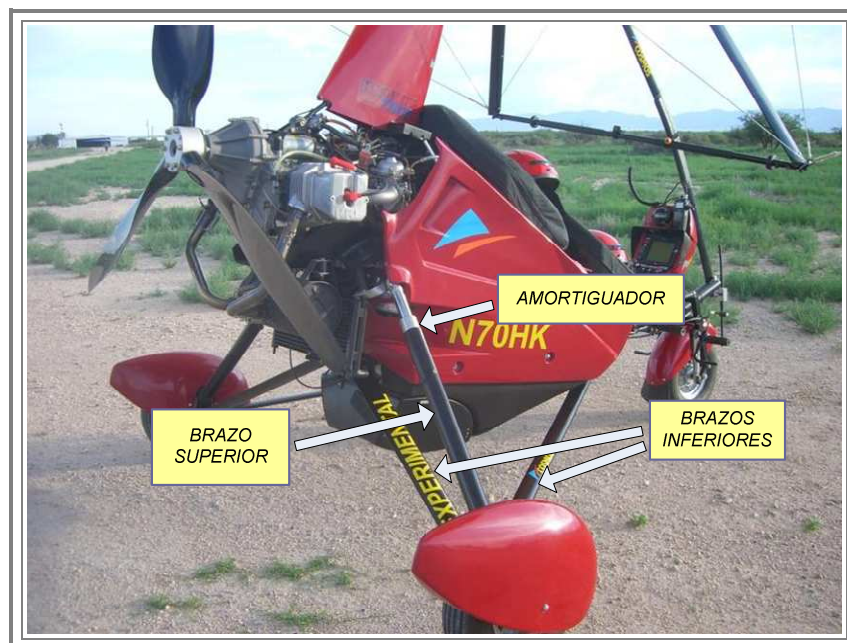
El montaje de este tren de aterrizaje, sube el centro de gravedad del ultraliviano, lo que puede afectar el rodaje y la estabilidad en aterrizajes y despegues con viento cruzado.

Observando el mecanismo de suspensión, se puede concluir que la acción de amortiguación no es muy eficiente.

2.1.3 Alternativa 3: Tren de aterrizaje de forma piramidal.

Este tren de aterrizaje es muy utilizado en los ultralivianos pendulares, por su facilidad de construcción y buen desempeño. Esta conformado por dos brazos inferiores articulados por un extremo a la estructura y por el otro al eje de la rueda, y un brazo superior donde se aloja el amortiguador. En conjunto, los tres brazos forman un tetraedro o pirámide, de ahí su nombre.

Figura 4. Alternativa 3.



Fuente: <http://trikeros.vuela.us/>

El tren de aterrizaje de forma piramidal, combinado con el amortiguador que absorbe los golpes más destructivos, hace posible el aterrizaje en campos poco preparados, aumentando la seguridad en lugares duros y difíciles, realizando esta operación con confiabilidad.

De las tres alternativas estudiadas, esta es la que más peso agregaría al ultraliviano; por otra parte, se debe hacer modificaciones a las articulaciones que unen el chasis con los brazos inferiores.

La articulación del sistema actual, permite que el brazo se retraiga, en el sentido que se muestra en la figura 5, facilitando así el transporte del ultraliviano en carretas pequeñas.

Figura 5. Sentido de rotación de la articulación.



Fuente: Autor

En la figura anterior se puede observar que para implementar la alternativa 3, debemos modificar la articulación brazo – chasis, para permitir que los brazos inferiores oscilen en la dirección del impacto; por tanto, la capacidad de retraer los brazos se pierde.

Al adaptar este tren de aterrizaje al ultraliviano en cuestión, conllevaría hacer grandes modificaciones a la estructura, lo que lleva a descartar esta alternativa.

Después de haber analizado las tres alternativas planteadas, se concluye que la alternativa 1 es la que cumple los requisitos de diseño planteados al comienzo de este capítulo, ya que es un modelo sencillo, económico, de bajo peso, con un comportamiento cinemático y dinámico satisfactorio, y cuya adaptación a la estructura no requiere grandes modificaciones en esta.

2.2 TREN DE ATERRIZAJE DELANTERO.

Después de haber estudiado el sistema actual e identificar la necesidad de rediseñar las pedaleras de control, se propone un diseño en el que las palancas de frenado y de aceleración se eliminen, y que sean las mismas pedaleras las que con un movimiento de rotación permitan acelerar el motor y accionar el freno. Con esto se evita que el piloto tenga que suspender el pie para accionar estos mecanismos y pueda mantener un nivel de confort adecuado.

El modelo de pedaleras de control propuesto consiste en un diseño ergonómico que hace del vuelo largo un descanso, pudiendo acelerar y frenar con el pedal correspondiente con un solo movimiento del pie.

En la figura 6 se puede apreciar el modelo de pedaleras a utilizar.

Figura 6. Modelo de pedaleras de control.



Fuente: Autor

3. GENERALIDADES, Y DESCRIPCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DISEÑADO.

3.1 DEFINICIONES.

3.1.1 Definición de ultraliviano:

Pequeño avión de concepción simplificada, monoplaza o biplaza, de peso inferior a 750 Kg., equipado con un pequeño motor.

3.1.2 Ultraliviano pendular o trike:

Un ultraliviano es un carro motorizado, con tren de aterrizaje de configuración triciclo, suspendido bajo un ala tipo delta.

Figura 7. Trike.



Fuente: <http://www.lightairplanes1.com/>

3.1.3 Fuerzas que actúan sobre un avión en vuelo.

Un avión experimenta diferentes fuerzas cuando está en el aire (Fig. 8):

- *Empuje o tracción:* Es una fuerza producida por los motores del avión, que “empuja” al mismo hacia adelante, en oposición a la fuerza de resistencia que ejerce la masa de aire.
- *Resistencia aerodinámica:* Fuerza que se opone al desplazamiento de objetos a través de fluidos. Desde el punto de vista físico los gases también se consideran fluidos. El diseño del avión debe minimizar esta resistencia.
- *Peso:* Debido al efecto de la gravedad, conocido por todos. Esta fuerza ejerce un empuje hacia abajo.
- *Sustentación:* Es el elemento clave. Se trata de una fuerza que ejerce empuje hacia arriba, contrarrestando la fuerza del peso.

Figura 8. Fuerzas que actúan sobre el avión en vuelo.

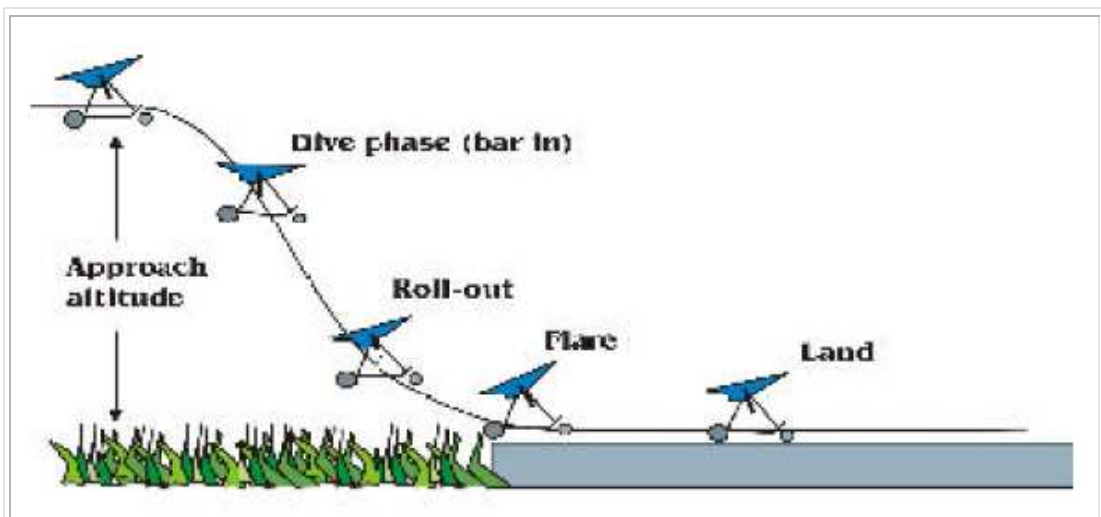


Fuente: http://www.aeromodelos.cl/fuerzas_del_vuelo/fuerzas_del_vuelo.jpg

3.1.4 Procedimiento de aterrizaje de un trike.

Los pilotos de trikes utilizan una particular técnica de aterrizaje, diferente a la técnica usada en aeroplanos convencionales. La secuencia de aterrizaje comienza con el alineamiento del trike con la pista desde una gran altura como se aprecia en la figura 9. Luego, el trike desciende (Dive phase) mientras gana velocidad, esto se logra desacelerando el motor, y acercando la barra de control del ala al cuerpo (Bar in). Como el trike se aproxima a tierra, la barra de control del ala se aleja del cuerpo para permitir que el aeroplano pierda velocidad y descienda aun más. Entonces, la barra de control se aleja más del cuerpo para levantar más el ala (flare); con esta maniobra se logra disminuir la velocidad de descenso y levantar el tren de nariz del ultraliviano para asegurar que el tren principal toque la pista antes que el tren de nariz. En este momento el trike vuela paralelo a la pista y con el paso del tiempo la velocidad desciende y el trike aterriza seguramente (Land).

Figura 9. Secuencia de aterrizaje.

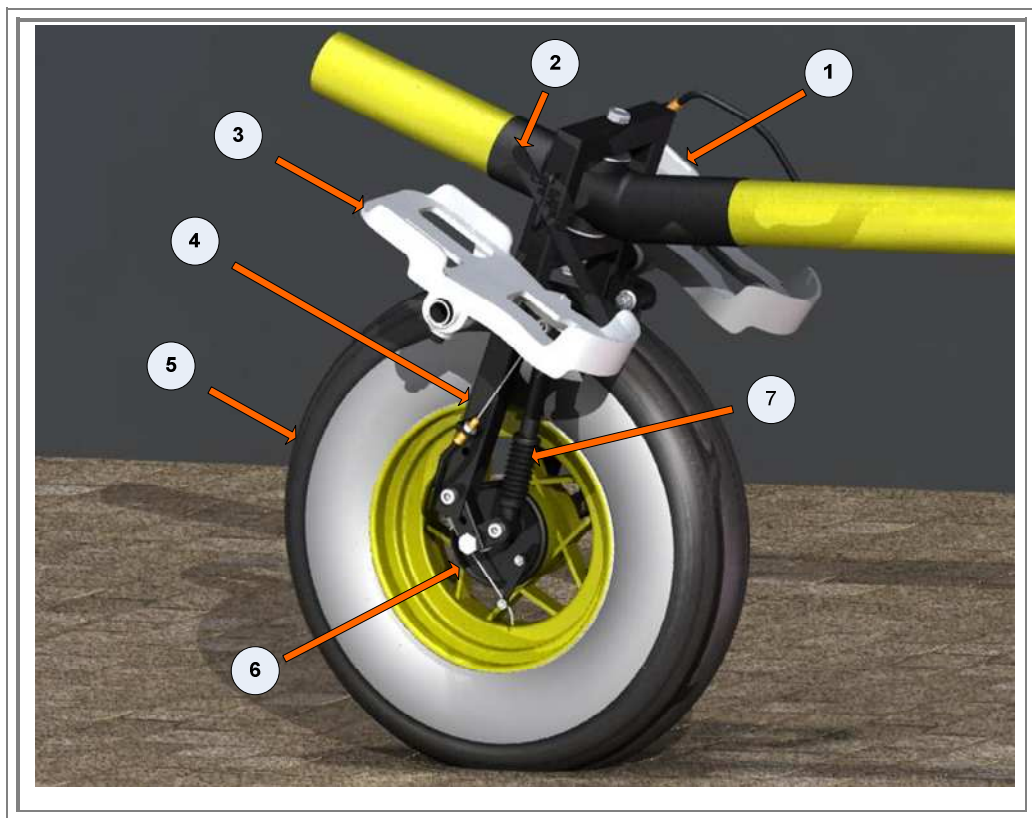


Fuente: <http://www.ias.ac.in/resonance/Dec2003/pdf/Dec2003p50-60.pdf>

3.2 TREN DE NARIZ DEL ULTRALIVIANO.

El tren de nariz está conformado por los pedales de control, que permiten las operaciones de aceleración, frenado, y giro en pista; el freno de parqueo que bloquea la rueda delantera al momento de estacionar; el tenedor que soporta los diferentes componentes; la campana de freno y el amortiguador. Su diseño se basó en abstracciones de fotografías de las pedaleras de un modelo de ultraliviano de la marca Aircraft (figura 10).

Figura 10. Tren delantero.



Fuente: Autor

LISTA DE PARTES TREN DELANTERO	
Nº	NOMBRE
1	PEDAL DERECHO (ACELERADOR)
2	FRENO DE PARQUEO
3	PEDAL IZQUIERDO (FRENO)
4	TENEDOR
5	RUEDA
6	FRENO
7	AMORTIGUADOR Y BALANCÍN

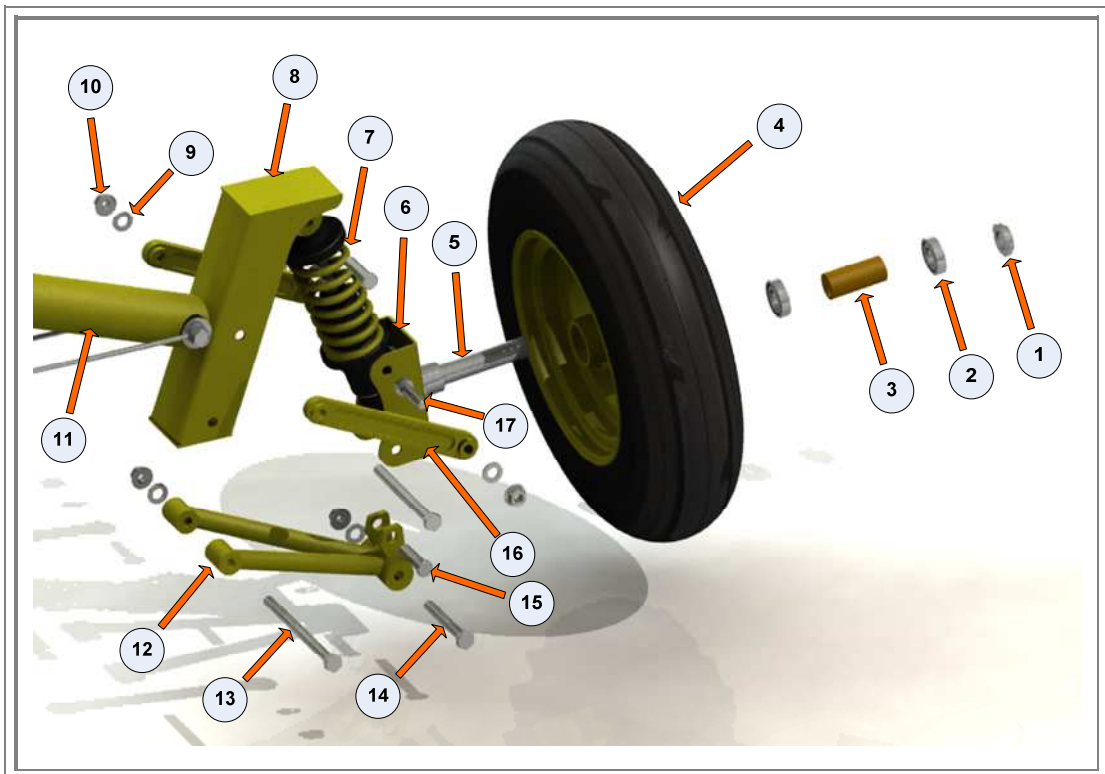
Las pedaleras fueron conformadas por fundición en arena, utilizando como material aluminio.

3.3 TREN PRINCIPAL O TRASERO DEL ULTRALIVIANO.

El tren trasero construido, es en si una adaptación de la ya conocida suspensión *cuadrilátero articulado* utilizada en los autos rally y ultralivianos italianos, en la que la rueda presenta un movimiento relativo al chasis, dirigido por un sistema de brazos oscilantes o mecanismo de cuadrilátero articulado, el cual, en conjunto con un subsistema amortiguador-resorte, brinda a la rueda la posibilidad de atenuar los impactos producidos en el aterrizaje e irregularidades del terreno.

En el rediseño del tren trasero han primado la adaptación del sistema sin grandes modificaciones al aparato, la ligereza del conjunto, y el aprovechamiento máximo del espacio disponible, teniendo en cuenta que el ancho del tren no debe ser mayor a 2 metros de longitud, para permitir el transporte fácil y seguro en carretera. En la figura 11 se puede apreciar el diseño seleccionado del tren de aterrizaje principal, con sus principales partes resaltadas.

Figura 11. Unidad Tren de aterrizaje principal.



Fuente: Autor

LISTA DE PARTES TREN PRINCIPAL		
Nº	NOMBRE	CANT.
1	TUERCA DE AJUSTE RUEDA	1
2	RODAMIENTO DE BOLAS 6904	2
3	BUJE DE RUEDA	1
4	RUEDA TREN TRASERO	1
5	EJE RUEDA	1
6	MANIVELA	1
7	SUBCONJUNTO RESORTE - AMORTIGUADOR	1
8	CUERPO	1
9	ARANDELA PLANA M10	5
10	TUERCA M10X1.5	5
11	PATA TREN PRINCIPAL	1

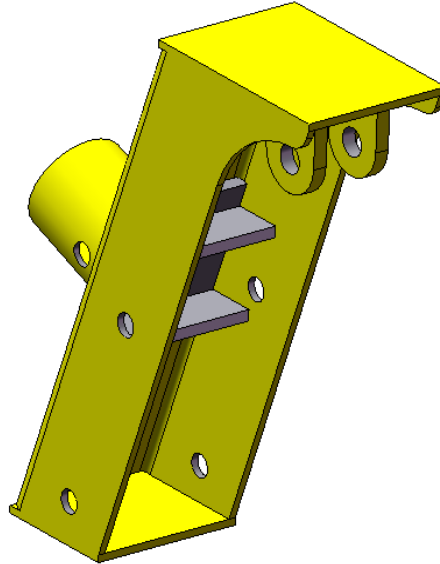
12	TRAPECIO INFERIOR	1
13	TORNILLO M10X1.5X150	1
14	TORNILLO M10X1.5X80	1
15	PASADOR AMORTIGUADOR	2
16	BRAZO LATERAL	2
17	TORNILLO M10X1.5X38.1	2

3.3.1 Cuerpo.

Esta parte es la articulación fija del sistema cuadrilátero articulado; cumple la función de acoplar el conjunto diseñado al tubo soporte del tren principal, además, también sirve de soporte de dos guayas, así como una barra transversal que dan rigidez al tren una vez armado.

Esta construido de lámina de acero ASTM A-36 Hot rolled de espesor 3 mm; consta de un perfil C doblado que constituye la base de la pieza, en este se han perforado unos taladros que sirven para articular de los brazos móviles, y soldado unas tapas del mismo material en los extremos. Una saliente circular, encaja con la pata del tren para fijarla a este último por medio de un perno.

Figura 12. Cuerpo.



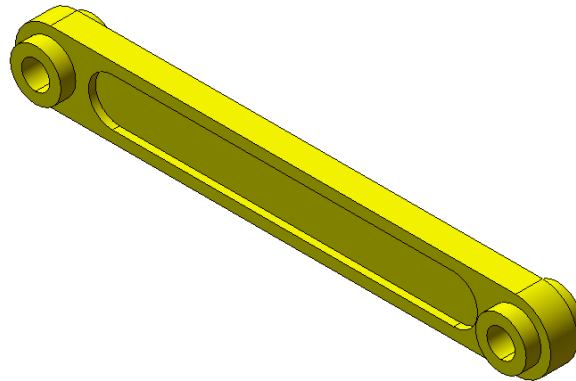
Fuente: Autor

3.3.2 Brazos laterales

Los brazos laterales, parte del cuadrilátero articulado del tren de aterrizaje, son un par de barras articuladas en el cuerpo por un lado y a la manivela por el otro. Cada uno está constituido de una barra de acero ASTM A-36 Hot rolled, conformada por mecanizado, a la cual se le han mecanizado dos agujeros de 18 milímetros en los extremos en donde se alojan dos bujes de acero AISI-SAE 1020.

Para aligerar peso, se ha removido material a lado y lado de los brazos.

Figura 13. Brazo lateral.

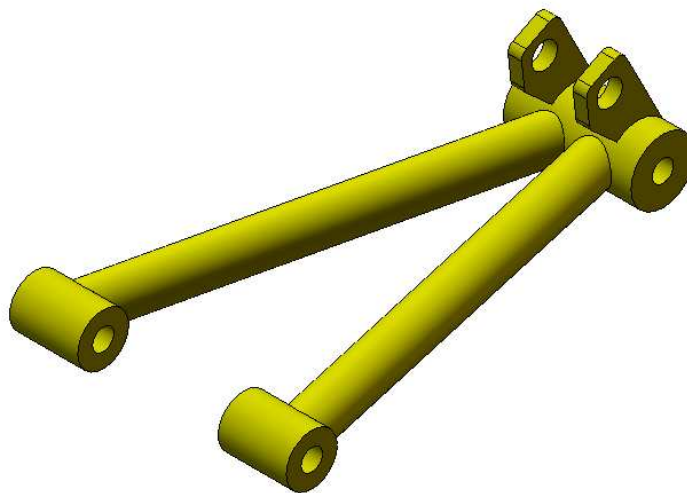


Fuente: Autor

3.3.3 Trapecio inferior

Al igual que los brazos laterales, este se articula en sus extremos con el cuerpo y la manivela; también aloja unas pestañas que se conectan por medio de un pasador con el ojo inferior del amortiguador.

Figura 14. Trapecio inferior.



Fuente: Autor

3.3.4 Manivela

La manivela es el elemento de conexión entre el eje de la rueda y los brazos oscilantes del tren. Esta parte está conformada a partir de una lámina de acero ASTM A-36 Hot rolled calibre 3 mm doblada en C, y mecanizada para darle una apariencia más estética. Tiene taladrados laterales para articular los brazos laterales y el trapecio inferior; y un agujero frontal donde el eje se acopla para luego ser soldado a este.

Figura 15. Manivela.



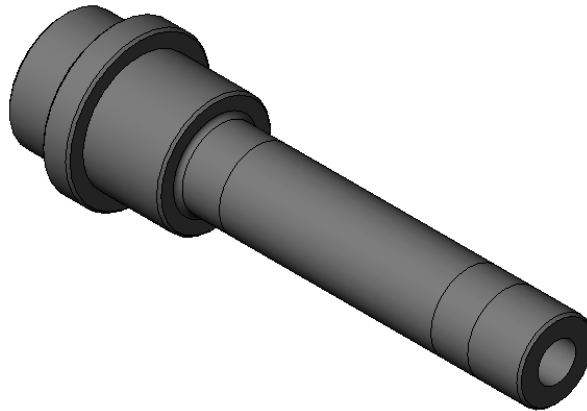
Fuente: Autor

3.3.5 Eje rueda

Esta pieza cumple la función de servir de anclaje fijo de los rodamientos que permiten a la rueda rotar libremente en torno al eje. Está construida de acero AISI-SAE 4140 y conformada por torneado. Tiene un vástago donde se alojan dos rodamientos, un hombro para limitar el movimiento de uno de estos, y una rosca en el extremo del vástago en la que una

tuerca mantiene fijos los rodamientos. Su centro fue ahuecado para así aligerar la pieza, sin debilitarla lo suficiente.

Figura 16. Eje.



Fuente: Autor

3.3.6 Conjunto Resorte – Amortiguador.

Resorte helicoidal.

Es el elemento encargado de almacenar la energía cinética desarrollada tanto en el aterrizaje, como en las irregularidades de la pista. Es un resorte de compresión fabricado en acero AISI-SAE 1070, tratado térmicamente (temple y revenido). Esta montado concéntricamente con el amortiguador hidráulico.

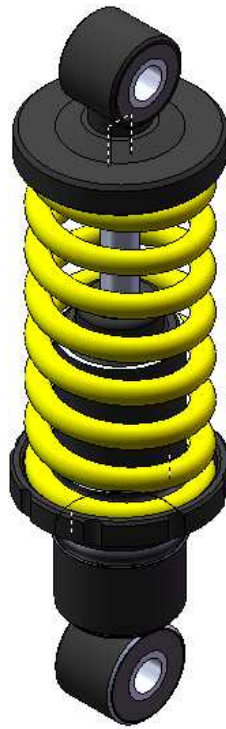
Amortiguador hidráulico.

La función del amortiguador hidráulico es la de atenuar el movimiento oscilatorio ocasionado al excitar el resorte y la masa del trike, al momento del aterrizaje, descolaje, y carreteo.

El amortiguador seleccionado para conformar el tren principal, es uno tipo doble tubo, marca Shibumi, con terminales de espigo y ojal. Su aplicación se delimita a la suspensión delantera de los modelos de camionetas Luv de 2300 CC, pero en este trabajo fue modificado dimensionalmente, para ajustarlo a las dimensiones del tren principal construido.

El cuerpo del amortiguador y el vástago del pistón fueron recortados 95 mm, y la terminal de espigo fue reemplazada por una terminal de ojal roscado al vástago. También, se agregaron los asientos del resorte de compresión, para permitir un ensamblaje concéntrico entre estas dos partes, y así ahorrar espacio en el tren. El ojo superior del amortiguador esta roscado al vástago, mediante una rosca métrica paso fino M10 paso 1.5 mm.

Figura 17. Subconjunto amortiguador – resorte.



Fuente: Autor

4. PROCESO DE REDISEÑO DEL TREN DE ATERRIZAJE DELANTERO Y PRINCIPAL DEL ULTRALIVIANO.

Una vez descritos los aspectos generales de los componentes, el siguiente paso es el diseño de estos.

4.1 REDISEÑO DEL TREN DE ATERRIZAJE DELANTERO.

El rediseño del tren delantero fue enfocado en lograr una mejoría en el aspecto ergonómico del puesto de conducción, con el objeto de corregir las malas posturas de las articulaciones inferiores del piloto; y por consiguiente, reducir la fatiga, y realizar una mayor fuerza.

Las dimensiones adecuadas de los nuevos pedales de control y la ubicación de estos en el tren principal, se derivaran de los datos antropométricos de la población susceptible de practicar el vuelo de ultraliviano en Colombia. A continuación, se muestran datos claves para identificar la población practicante de este deporte.

- El reglamento de ultralivianismo, emitido por Coldeportes y el Comité Nacional de Ultralivianismo; establece que la edad mínima para obtener una licencia de piloto de ultraliviano, es de 16 años y no tiene límite de edad.
- Por otra parte, es sabido que este deporte es mayormente practicado por personal masculino.

Conociendo, entonces el sexo y la edad de la población practicante de este deporte, se consideró pertinente, utilizar los parámetros

antropométricos de la población laboral colombiana¹, en donde se caracterizan 69 variables antropométricas de trabajadores del sexo femenino y masculino, en edades entre los 20 y los 60 años.

Las dimensiones antropométricas necesarias para hallar la longitud de los segmentos corporales correspondientes a las extremidades inferiores, son:

Tabla 1. Dimensiones antropométricas población laboral colombiana sexo masculino.

Dimensiones antropométricas	Percentiles	
	P5	P95
Estatura	158.0	179.3
Altura sentado erguido	83.4	94.1
Longitud rodilla - trasero	52.7	61.3
Altura de la rodilla	48.2	56.6
Distancia plano de la silla - articulación de la cadera	80.2	99.6
Anchura del pie	9	10.9
Largura del pie	23.2	27.3

4.1.1 Cálculo de las distancias interarticulares.

Las distancias o segmentos interarticulares a conocer para dimensionar el puesto de conducción son (ver tabla 2):

- Segmento Hombro/Cadera (HE).
- Segmento Cadera/Rodilla (HG).
- Segmento Rodilla/Tobillo (GD).

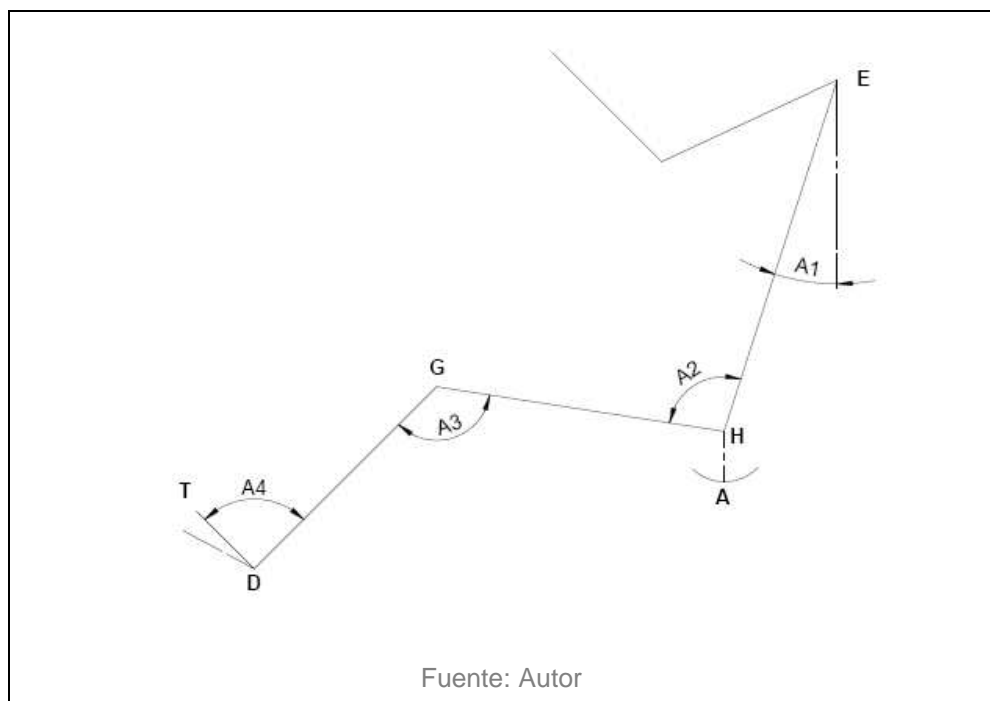
¹ ESTRADA M. JAIRO. *Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana 1995*, [En línea] [Consulta: 16 Feb 2009].

Disponible en: http://guajiros.udea.edu.co/fnsp/revista/vol_15-2/05152.pdf

- Segmento Tobillo/Extremo pie (DT).

Para asegurar el mayor confort posible, las articulaciones entre si, deben establecer unos ángulos específicos, para formar así una postura neutra en la que se puede permanecer por largo tiempo sin riesgo de fatiga. Estos ángulos, llamados ángulos de confort de A. Wisner, son establecidos en la tabla 2:

Tabla 2. Segmentos interarticulares y ángulos de confort del puesto de conducción A. Wisner.



ÁNGULOS DE CONFORT (PUESTO DE CONDUCCIÓN), A. WISNER.		
Ángulo	Definido por	Valores
A1	Vertical/segmento hombro-cadera	$10^{\circ} \langle A1 \langle 20^{\circ}$
A2	Segmentos hombro-cadera/cadera-rodilla	$90^{\circ} \langle A2 \langle 110^{\circ}$
A3	Segmentos rodilla-cadera/rodilla-tobillo	$95^{\circ} \langle A3 \langle 120^{\circ}$
A4	Segmentos rodilla-tobillo/recta paralela a la planta del pie	$90^{\circ} \langle A4 \langle 110^{\circ}$

Las distancias entre articulaciones se derivan a partir de proporciones de las dimensiones antropométricas respectivas.

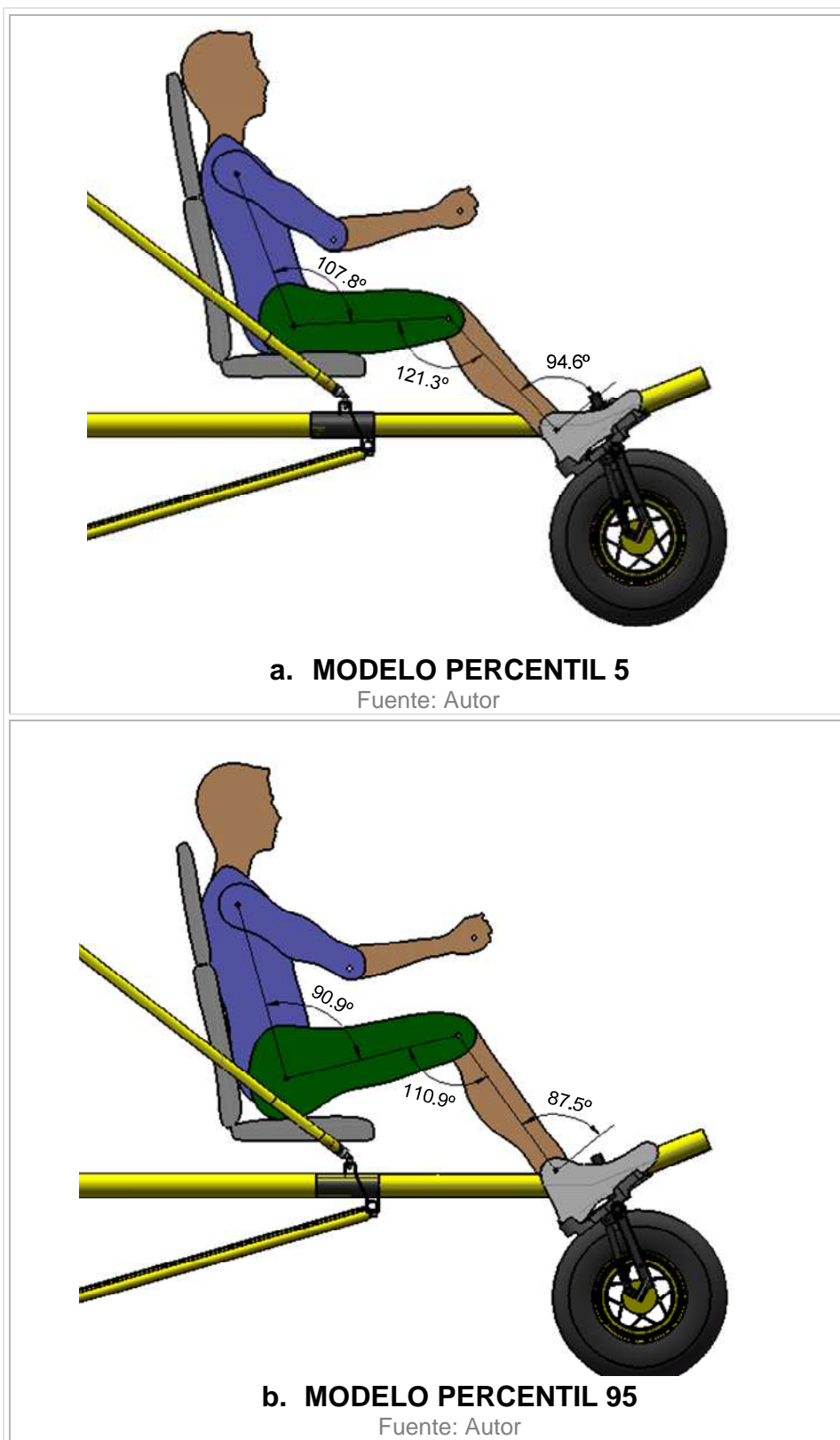
- La distancia de la articulación Cadera – hombro corresponde al 46.5% de la altura sentado erguido.
- Distancia articulaciones cadera – rodilla corresponde al 70% de la longitud rodilla – trasero.
- Distancia rodilla – proyección del tobillo sobre el suelo corresponde al 92.5% de la altura de la rodilla.

Tabla 3. Dimensiones segmentos articulares población laboral colombiana sexo masculino.

Segmentos interarticulares.	Percentiles	
	P5	P95
Segmento Cadera/Hombro (HE)	38.78	43.75
Segmento Cadera/Rodilla (HG)	36.9	42.91
Segmento Rodilla/Tobillo (GD)	44.58	52.35
Longitud pie (DT)	23.2	27.3

Con las distancias de los segmentos interarticulares de las extremidades inferiores características de la población practicante de ultralivianismo en Colombia, se procede a modelar en solidworks, dos maniqués, uno percentil 25 y el otro percentil 95. Estos, se ubican en el puesto de conducción para poder localizar los pedales de control del tren delantero de la forma mas adecuada (ver fig. 18).

Figura 18. Posición de los pedales adecuada definida por los ángulos de confort A. Wisner, para modelos percentil 5 y 95.



La figura anterior se revela los ángulos interarticulares que adoptan los modelos P5 Y P95 satisfacen los ángulos de confort De A. Wisner, por lo que se concluye que el conductor se sentirá cómodo en el puesto de conducción y no sufrirá fatiga.

En el modelo P 95, (parte b, fig. 18) el ángulo entre el pie y la pierna A4, dista 2.5° del ángulo de confort adecuado, 90° ; sin embargo, al momento de acelerar este ángulo se aumenta en unos 15° como máximo, ubicando así el .ángulo A4 dentro de la zona de confort . Considerando que la acción de aceleración es predominante a lo largo de la estadía del piloto en el puesto, el ángulo inicial se A4 se tomó como aceptable para el pie derecho.

4.1.2 Diseño de los pedales de control.

Las dimensiones antropométricas importantes para dimensionar los pedales son la anchura y la longitud del pie pertinentes al sujeto mas grande que corresponde al percentil 95 (Ver Tabla 1).

Tanto el pedal izquierdo como el derecho son prácticamente iguales, diferenciándose principalmente por la posición de la pestaña donde se sujeta la guaya del freno (pedal izquierdo) y la pestaña de sujeción de la guaya del acelerador (pedal derecho). Tener los dos pedales muy similares, permitió fundir ambos pedales a partir de un mismo molde, realizando solo pequeñas modificaciones para localizar las pestañas tanto del freno como del acelerador.

Adicionalmente, al pedal izquierdo se agregó un dispositivo que permite bloquear la rueda del tren delantero para estacionar el aparato.

4.2 REDISEÑO DEL TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL.

A nivel mundial, el diseño de aeroplanos esta administrado por entidades gubernamentales, las cuales pretenden regular, y estandarizar aspectos como la construcción, certificación, y aeronavegabilidad de estos. Los dos organismos mas influyentes en el mundo de la aviación civil, son la *Administración Federal de aviación "FAA"* y su similar, la *Agencia Europea de Seguridad Aérea "EASA"*, quienes disponen de un conjunto de estándares y normas, organizadas por capítulos según las categorías existentes de aeroplanos. Ambas instituciones constituyen un referente, y es por esto, que la gran mayoría de las reglamentaciones nacionales de aviación civil, incluso la colombiana, están basadas en estas.

De los dos organismos, sólo la EASA dispone de un capítulo que incluye la categoría de aviones ultralivianos, el *CS-VLA (Very Light aeroplanes)*², el cual presenta las especificaciones para certificación de aeronaves utrlaligeras, aplicable para cualquier aeronave con las siguientes características:

- ✓ Aeronaves monomotor (encendido por chispa y encendido por compresión), que no tengan mas de dos asientos, con un peso máximo en el despegue de 750 Kg, y velocidad de pérdida en configuración de aterrizaje no mayor a 83 Km/h.

Aunque en los objetivos específicos de este proyecto, se planteó diseñar el tren de aterrizaje bajo la legislación de la Asociación española de pilotos de ultraligeros AEPUL, se estimó conveniente complementar el

² EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY, *Agency measures-certification specification* [En línea] [Consulta: 10 Jun 2008].

Disponible en: http://www.easa.europa.eu/ws_prod/g/rg_certspeccs.php#CS-VLA

diseño con el capítulo *CS-VLA (Very Light aeroplanes)* de la EASA, ya que esta norma, es mucho mas completa.

4.2.1 Fuerzas que actúan en el tren de aterrizaje.

El tren de aterrizaje debe ser capaz de absorber las cargas producidas en el aterrizaje y carreteo, así como transmitir parte de estas cargas a la estructura del avión. En el diseño de trenes de aterrizaje, tres tipos de cargas deben ser consideradas:

Cargas verticales, causadas principalmente por velocidades verticales del aeroplano durante el aterrizaje y carreteo.

Cargas longitudinales, causadas principalmente por cargas de frenado, cargas de fricción por rodadura de las ruedas con la pista.

Cargas laterales, causadas principalmente durante las maniobras en tierra con viento cruzado, y giros o cambios de dirección.

La magnitud de estas cargas depende del tipo de aeroplano.

4.2.1.1 Cargas verticales.

La magnitud de las cargas verticales de aterrizaje depende de la velocidad de descenso de aterrizaje (touchdown rate o sink Speed en inglés). La velocidad de descenso de aterrizaje de diseño según el capítulo *CS-VLA (Very Light aeroplanes)* de la EASA es:

$$V = 0.51 \left(\frac{M_g}{S} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

Donde;

$V(m/s)$ = Velocidad de descenso de aterrizaje.

$Mg(Kg)$ = Masa de la aeronave.

$S(m^2)$ = Superficie alar

Para un peso de 390 Kg y una superficie alar de 16.2 m^2 , para el ultraliviano a rediseñar, tenemos una velocidad de descenso de:

$$V = 0.51 \left(\frac{390Kg}{16.2m^2} \right)^{\frac{1}{4}} = 1.12m/s \quad (2)$$

Pero esta velocidad no debe ser mayor que 3.05 m/s ni menor que 2.13 m/s.³ (Por recomendación del subcapítulo CS-VLA 473 de la EASA).

Sin embargo, excepción de los aviones de entrenamiento, estas velocidades de descenso son difícilmente experimentadas, y son muy conservativas. En realidad, una velocidad de descenso de 4 ft/s (1.12m/s) es considerada como un aterrizaje fuerte⁴. Por consiguiente, se adoptará el valor de velocidad de aterrizaje hallado en la ecuación (2), como válido.

Entonces, la energía cinética asociada con la velocidad de aterrizaje justo antes de que el tren principal toque la pista, es:

³ **EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY**, *Agency measures-certification specification* [En línea] [Consulta: 10 Jun 2008]. Disponible en: http://www.easa.europa.eu/ws_prod/g/rg_certspecs.php#CS-VLA

⁴ **ROSKAM, Jam.** Airplane design. Roskam aviation and engineering corporation. Ottawa Kansas, 1986. Part IV-Cap 2-Pag 4.

$$KE = \frac{M_g V^2}{2g} \quad (3)$$

Donde;

$V(m/s)$ = Velocidad de descenso de aterrizaje.

$Mg(Kg)$ = Masa de la aeronave.

$g(m/s^2)$ = Aceleración de gravedad.

Por otra parte, la energía potencial absorbida por el tren principal en el aterrizaje, es:

$$PE = \frac{ky^2}{2} \quad (4)$$

Donde;

$k(N/m)$ = Constante de elasticidad del tren principal.

$y(m)$ = Deformación del tren bajo impacto.

Ahora, la ley de conservación de energía indica que la energía cinética de aterrizaje es igual a la energía potencial absorbida por el tren principal.

$$\frac{M_g V^2}{2g} = \frac{ky^2}{2} \quad (5)$$

Si se quiere conocer la deformación del tren principal en el impacto (este valor será mas adelante utilizado), se despeja la EC. 5 así:

$$y = \sqrt{\frac{M_g V^2}{kg}} \quad (6)$$

De la EC. 6, la única variable desconocida es la constante de elasticidad del tren principal. Esta constante esta a la vez conformada por dos constantes, una la constante de elasticidad de las ruedas y la otra, la constante de elasticidad del resorte del tren. Estas se comportan como dos resortes en serie, por lo tanto, para el tren completo tenemos que la constante de elasticidad para el sistema rueda y resorte es:

$$k = 2 \left[\frac{k_{rueda} \times k_{resorte}}{k_{rueda} + k_{resorte}} \right] \quad (7)$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$k = 2 \left[\frac{45000N/m \times 20000N/m}{45000N/m + 20000N/m} \right] = 27692N/m \quad (8)$$

Reemplazando los valores en la EC. 6, se tiene que la deformación del tren principal es:

$$y = \sqrt{\frac{390Kg \times (1.12m/s)^2}{27692N/m \times 9.8m/s^2}} = 0.0424m \quad (9)$$

4.2.2 Prueba de caída libre (Free drop test).

El objetivo de la prueba de caída libre es simular las condiciones de aterrizaje para conocer la dinámica de este, además de evaluar la seguridad del sistema sometido a las cargas de aterrizaje. Esta prueba se hace necesaria, ya que probar la suspensión diseñada en un vuelo tripulado se convierte en una actividad riesgosa.

Los parámetros esenciales a conocer en una prueba de caída libre son, el peso de caída libre, que simulará la “carga de aterrizaje”, y la altura de caída que representa la severidad del impacto. La determinación de estos parámetros se apoyó en el subcapítulo CS-VLA 725 (*Limit drop test*) de la EASA, el cual, indica que la altura de caída libre no debe ser menor que la determinada por la siguiente fórmula:

$$h = 0.0132 \left(\frac{M_g}{S} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

Donde;

$h(m)$ = Altura de caída libre.

$Mg(Kg)$ = Peso en aterrizaje.

$S(m^2)$ = Superficie alar

Entonces, la altura de caída libre, para un peso de 390 Kg y una superficie alar de 16.2 m², para el ultraliviano a rediseñar, es:

$$h = 0.0132 \left(\frac{390Kg}{16.2m^2} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.064m = 6.4cm \quad (11)$$

Al aplicar la ecuación de caída libre ($V^2 = \sqrt{2gh}$), se puede comprobar que al dejar caer el tren de aterrizaje desde la altura hallada en la ecuación (10), la velocidad de descenso de aterrizaje es la hallada inicialmente con la ecuación (2), esto es:

$$V = \sqrt{2 \times 9.8(m/s^2) \times 0.064(m)} = 1.12m/s \quad (12)$$

Esto quiere decir que en el momento en que el tren de aterrizaje toca el suelo al caer de una altura de 6.4cm, la velocidad que este alcanza es de 1.12 m/s.

En cuanto al peso de caída libre, se estaría tentado a utilizar el peso estático del aeroplano como peso de caída a utilizar en la prueba; sin embargo, si se quiere tener en cuenta el efecto de la sustentación de las alas al momento del aterrizaje, la prueba de caída libre se debe realizar con un peso efectivo igual a:

$$M_e = M \left[\frac{h + (1-L)d}{h + d} \right] \quad (13)$$

Donde;

M_e (Kg) = *Peso efectivo a usar en el test de caída*

h (m) = *Altura de caída especificada*

d (m) = *Deflexión bajo impacto de la rueda mas la deformación en la componente vertical del amortiguador*

M (Kg) = M_M *para unidades del tren principal, es igual al peso estático para esa unidad en disposición nivelada (con la rueda de nariz por encima del nivel)*

L = *Razón fuerza de sustentación por peso peso de la aeronave. No mayor a 0.667*

Reemplazando, los valores en la ecuación 13, se tiene:

$$M_e = 390Kg \left[\frac{0.064m + (1 - 0.667)0.042m}{0.064 + 0.042} \right] = 286.3Kg \quad (14)$$

La prueba de caída libre realizada en este proyecto comprende solo una unidad del tren de aterrizaje principal, ya que así se permite tener una estructura de prueba más sencilla, y con la misma validez que una prueba de caída libre realizada al tren completo. Es por esto que el peso efectivo

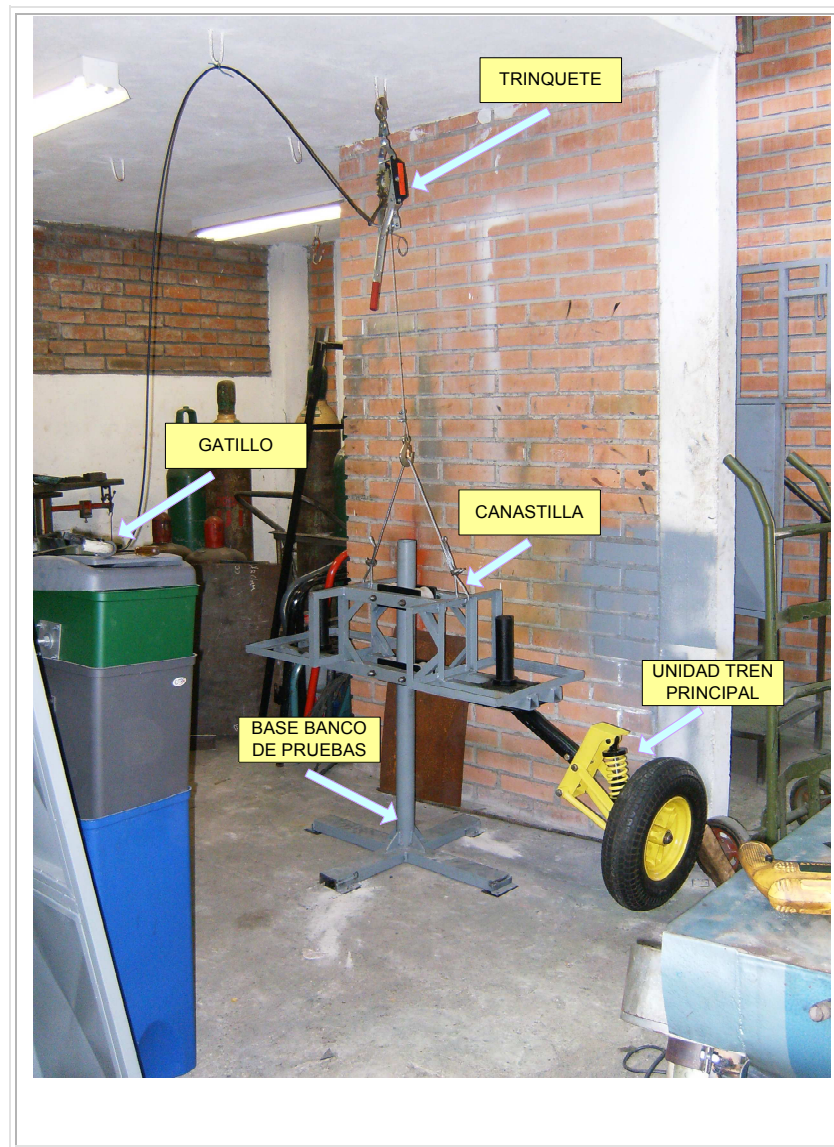
a utilizar en nuestra prueba, debe ser dividido por 2, quedado entonces un peso de 143 Kg.

Para realizar la prueba de caída libre, se construyó un banco en el que se deja caer una unidad del tren principal (Fig.19), desde la altura necesaria para alcanzar una velocidad de 1.12 m/s (ver EC. 2) y con un peso de 143 Kg que simula el peso del ultraliviano que soporta una rueda del tren principal con sustentación alar. Este consiste de una canastilla deslizante donde se coloca la carga simulada por unos pesos olímpicos y la unidad del tren de aterrizaje a probar, esta se desliza por una base que esta anclada al suelo mediante chazos.

La caída de la canastilla se activa mediante un mecanismo de trinquete, el cual se modificó agregándole un sistema de accionamiento consistente en un freno de bicicleta convencional que al accionarse retira la uña que traba la rotación del tambor dentado del trinquete.

Como la canastilla pesa 37.25 Kg, el peso necesario para completar la carga es de 106 Kg; este se obtuvo de 6 discos olímpicos de 15 Kg, 2 de 5 Kg y 2 de 3 Kg, que se distribuyeron simétricamente a lado y lado de la canastilla.

Figura 19. Banco de pruebas de caída libre.



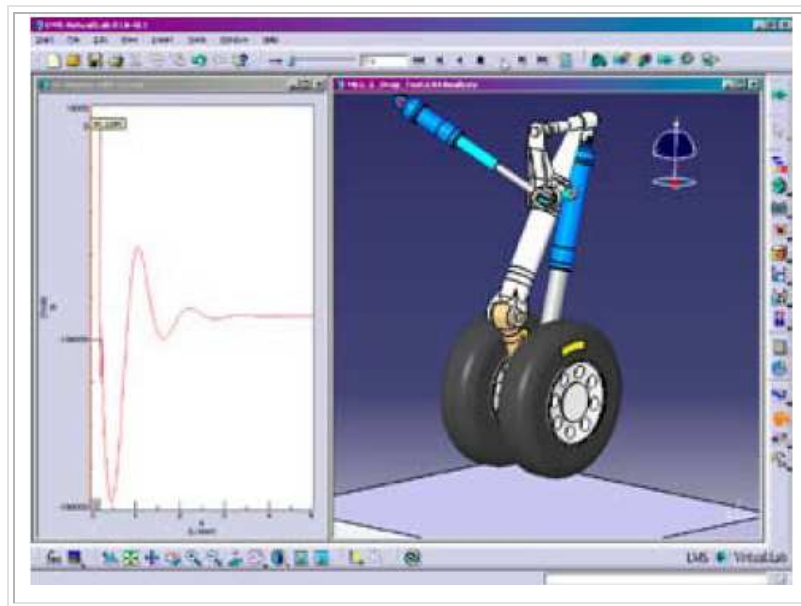
Fuente: Autor

4.2.3 Simulación dinámica computacional de la prueba de caída libre.

La simulación dinámica del tren de aterrizaje en la industria aeronáutica, es usada para apoyar el proceso de desarrollo de nuevos modelos de aeroplanos, verificando con esto, el cumplimiento de las reglamentaciones (como FAR, JAR, o EASA) aplicadas (Figura 20).

El enfoque de esta simulación, es predecir las cargas que actúan sobre las partes que constituyen el tren de aterrizaje, mediante el uso de la herramienta informática de diseño, *Solidworks 2007*, el cual admite no solo el modelado de las piezas de manera solvente, sino que posee como complementos los programas de análisis dinámico "*Cosmosmotion*" y estructural por elementos finitos "*Cosmosworks*"; lo que permite desarrollar el diseño bajo el mismo entorno y los mismos parámetros sin cambios de formato tediosos y problemas de compatibilidad entre programas.

Figura 20. Ejemplo simulación computacional de sistema tren de aterrizaje



Fuente:<http://www.lmsintl.com/integrated-approach-dynamic-simulation-landing-gear-systems>

El modelo de simulación es creado a partir de piezas sólidas con propiedades de masa e inercia conocidas, que se conectan entre si por medio de juntas; los elementos elásticos y de amortiguación también son usados para completarlo. Por último, se agrega una relación de fuerza de

acción reacción que simula el impacto entre la rueda y la pista (ver Fig.21). El modelo, que tiene el peso equivalente al hallado en la EC 14 dividido entre 2, se deja caer desde la altura de caída libre (ver EC. 11).

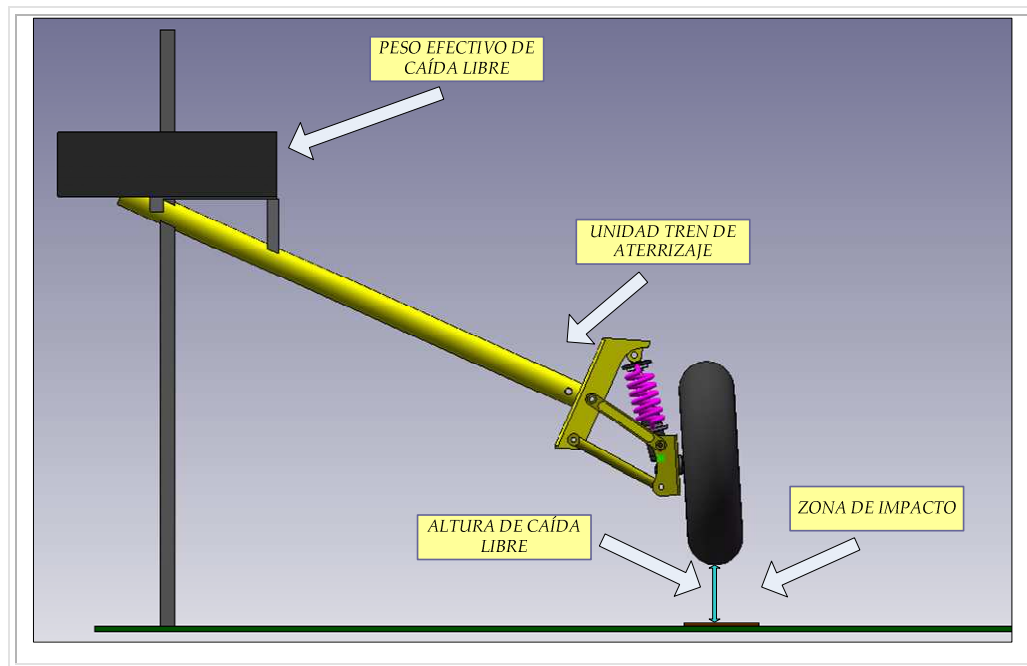
Inicialmente, un modelo tiene tantos grados de libertad como piezas tenga multiplicado por seis⁵; por tanto, el modelo del tren de aterrizaje tiene inicialmente 60 grados de libertad porque esta constituido de 10 piezas, pero, a medida que se van agregando juntas que restringen movimientos entre piezas, se van limitando los grados de libertad con los que inicialmente se cuenta, hasta lograr tener los grados de libertad que se desea.

Como el modelo ya articulado debe quedar solo con tres grados de libertad, se tuvo especial cuidado en agregar el número de juntas necesarias para evitar que el modelo se volviera redundante⁶. Es por esto, que se modeló solo una mitad del modelo ya que los modelos simétricos, como el tratado, causan redundancia al restringir más de una vez un mismo grado de libertad.

⁵ Según criterio de **Grübler-Kutzbach** para mecanismos planos.

⁶ **COSMOMOTION**, *Virtual Tutor* [En línea] [Consulta: 15 Enero 2009]. Disponible en: <http://www.be.wednet.edu/OurSchools/Hs/staff/tcrook/assignments/COSMOSMotion%20Virtual%20Tutor%202006-2007/COSMOSMotion%20VTutor/Tutorial.html>

Figura 21. Modelo computacional de una parte del tren de aterrizaje principal.



Fuente: Autor

Una vez, limitado correctamente el movimiento del modelo, se procede a correr la simulación y obtener los resultados. En el Anexo E se detalla el historial de fuerzas en cada junta o articulación del modelo en forma de gráficas; en ellas se puede observar en que etapa de la simulación se presentan las mayores sollicitaciones de fuerzas. Finalmente, las cargas críticas halladas en la simulación de Cosmosmotion, son importadas a Cosmoswoks para realizar el análisis estructural mediante elementos finitos.

4.2.4 Diseño del resorte helicoidal.

El resorte fue diseñado teniendo en cuenta las exigencias de carga, espacio disponible para ubicarlo, y materiales disponibles en el mercado local. A continuación se listan los parámetros tenidos en cuenta para el diseño y construcción del elemento en cuestión.

Tabla 4. Parámetros para diseñar el resorte.

PARÁMETROS DE DISEÑO RESORTE				
Materiales disponibles en el mercado local				
	<i>Límite de elástico (MPa)</i>	<i>Módulo de elasticidad (GPa).</i>	<i>Modulo de rigidez (GPa)</i>	<i>Composición</i>
AISI SAE 1045	529.2	200		C% 0.43-0.5 Mn% 0.6-0.9 P% 0.04
AISI SAE 1070	535.4	201		C% 0.65-0.75 Mn% 0.6-0.9 P% 0.04
AISI SAE 4140	735	205		C% 0.38-0.43 Mn% 0.75-1 P% 0.035 Cr% 0.8-1.1
AISI SAE 4340	784	205		C% 0.38-0.43 Mn% 0.6-0.8 P% 0.035 Cr% 0.7-0.9
Restricciones de espacio				
Diámetro mínimo (cm)			4	
Diámetro máximo (cm)			7	
Longitud libre máxima (cm)			20	

Propiedades de los materiales suministradas por la Compañía General de Aceros

En la tabla 4, se observa que los aceros AISI SAE 4140 y 4340, a pesar de no ser aceros para resortes, son los mas adecuados entre las opciones encontradas en el mercado local; sin embargo, estos solo están disponibles en redondos de diámetro mayor a 5/8 de pulgadas, lo que lleva a descartarlos puesto que al construir un resorte con este diámetro de alambre, se superarían las restricciones de espacio disponible. Es por

esto que se seleccionó el acero AISI SAE 1070, como el indicado entre las dos opciones restantes.

Para lograr que el resorte resista los esfuerzos al que va a ser sometido, fue necesario realizar un tratamiento térmico (temple y revenido), con el cual se logró aumentar la dureza de este a 43 Rocwell C (Ver Anexo D). Para este valor de dureza se estima una resistencia a la tracción de $1350N/mm^2$, y considerando la relación de resistencia a la tracción sobre el esfuerzo de fluencia de 1.25, se tiene que este último es igual a:

$$\frac{S_T}{S_Y} = 1.25 \quad (15)$$

$$S_Y = \frac{S_T}{1.25} = \frac{1350N/mm^2}{1.25} = 1080N/mm^2 \quad (16)$$

Donde:

S_T : Esfuerzo de tracción.

S_Y : Esfuerzo de fluencia.

En la tabla 5 se listan los valores de entrada, necesarios para diseñar el resorte, y en la tabla 6 se detalla el proceso de cálculo realizado en una hoja de Excel.

Tabla 5. Parámetros de entrada del resorte.

VALORES DE ENTRADA		
Constante del resorte k (N/m)	40000	<i>Dato derivado de la simulación computacional</i>
Diámetro resorte D (cm)	< 6	
Modulo de elasticidad E (Pa)	2,05E+11	AISI SAE 1070
Modulo de rigidez G (Pa)	7,80E+10	
Fuerza a compresión de trabajo Pw (N)	2210	<i>Dato derivado de la simulación computacional</i>
Esfuerzo de fluencia del material Sy (Pa)	1,08E+09	
Esfuerzo de corte del material Sys (Pa)	8,64E+08	AISI SAE 1070
Altura libre hf (m)	< 0.20	

Como resultado del proceso de diseño, se obtiene un resorte helicoidal a compresión fabricado en varilla circular de 8 mm en acero AISI-SAE 1070, 7 espiras activas, diámetro medio de 5.1 cm, y longitud libre de 13 cm.

Tabla 6. Proceso de diseño del resorte.

PARÁMETRO	ECUACIÓN	VALOR
Diámetro resorte D (cm)	-	5,1
Calibre (d cm)	-	0,8
C (Recomend>5)	D/d	6,375
Número de espiras activas (Na)	$Gd/8(C^3)K$	7,5
Na redondeado	-	7
Constante del resorte k (N/m)	$Gd/8(C^3)Na$	43008,66
Compresión de trabajo Δw (m)	Pw/k	0,051
rc	-	0,2
Compresión sólida Δs (m)	$(1+rc)\Delta w$	0,061
Altura sólida h_s (m)	$d(Na+2)$	0,072
Altura libre h_f (m)	$h_s+\Delta s$	0,130
Paso P (m)	$\Delta s/Na+d$	0,016
Angulo del espiral λ (Recomend<12°)	$Tan^{-1}(P/\pi D)$	5,930
K	$(4C-1/4C-4)+0.615/C$	1,24
Fuerza a máxima compresión P_s (N)	$(1+rc)Pw$	2652
Esfuerzo de corte en máxima compresión ζ_s (Pa)	$8P_sKC/\pi d^2$	8,19E+08
Esfuerzo de corte en compresión de trabajo ζ_w (Pa)	$8P_wKC/\pi d^2$	6,83E+08
Esfuerzo de corte del material Sys (Pa)	-	8,64E+08

4.2.5 Caracterización y rediseño de partes del amortiguador.

Conocer el comportamiento dinámico del amortiguador es necesario puesto que en la simulación dinámica se debe definir estos parámetros y así predecir las cargas a la que estarán sometidos los elementos del tren en condiciones de servicio.

El amortiguador, esta diseñado para operar bajo unos rangos determinados de fuerza y velocidad, que al no ser suministrados por el fabricante deben ser determinados a través de la experimentación.

El amortiguador seleccionado, tipo doble tubo marca Shibumi, es comúnmente utilizado en la suspensión delantera de las camionetas Luv 2.3 Litros. Se seleccionó por su tamaño y capacidad de carga adecuados a la aplicación. En la tabla 7 se muestra la ficha técnica de esta camioneta.

Tabla 7. Datos suspensión delantera camioneta Chevrolet luv 2.3 L.

FICHA TÉCNICA CHEVROLET LUV 2.3 L 4x2	
	<i>Pesos y capacidades</i>
Peso bruto vehicular	2255 Kg
Capacidad de carga	1315 Kg
Capacidad de carga eje delantero	1045 Kg
Capacidad de carga eje trasero	1335 Kg

Fuente:http://chevrolet.com.co/content_data/LAAM/CO/es/GBPCO/microsite/chevrolet/LuvDmax/index.html

Existen tres formas diferentes de caracterizar el comportamiento de un amortiguador; la primera consiste en conocer el coeficiente de amortiguamiento, la segunda en representar gráficamente la fuerza de amortiguamiento con respecto a la posición relativa del pistón, y la tercera consiste en representar la dependencia de la fuerza con respecto a la velocidad relativa de sus partes. Este último, es el método mas empleado para caracterizar el comportamiento de los amortiguadores, ya que la representación gráfica de la fuerza de amortiguación en función de la velocidad de trabajo, permite visualizar la linealidad del amortiguador, y la cantidad de histéresis que este presenta.

Para caracterizar el amortiguador se hace necesario el uso de un banco de pruebas de amortiguadores; sin embargo, a nivel local, y regional el uso de estas maquinas es nulo, y no se pudo contar con esta prueba. En reemplazo, se realizó una prueba informal que consistió en colgar unos pesos en un extremo del amortiguador y contabilizar el tiempo en que el amortiguador se comprimía y se extendía. Con esta prueba se calculó una constante de amortiguamiento de 30 N/(cm/s) que resulta de la aproximación lineal de los datos tomados.

Para lograr que el amortiguador, soportara el juego de cagas al que estará sometido en su nueva aplicación, se realizó un rediseño y construcción del tubo exterior, el cual, recibirá cargas del resorte por medio de un anillo roscado que hace el papel de tuerca (ver Fig. 22).

La altura de la tuerca (H) debe ser lo suficientemente grande como para distribuir la carga lo largo de una longitud de filete de rosca suficiente para soportar los esfuerzos generados. La altura H mínima necesaria para soportar el esfuerzo normal por flexión del filete esta dado por la siguiente ecuación:

$$H = \frac{3 \cdot W \cdot h \cdot N \cdot P}{\pi \cdot d_r \cdot b^2 \cdot S_y} \quad (17)$$

Donde:

W = carga sobre la rosca

h= Altura del filete de la rosca

p= Paso de la rosca

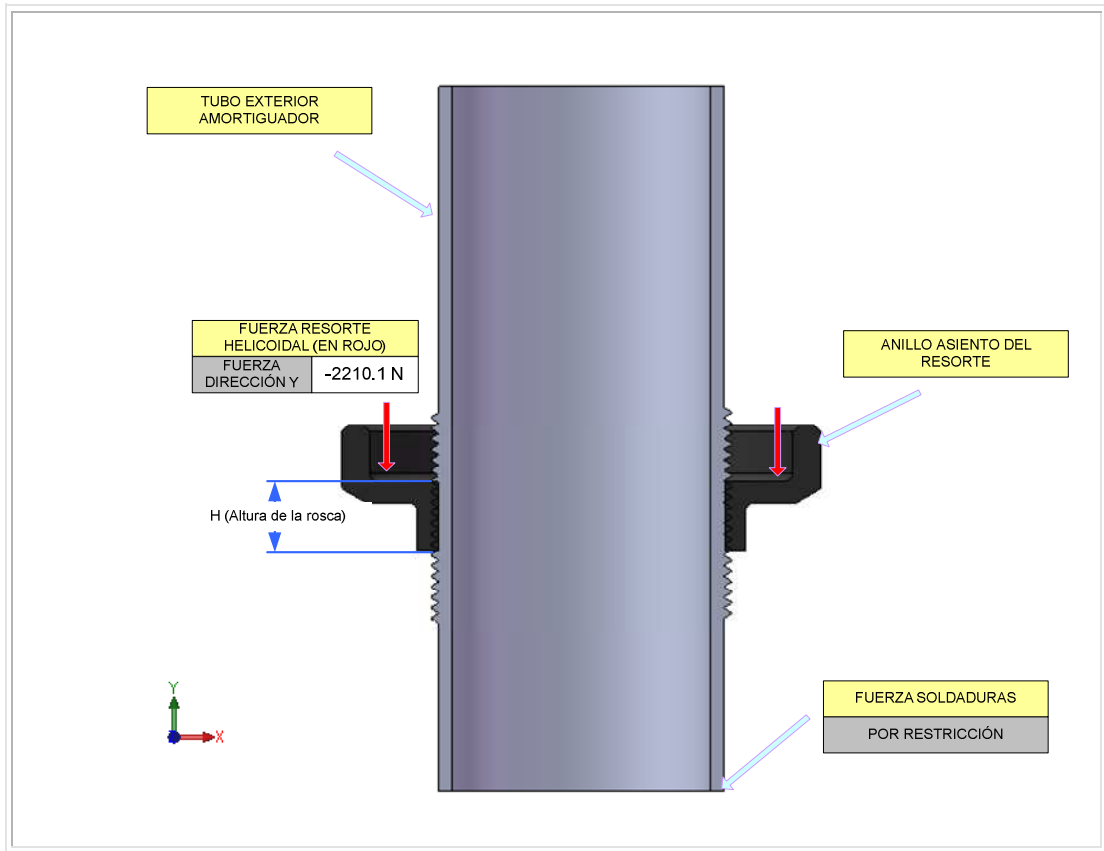
S_y = esfuerzo en el límite de fluencia de material

N = factor de seguridad en el rango: N = [3.0 – 4.0]

d_r = Diámetro de raíz de la rosca.

b= Ancho del filete.

Figura 22. Carga crítica en tubo exterior del amortiguador.



Fuente: Autor

Para un perfil de rosca métrica paso 1.5 mm, con diámetro de raíz de rosca de 40.51 mm, altura de filete de 1.04 mm, y esfuerzo de fluencia de $3.51 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ (Acero AISI-SAE 1020), se tiene:

$$H = \frac{3 \times 2210 \text{ N} \times 1.04 \times 10^{-3} \text{ m} \times 3 \times 1.5 \times 10^{-3} \text{ m}}{\pi \times 40.51 \times 10^{-3} \text{ m} \times (0.5 \times 10^{-3} \text{ m})^2 \times 351 \times 10^6 \text{ N/m}^2} = 3 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (18)$$

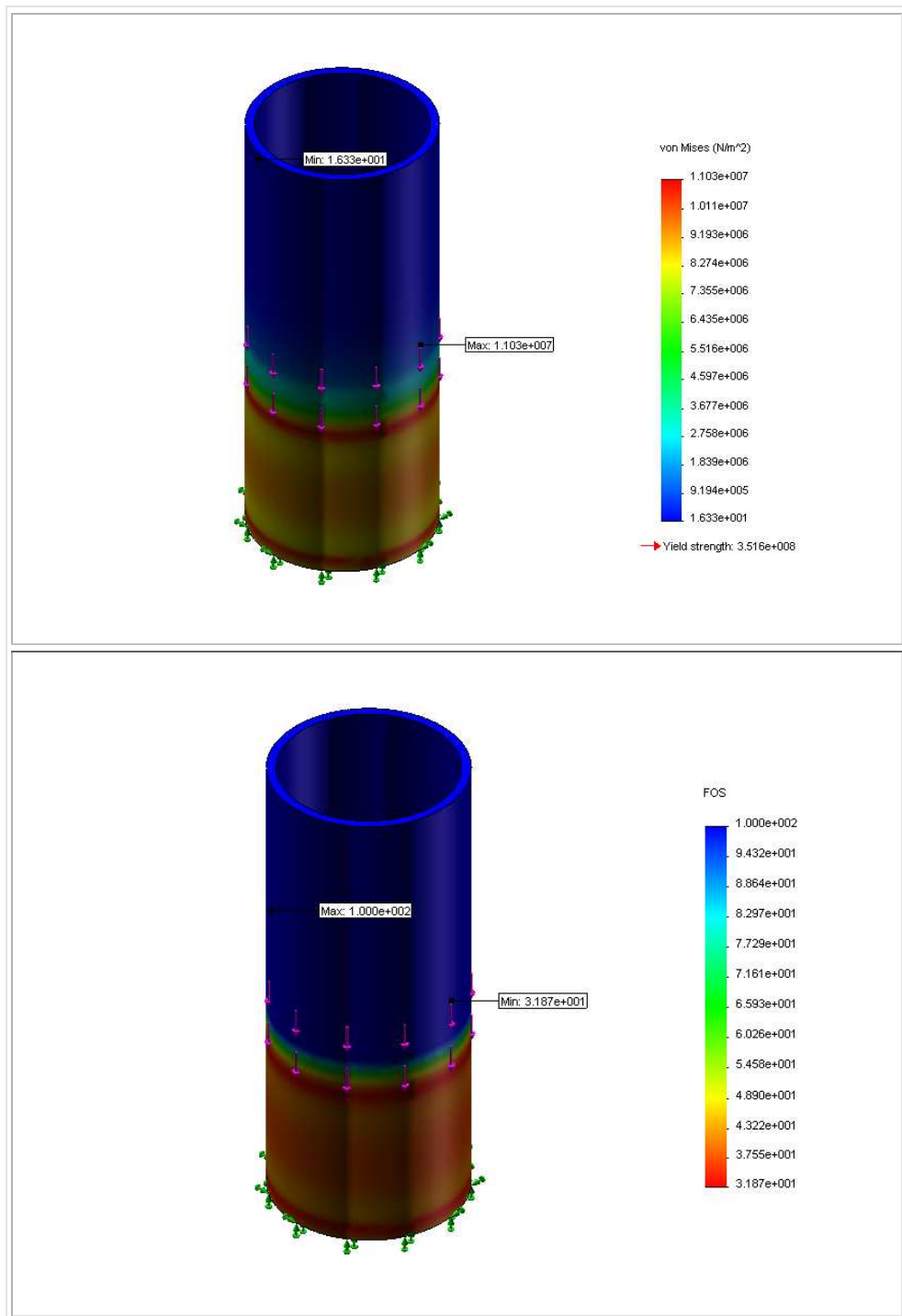
Por tanto, solo se necesita una altura de tuerca de 3 mm, para soportar las sollicitaciones de carga, sin embargo, esta altura se llevó a 10 mm, por propósitos de manufactura.

El análisis de esfuerzos realizado al tubo exterior consistió en localizar una fuerza de 2210 Newton en la periferia del tubo, donde este hace

contacto con la rosca del anillo de ajuste del resorte (Fig. 23); la restricción se aplicó en la parte inferior de este, para simular las fuerzas de reacción en la soldadura aplicada en esa zona.

Como se puede apreciar en la figura 23 el esfuerzo máximo generado en el tubo exterior no representan ningún riesgo de falla, puesto que su espesor es lo suficientemente grueso como para solventar las cargas de servicio. Se podría pensar entonces, en reducir el espesor del tubo para aligerar la pieza, sin comprometer la resistencia del material; pero cabe resaltar que al reducir el grosor de pared se hace más difícil el trabajo de soldadura de arco eléctrico convencional con electrodo revestido.

Figura 23. Análisis de tensiones y factor de seguridad del tubo exterior amortiguador.

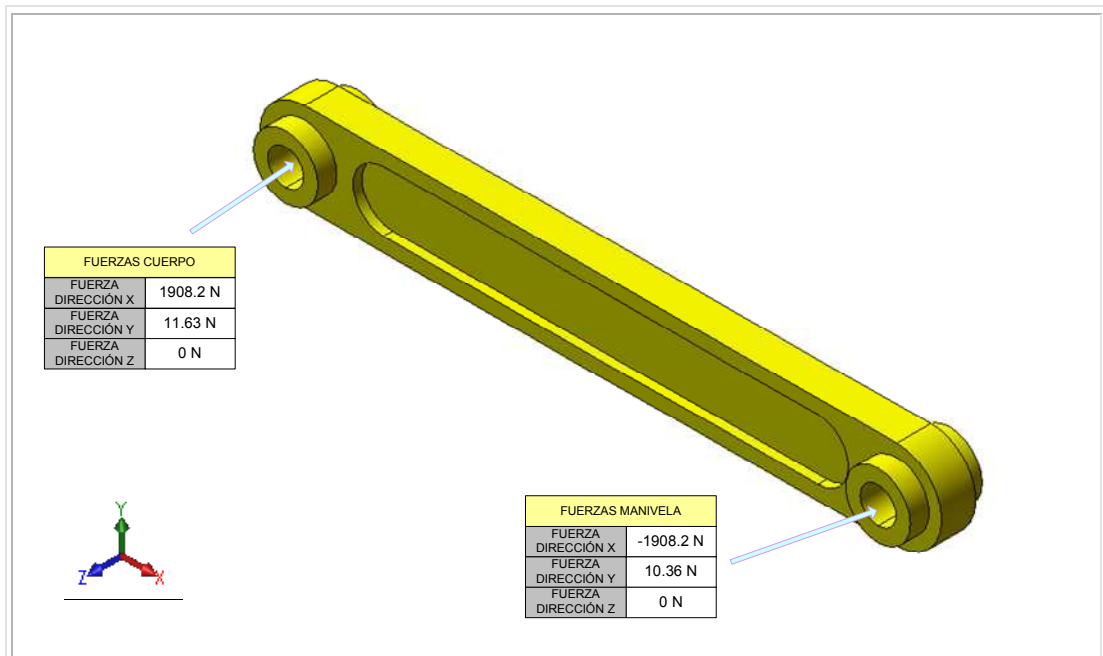


Fuente: Autor

4.2.6 Diseño de los brazos laterales.

Los brazos laterales reciben las cargas en sus acoples por medio de unos pasadores que articulan estas piezas a la manivela y al cuerpo del tren. En la figura 24 se representan las cargas críticas actuando en un brazo; aquí se aprecia que la componente de la fuerza en la dirección x es la carga predominante.

Figura 24. Cargas críticas en brazo lateral.

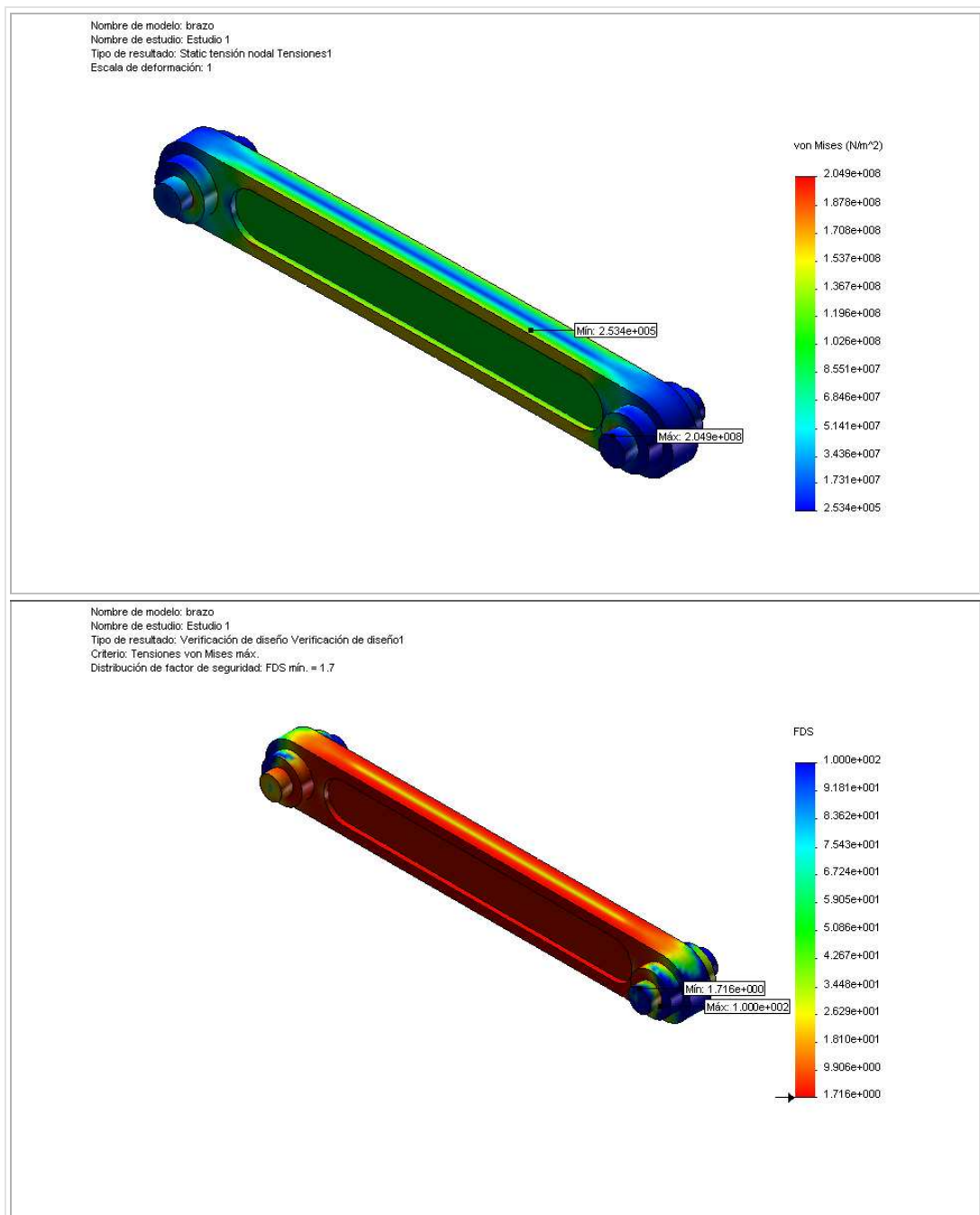


Fuente: Autor

Como las cargas en el brazo lateral son transmitidas mediante pasadores, en el análisis estructural se modelaron dos pasadores y se definió un contacto por unión rígida sin penetración entre estos y el brazo lateral con el fin de obtener una respuesta más real en cuanto a la transmisión de las cargas en los agujeros. Por tanto las cargas se aplicaron a los pasadores y no directamente a los agujeros del brazo lateral.

En la figura 25, se observa que el esfuerzo máximo de la pieza bajo carga crítica es 204 MPa, inferior al límite elástico del material de esta pieza (351 MPa), lo que garantiza que no existan deformaciones permanentes para este elemento.

Figura 25. Análisis de tensiones y factor de seguridad del brazo lateral.



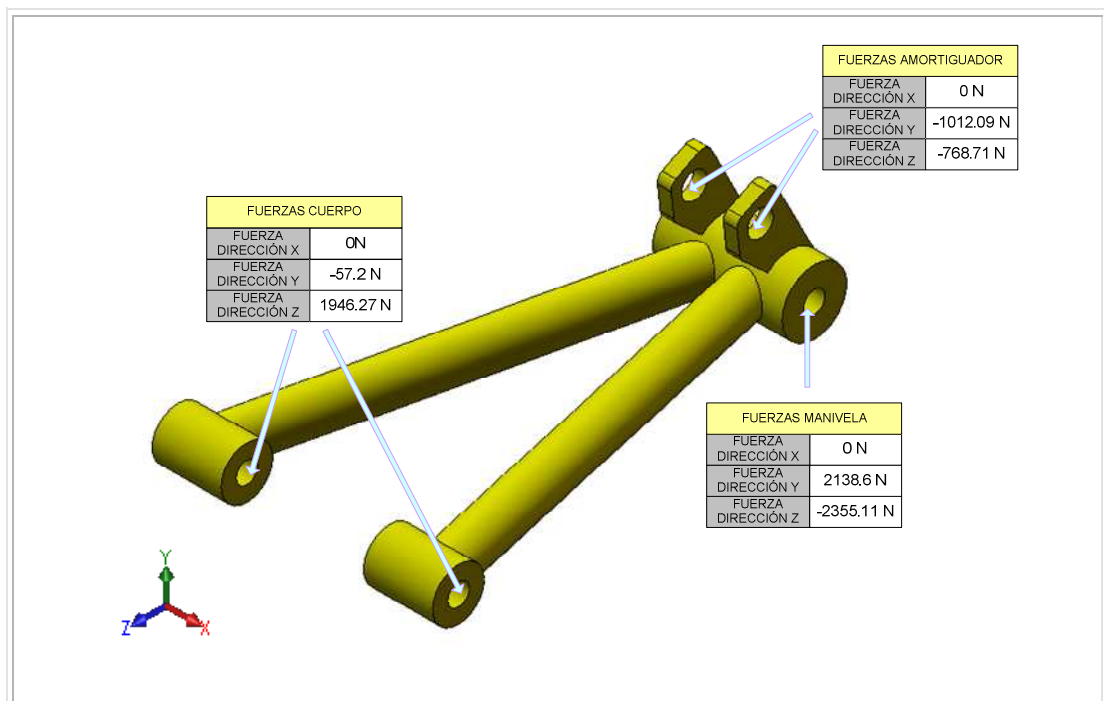
Fuente: Autor

El factor de seguridad mínimo es de 1.71, el cuál se ajusta al factor de seguridad recomendado por la norma AEPUL para aeronaves ultraligeras.

4.2.7 Diseño del trapecio inferior.

Esta pieza soporta las cargas del amortiguador transmitidas por medio de un pasador a un par de pestañas. De la misma manera soporta las fuerzas que provienen de la manivela y el cuerpo del tren; estas cargas también son transmitidas mediante pasadores. En la figura 26 se detallan las cargas a la que es sometido este elemento.

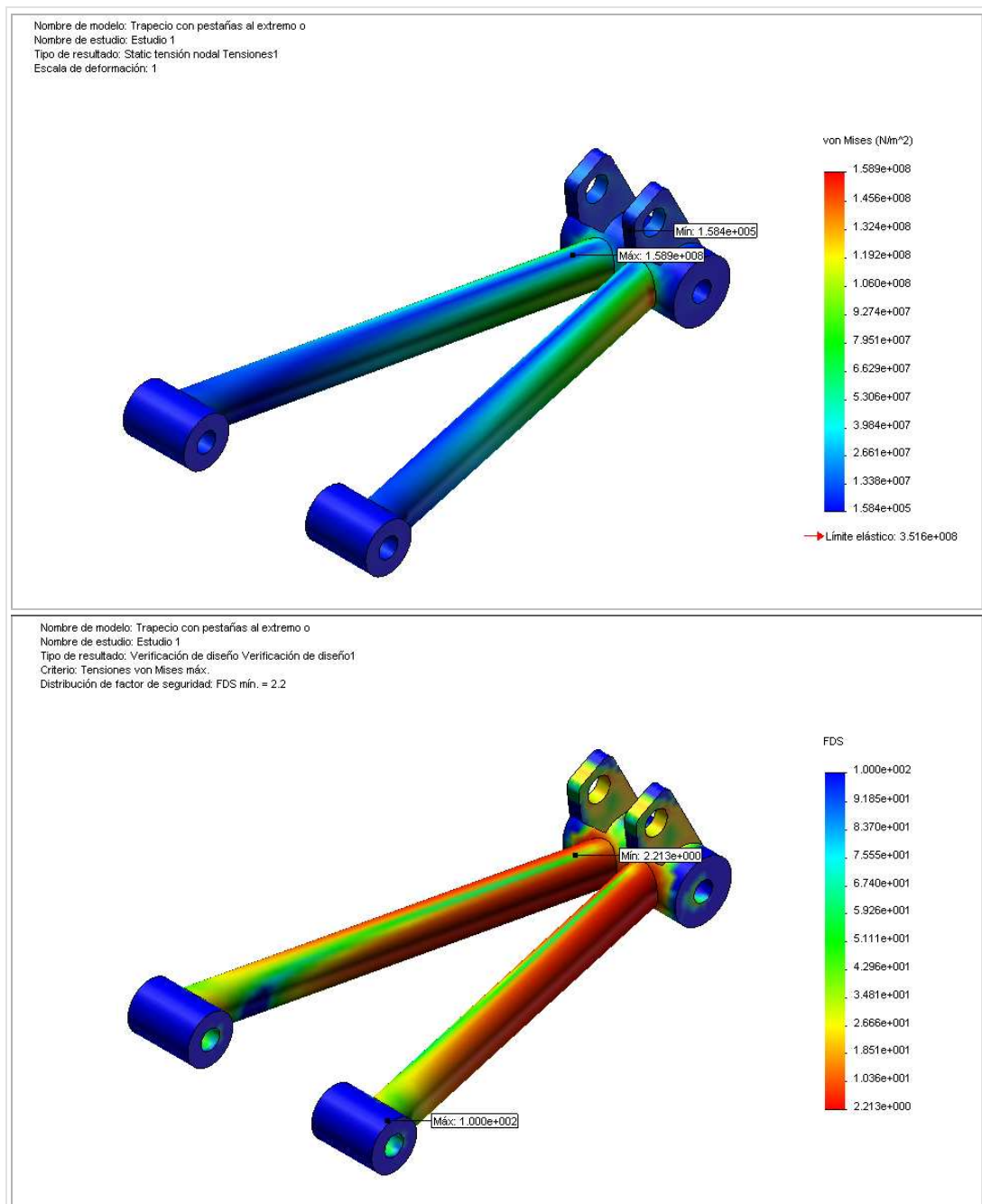
Figura 26. Cargas críticas trapecio inferior.



Fuente: Autor

Como se observa en la figura 27, el esfuerzo máximo del trapecio sometido a las cargas críticas se presenta en los brazos tubulares, sin embargo, dicho esfuerzo no supera el límite elástico del material.

Figura 27. Análisis de tensiones y factor de seguridad del brazo lateral.



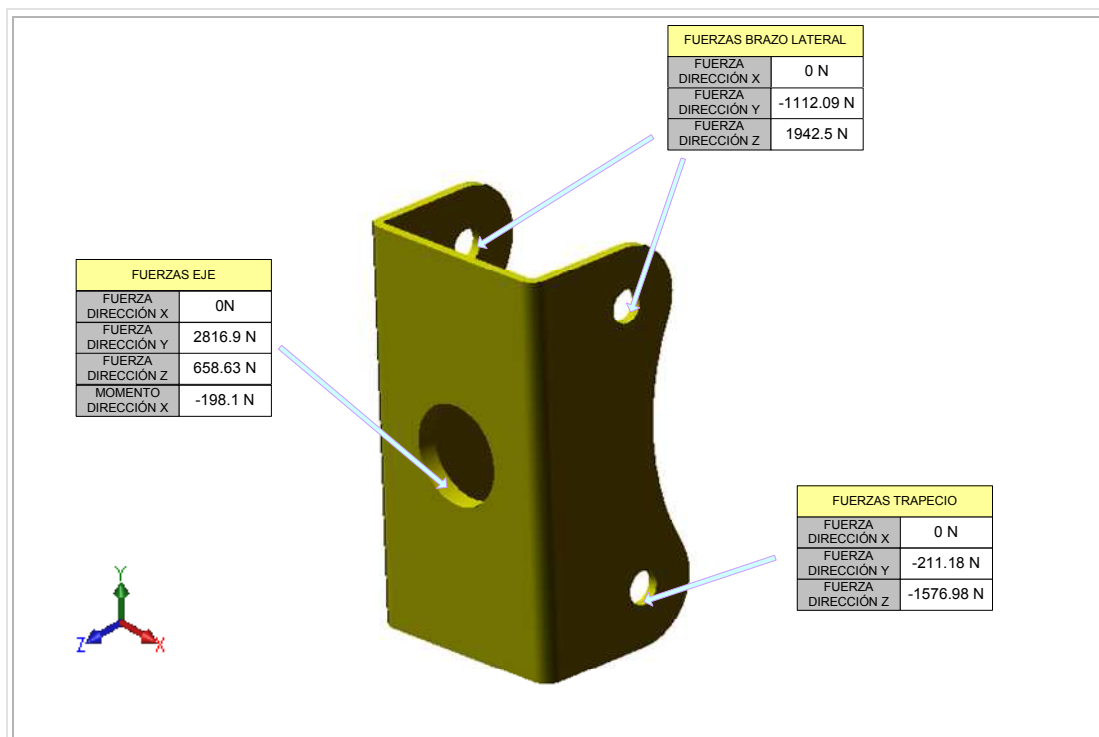
Fuente: Autor

Para este cuadro de esfuerzos, el factor de seguridad mínimo es de 2.2, sin embargo, este factor puede ser mayor debido a la acción del cuerpo de caucho, también llamado silent block.

4.2.8 Diseño de la manivela.

Este elemento recibe cargas por parte de los brazos laterales, el trapecio inferior, y el eje de la rueda. Para que la manivela soportara los esfuerzos producidos en servicio, se reforzó el agujero donde se acopla el eje con una lámina cuadrada de 3mm de espesor, ya que la pieza, presentaba esfuerzos de cedencia en su forma original.

Figura 28. Cargas críticas manivela.

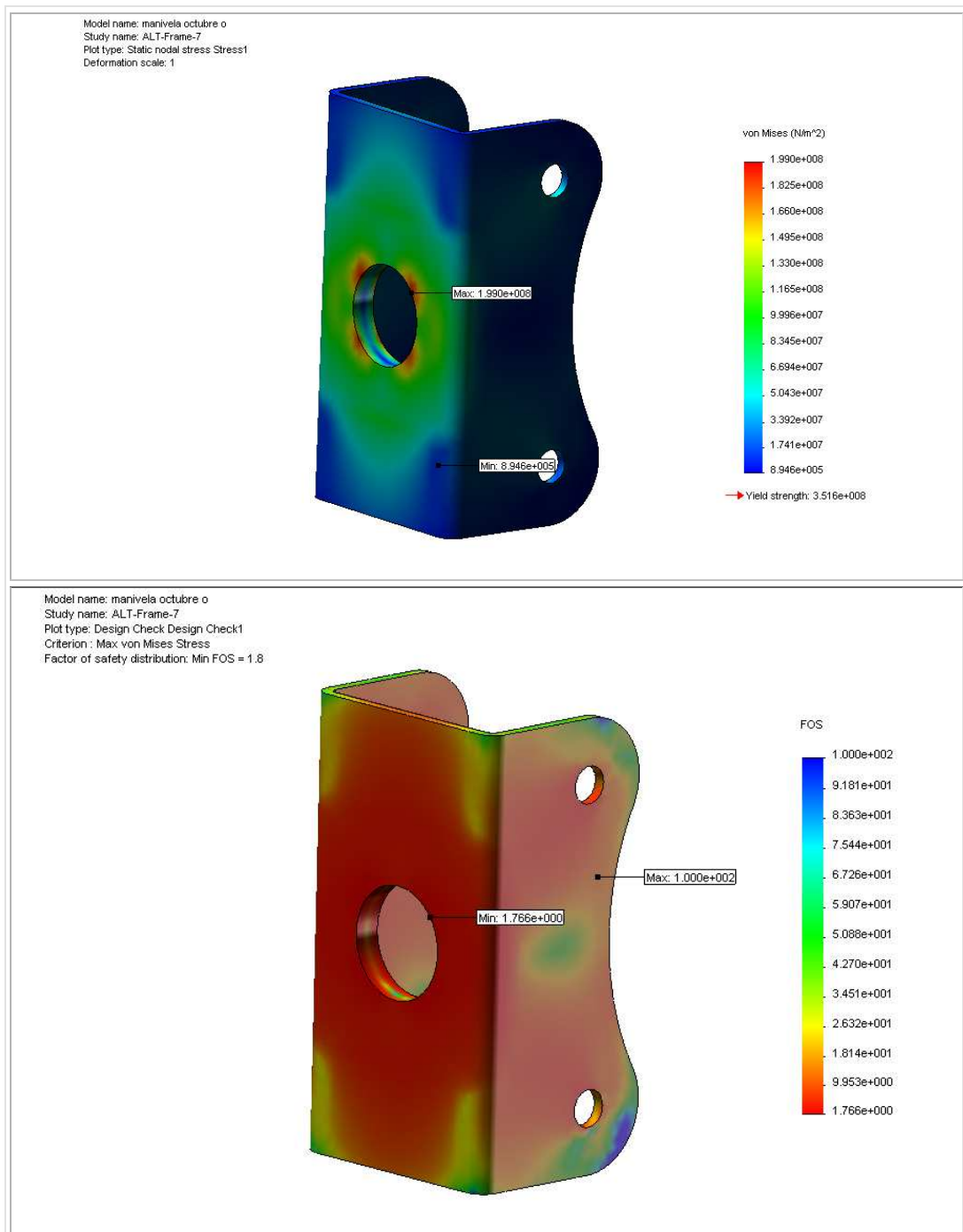


Fuente: Autor

Las reacciones de los brazos laterales y el trapecio inferior, son transmitidas a la manivela por medio de pasadores, mientras que las cargas del eje son transferidas mediante unión rígida por soldadura.

El análisis de tensiones y de factor de seguridad de esta pieza se muestra en la figura 29, en ella se puede ver que los esfuerzos no superan el límite elástico del material, al ser esta sometida a cargas críticas de aterrizaje.

Figura 29. Análisis de tensiones y factor de seguridad manivela.



Fuente: Autor

En la figura anterior se aprecia que el factor de seguridad mínimo se localiza en el agujero donde se aloja el eje, el cual actúa como un concentrador de esfuerzos; es por esto, que se tuvo especial cuidado en reforzar esta zona adicionando una lámina que aumentara el grosor de la pared en contando con la carga.

4.2.9 Diseño de pasadores tren principal.

Tanto el pasador superior como el pasador inferior del amortiguador están sometidos a esfuerzo cortante con dos planos de corte que tienden a seccionarlos. Los pernos se fabricaron de acero AISI SAE 1020 de diámetro de 12 milímetros. El área de corte de los pernos es:

$$A_c = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{\pi \times (12 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{4} = 1.13 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (19)$$

Donde:

Ac: Área de corte.

d: Diámetro del pasador.

La fuerza de corte a la que se someten los pasadores del amortiguador es 1270.92 Newton y el esfuerzo de corte bajo esta carga es:

$$\tau = \frac{V}{A_c} = \frac{1270.92 \text{ N}}{1.13 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 11.2 \text{ MPa} \quad (20)$$

Donde:

τ : Esfuerzo de corte en servicio.

V: Fuerza de corte.

Considerando que el esfuerzo de corte del material es 175.8 Mpa, el factor de seguridad del perno es:

$$N = \frac{\tau_{adm}}{\tau} = \frac{175.8MPa}{11.2MPa} = 15.6 \quad (21)$$

Donde:

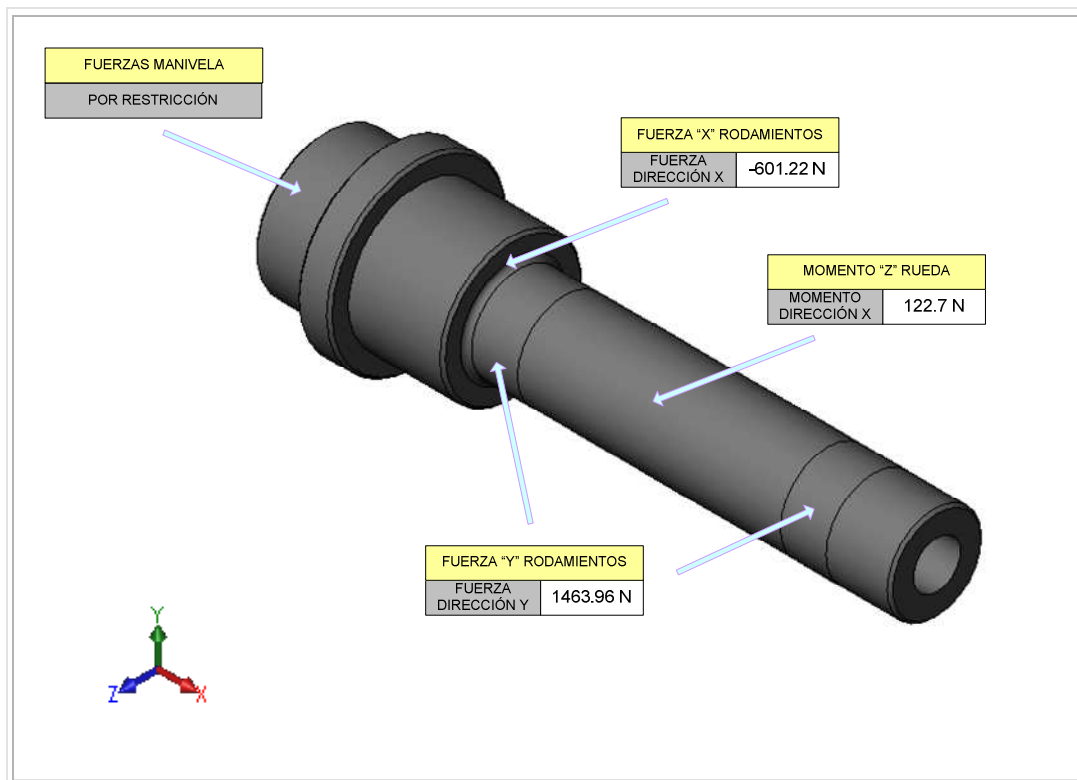
N: Factor de seguridad.

τ_{adm} : Esfuerzo de corte admisible del material

4.2.10 Diseño del eje de la rueda.

El eje recibe las cargas que provienen de un par de rodamientos de bolas, que transmiten una fuerza en dirección "Y" (ver Fig. 30) a través de sus aros internos, de igual manera se transmiten cargas en "X" al hombro del eje, y un momento en la dirección z positiva aplicado al vástago donde se aloja la rueda y rodamientos.

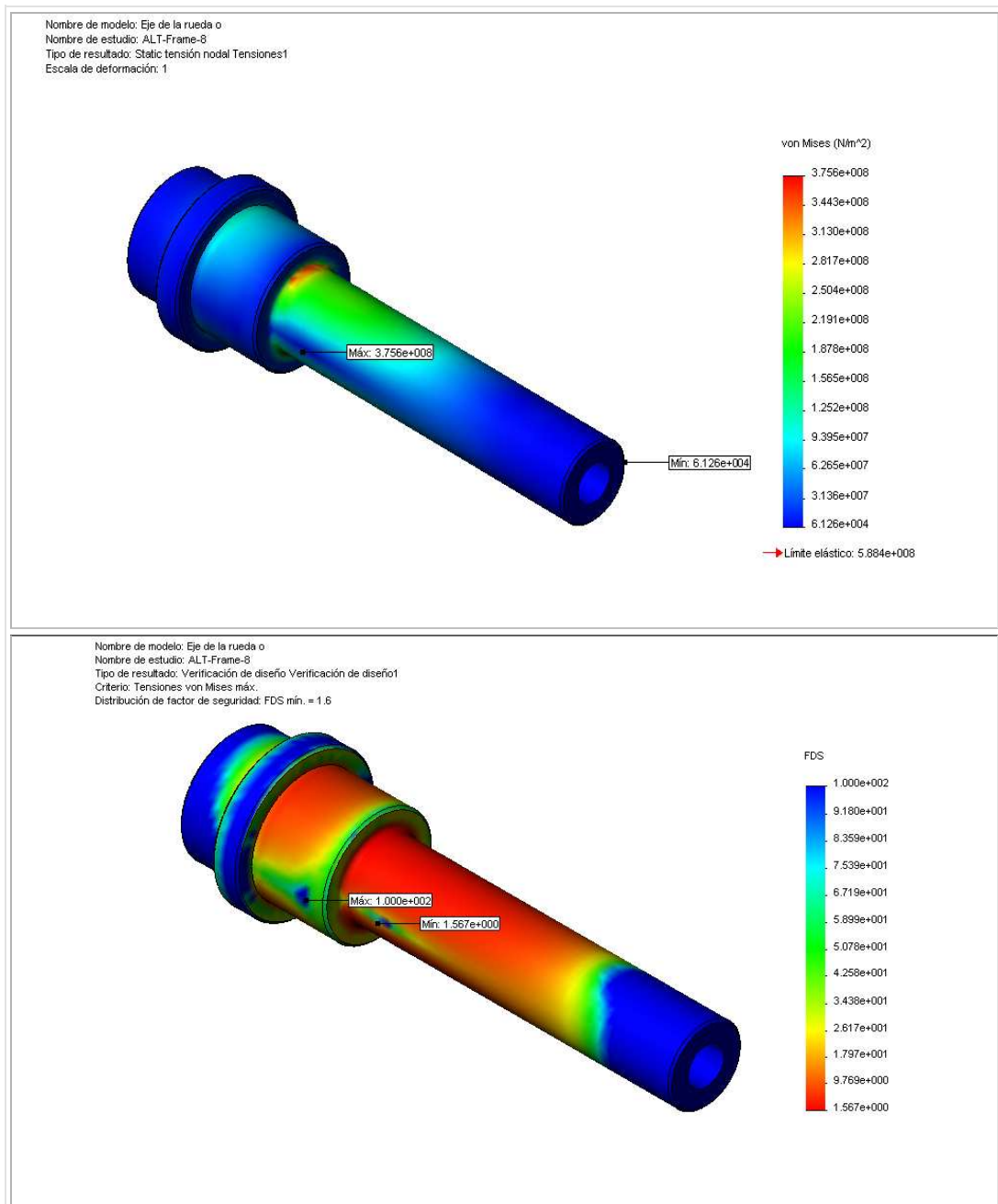
Figura 30. Cargas críticas en eje.



Fuente: Autor

El análisis de esfuerzos de esta pieza se llevó a cabo, ubicando las diferentes cargas y momentos actuantes, también se definió una restricción en las caras del eje que están unidas mediante soldadura con la manivela.

Figura 31. Análisis de tensiones y factor de seguridad del eje.



Fuente: Autor

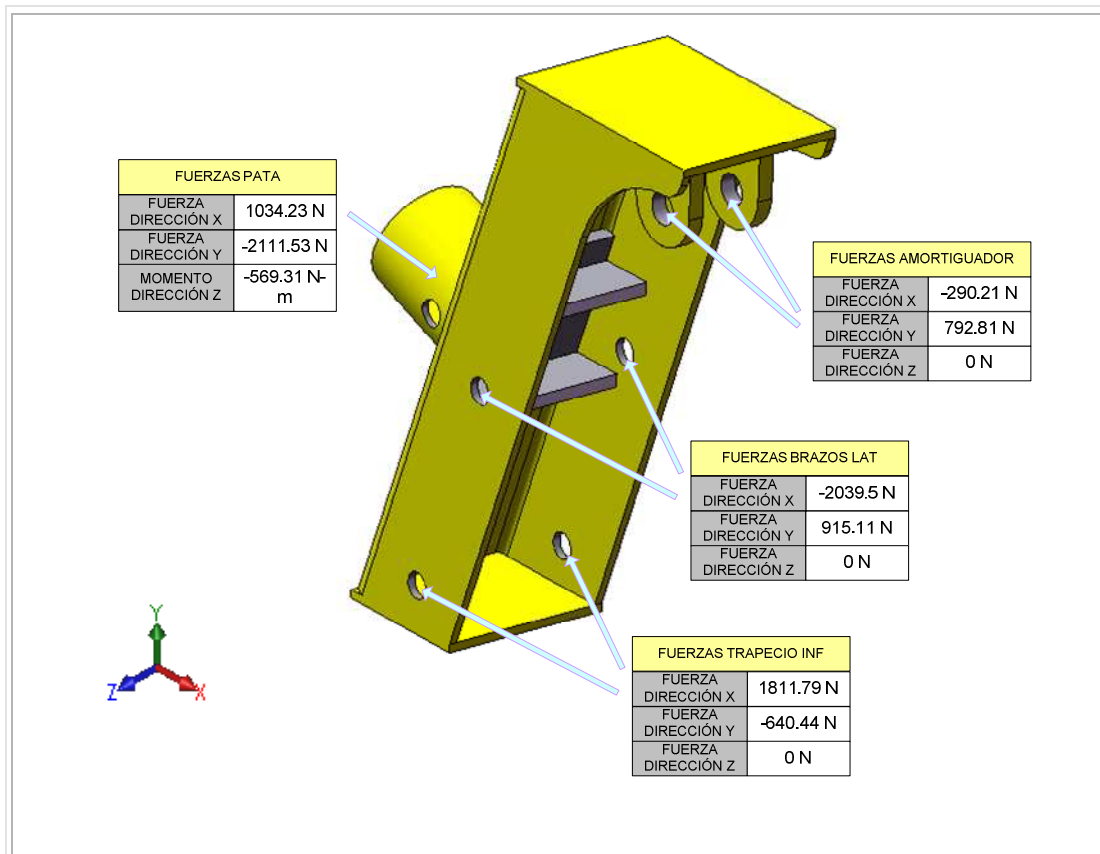
De esta manera se obtuvo el trazado de esfuerzos mostrado en la figura 31, en el que se observa que el mayor esfuerzo se presenta en el cambio sección ubicado en la raíz del hombro. Este comportamiento es esperado ya que un cambio de sección es un concentrador de esfuerzos; sin

embargo, el mayor esfuerzo no supera el límite proporcional del material, y el mínimo factor de seguridad alcanza un valor de 1.6.

4.2.11 Diseño del cuerpo.

El cuerpo esta sometido al conjunto de cargas provenientes de distintos elementos el cual se describe en la figura 32.

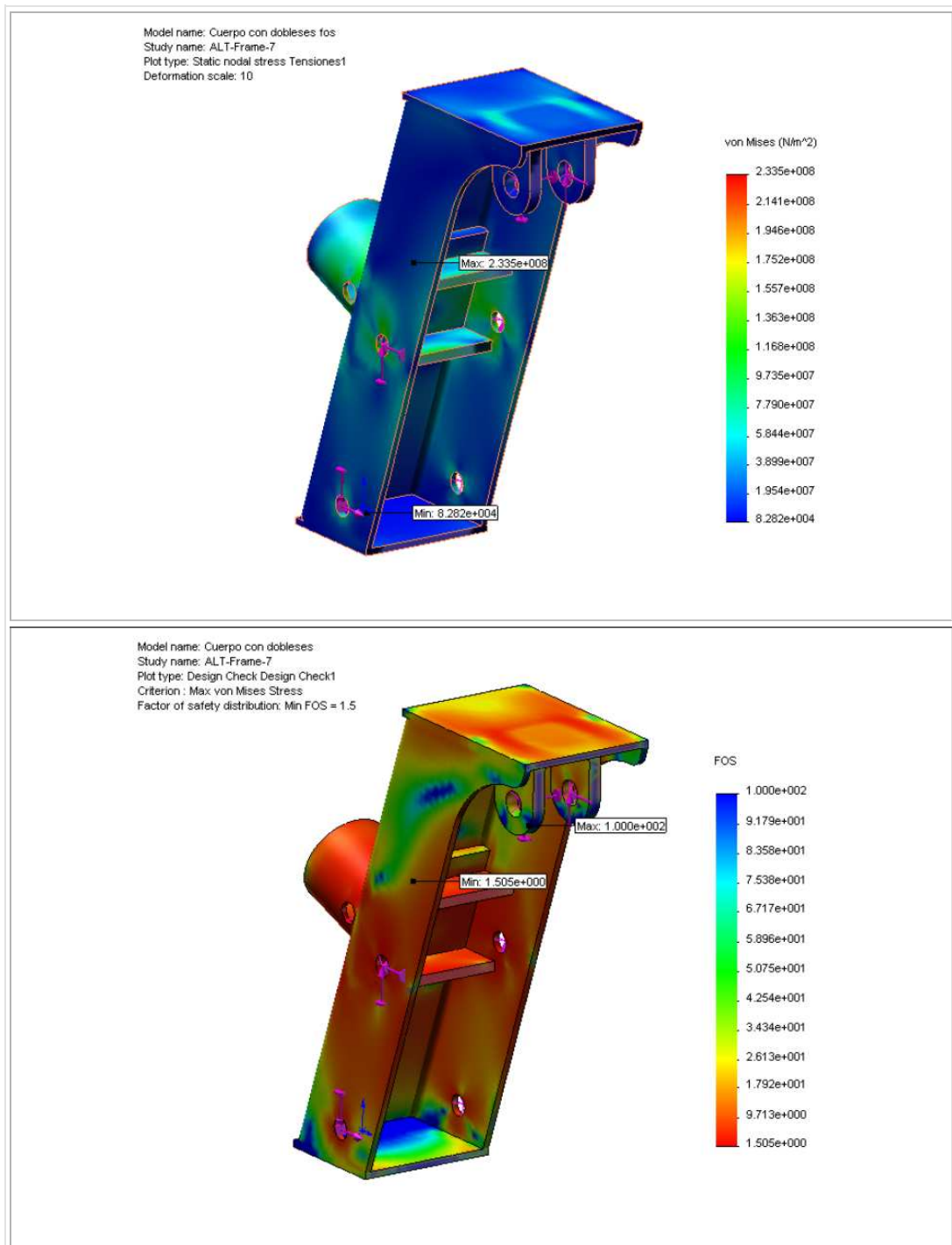
Figura 32. Cargas críticas en cuerpo.



Fuente: Autor

Al hacer un análisis de esfuerzos previo se tomó la decisión de reforzar la zona posterior al tubo de acople con la pata del ultraliviano, ya que inicialmente las cargas generaban esfuerzos de cedencia.

Figura 33. Análisis de tensiones y factor de seguridad del cuerpo.



Fuente: Autor

En la figura 33 se aprecia que el factor de seguridad mínimo aun se localiza en la parte superior del refuerzo, en la zona donde se acopla el

cuerpo a la pata del ultraliviano, sin embargo, este se encuentra dentro de los valores aceptados.

5. PROCESO DE MANUFACTURA DEL TREN DE ATERRIZAJE.

En este capítulo se muestran los detalles relevantes identificados en el proceso de construcción y montaje, que se consideraron pertinentes de consignar en este trabajo de grado.

5.1 CONSTRUCCIÓN DEL CUERPO.

Para la construcción del cuerpo del tren principal se partió de un una lámina de acero A-36 de 3 mm, la cual fue doblada en forma de C. La forma característica de esta pieza se logró sometiendo esta a un proceso de mecanizado en el centro de mecanizado CNC; y para lograr una correcta sujeción de la pieza, se empleó un bloque de madera al que se atornillo el perfil en C para reducir las vibraciones en el mecanizado.

Figura 34. Sujeción del cuerpo a la mesa del centro de mecanizado.



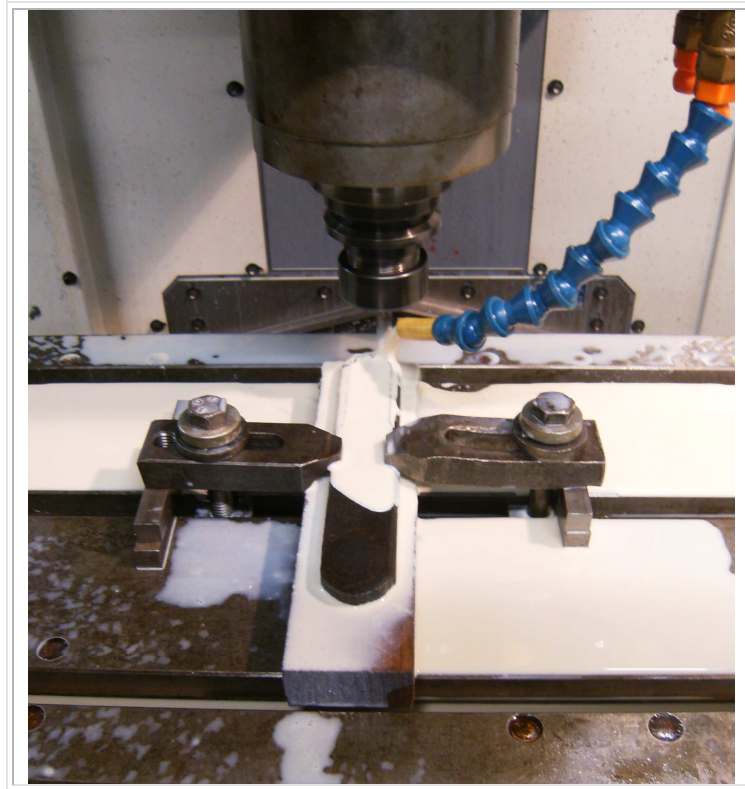
Fuente: Autor

Seguidamente, se soldaron unas láminas en la parte inferior y superior, y un tubo en la parte trasera que servirá de conexión entre esta pieza y la pata del ultraliviano. La soldadura se realizó con el método SMAW con electrodo E6013. Finalmente se mejoró el acabado de la soldadura con pulidora.

5.2 CONSTRUCCIÓN DE LOS BRAZOS LATERALES.

Cada brazo fue construido a partir de una lámina de acero A-36 calibre 3/8", a la cual se le realizó una ranura en la parte central con el objetivo de aligerarlo, y unos agujeros de 18 mm en los extremos; estas operaciones se llevaron a cabo en el centro de mecanizado CNC. Para el mecanizado el material sin conformar se sujetó a la bancada del centro de mecanizado de la forma mostrada en la figura 35.

Figura 35. Mecanizado de un brazo lateral.



Fuente: Autor

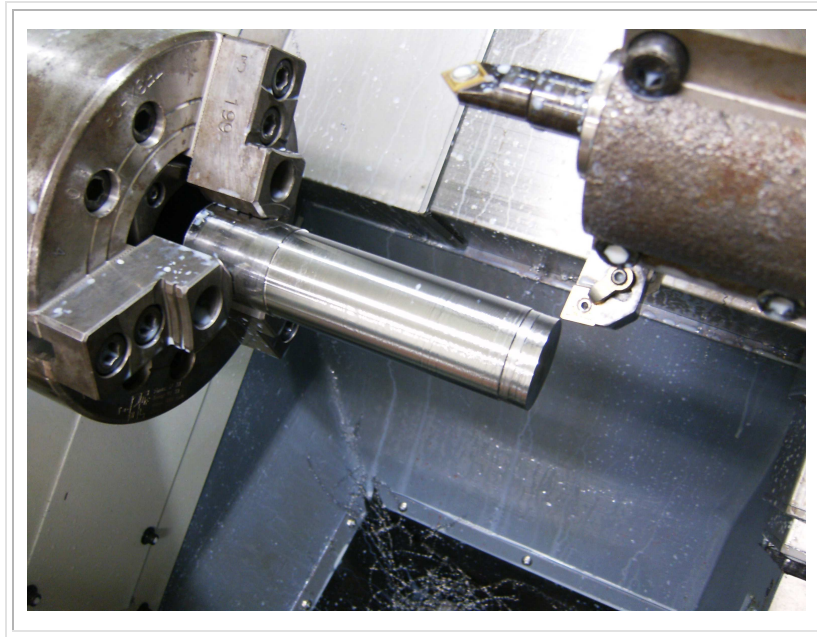
Un par de bujes en acero AISI-SAE 1020, se alojan en los agujeros de la lámina con ajuste forzado, y se fijan a esta por medio de soldadura SMAW con electrodo E6013.

5.3 CONSTRUCCIÓN EJE DE LA RUEDA.

Esta pieza fue mecanizada en su totalidad en el centro de torneado CNC, donde se partió de una barra redonda de acero AISI-SAE 4140 de 1 1/2" de diámetro y 15 cm de largo. Se realizaron una serie de cilindrados para dar el acabado exterior, teniendo especial cuidado en las tolerancias que debían tener los asientos de los rodamientos de bolas. Se talló una rosca milimétrica paso 1.0 y por último se realizó un taladrado pasante a lo largo del centro del eje para aligerar la pieza. Debido a la longitud de la

pieza fue necesario utilizar contrapunto para evitar que la pieza vibrara, hecho que generaría un acabado irregular.

Figura 36. Construcción eje de la rueda.

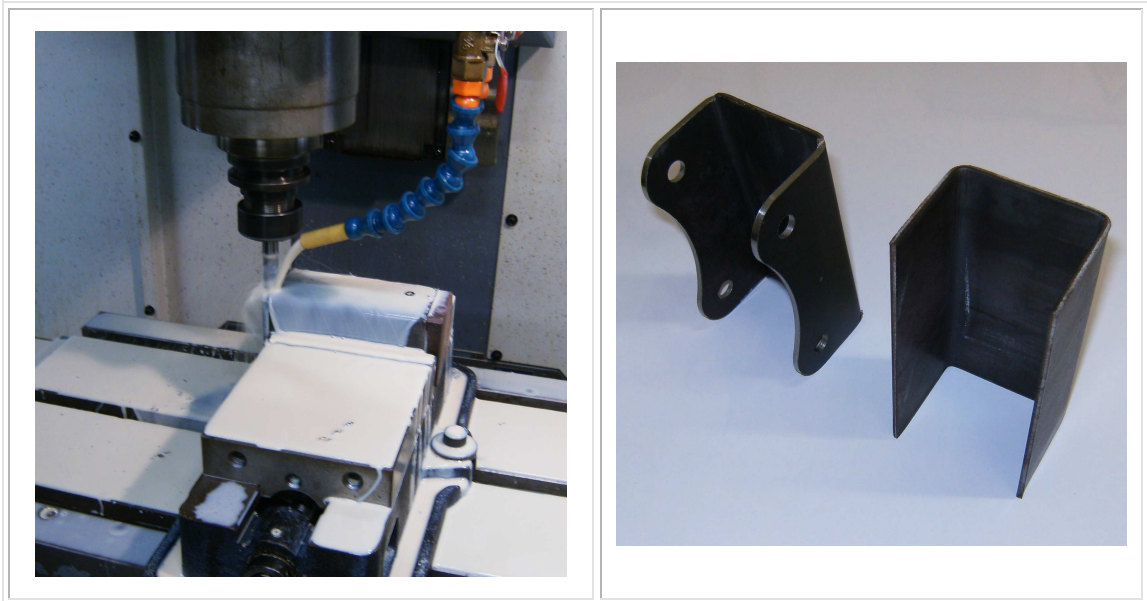


Fuente: Autor

5.4 CONSTRUCCIÓN MANIVELA.

La manivela, al igual que el cuerpo, se construyó a partir de lámina A-36 de 3mm de espesor, doblada en C, y luego maquinada en el centro de mecanizado CNC. En los lados, se maquinó un contorno curvo que aporta estética a la pieza y los taladrados que articulan con los brazos laterales y el trapecio inferior; y en la parte frontal se maquinó un agujero donde se aloja el eje de la rueda. La forma de sujeción utilizada para fijar esta pieza a las mordazas de la maquina CNC, es similar a la aplicada en el cuerpo.

Figura 37. Proceso de mecanizado manivela.



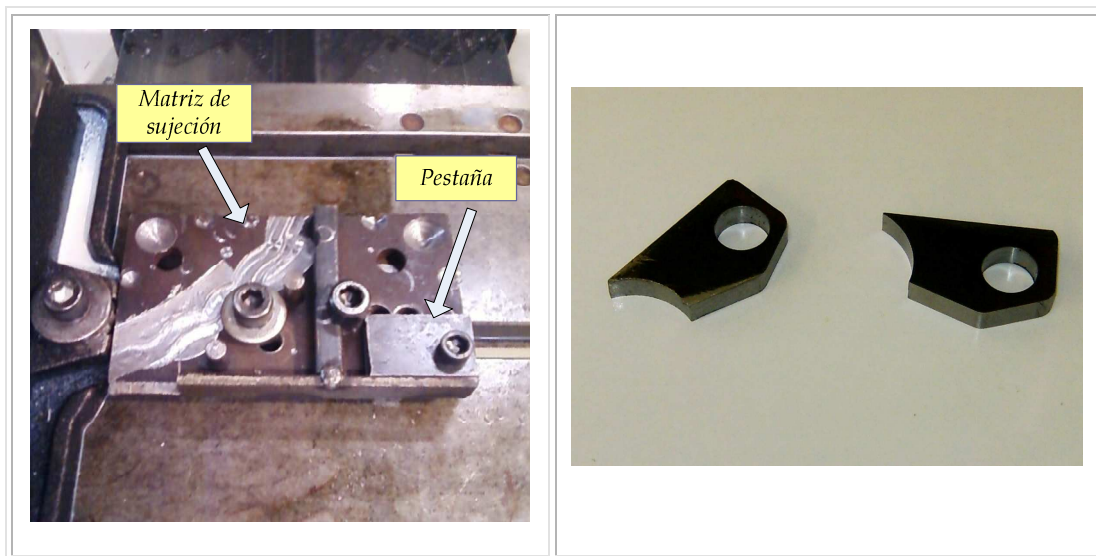
Fuente: Autor

5.5 CONSTRUCCIÓN TRAPECIO INFERIOR.

El proceso de construcción de esta pieza, comenzó con la manufactura de los bujes que articulan la pieza, estos elementos se conformaron en el centro de torneado CNC, y son de Acero AISI-SAE 1020. Seguidamente, se procedió con la fabricación de las pestañas que articulan el amortiguador con el trapecio, las cuales se construyeron en acero estructural A-36, material con características químicas y mecánicas parecidas al acero 1020.

Para el maquinado de las pestañas, se partió de unas láminas cuadradas, a las que primeramente se les taladró un agujero de 12 mm. Posteriormente, las láminas se fijaron a la bancada del centro de mecanizado por medio de una matriz como se puede apreciar en la figura 38, y se maquinó el contorno exterior.

Figura 38. Método de sujeción de las pestañas para el mecanizado del contorno exterior.



Fuente: Autor

A los tubos conectores de los bujes, de acero estructural A-36, se les realizó un maquinado en sus extremos para permitir que los bujes encajaran justamente en ellos. Cada tubo se sujetó en la prensa del centro de mecanizado CNC, formando un ángulo de 13° entre la superficie horizontal de la prensa y el eje axial del tubo. Finalmente, se soldaron todas las partes por medio de soldadura SMAW con electrodo E6013, teniendo especial cuidado en la alineación de los agujeros de articulación de los bujes.

5.6 CONSTRUCCIÓN RESORTES HELICOIDALES.

El proceso de construcción de los resortes no se puede detallar como se ha hecho con el resto de las piezas, ya que estas partes fueron elaboradas a medida en una fábrica especializada, seguidamente se les realizó un tratamiento térmico de temple y revenido para mejorar su resistencia.

Figura 39. Construcción resortes helicoidales.



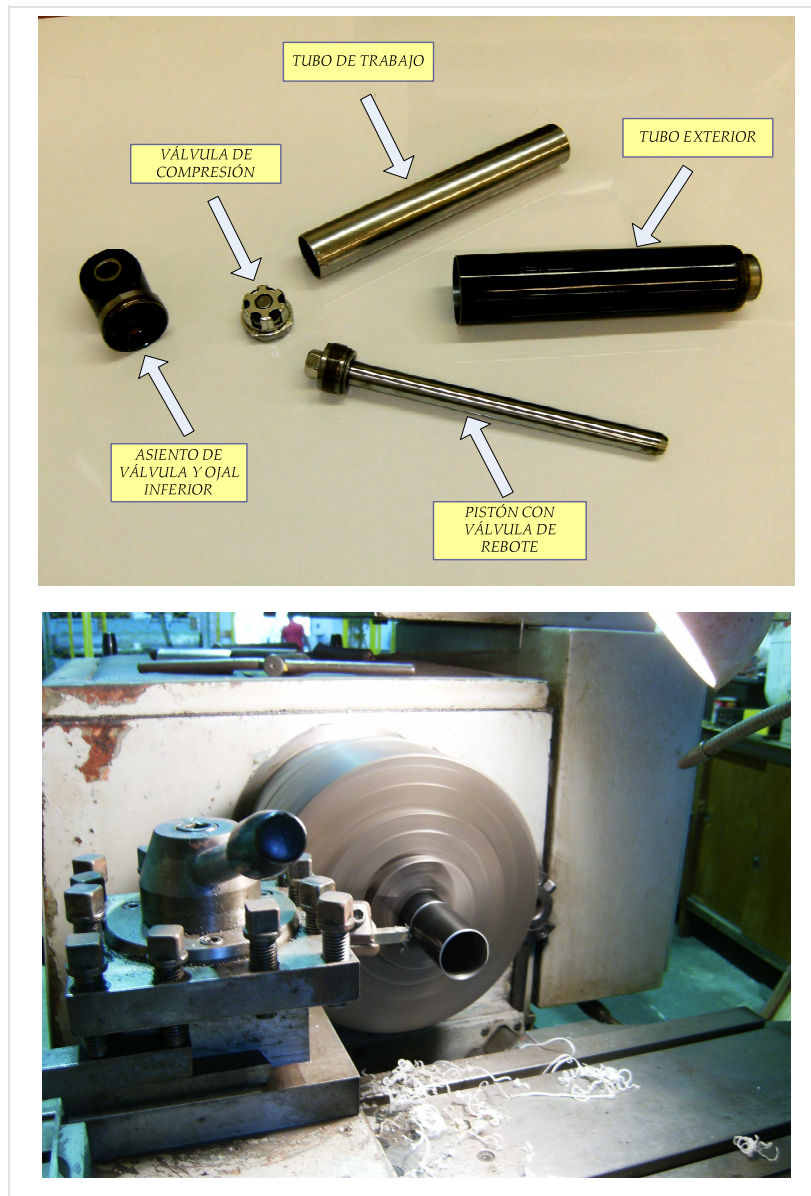
Fuente: Autor

Para el material de los resortes (AISI-SAE 1070), la empresa IMAT Ltda, que aplicó el tratamiento térmico, recomendó una dureza después de revenido de 43 HRc; con esta dureza se logra un aumento en la resistencia a la tracción y resistencia a la fluencia del material sin fragilizarlo. Pretender conseguir una dureza mayor a la recomendada, aumentaría aún más la resistencia del material, pero comprometería la tenacidad de este.

5.7 MODIFICACIÓN DEL AMORTIGUADOR HIDRÁULICO.

El proceso de modificación del amortiguador hidráulico, consistió principalmente en recortarlo para conseguir la carrera deseada, y fabricar los asientos del resorte helicoidal y el tubo exterior. (Fig. 40).

Figura 40. Proceso de recorte del amortiguador hidráulico.

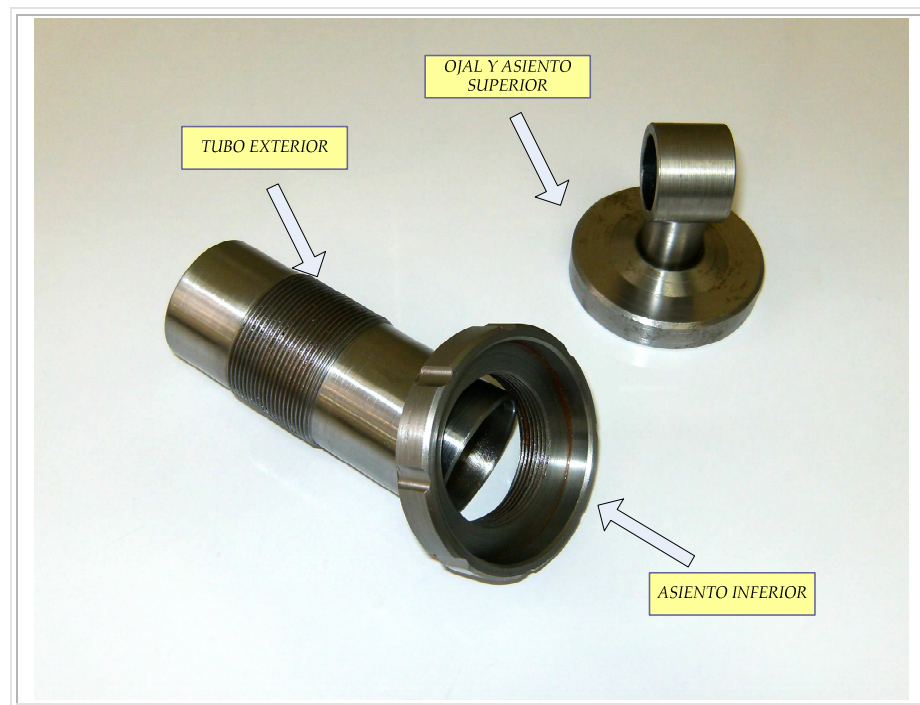


Fuente: Autor

Para lograr que el amortiguador tuviera una carrera de 55 mm, varias partes de este, como el tubo de trabajo, el tubo exterior y el pistón, fueron recortadas 95 mm en un torno. Por otra parte, fue necesario realizar un roscado en el extremo del pistón para conectarlo con el ojal superior y así permitir el montaje del resorte.

De las partes del amortiguador cortado se aprovecharon el tubo de trabajo, el ojal inferior, la válvula de compresión, y el vástago, siendo necesario fabricar el tubo exterior, el ojal superior y los asientos del resorte.

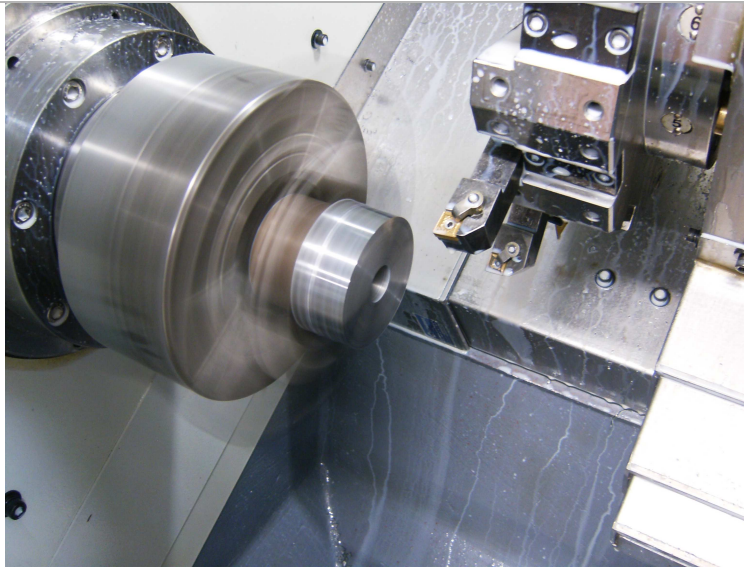
Figura 41. Partes del amortiguador fabricadas.



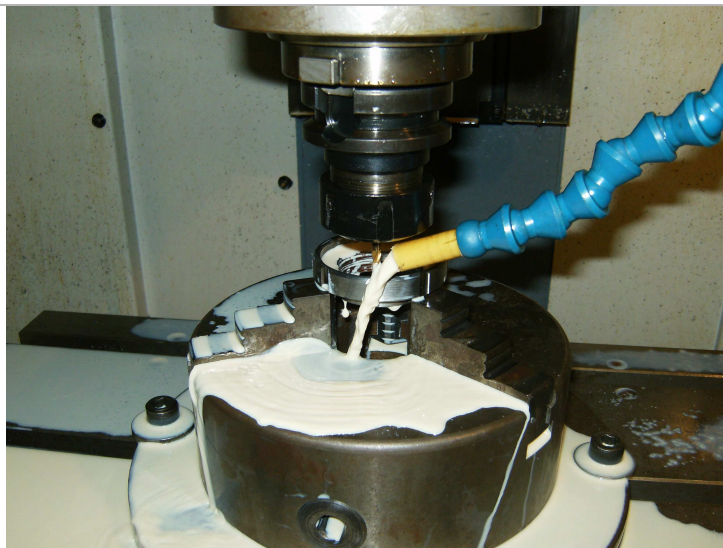
Fuente: Autor

Los asientos del resorte y el tubo exterior fueron conformados por torneado. Al tubo exterior se le talló una rosca métrica paso 1.5, en donde un anillo (asiento del resorte inferior) permite ajustar la tensión inicial del resorte helicoidal. Las diferentes partes del amortiguador se soldaron mediante soldadura SMAW, teniendo especial cuidado en enfriar constantemente las partes soldadas para evitar el deterioro de los empaques del amortiguador, y evitar porosidades en la soldadura que se podrían producir cuando el aceite, que es depositado dentro del tubo exterior, hierve y trata de escapar creando orificios en la soldadura aún fundida.

Figura 42. Proceso de fabricación de asiento del resorte.



Torneado



Maquinado de muescas para agarre

Fuente: Autor

Al asiento inferior del resorte, se le maquinaron unas muescas en su periferia, esto con el fin de facilitar el ajuste manual del resorte.

5.8 CONSTRUCCIÓN DE LOS PEDALES DE CONTROL.

El proceso de fabricación utilizado para conformar los pedales, fue fundición en moldes de arena, debido a que es un método de fabricación sencillo y económico, además que los pedales no necesitan precisión en sus dimensiones finales.

Figura 43. Proceso de fundición de los pedales.



Fundición del aluminio



Vaciado en moldes



Pieza terminada

Fuente: Autor

Primeramente, se realizo un molde de madera con las dimensiones básicas del pedal (algunos agujeros no fueron tallados en este molde y fueron maquinados posteriormente), luego este fue prensado en arena para copiar la forma su forma; así se crea una cavidad donde se vierte el

aluminio fundido hasta que se solidifique, finalmente se limpia la pieza y se liman las rebabas.

5.9 CONSTRUCCIÓN TENEDOR TREN DELANTERO.

El tenedor del tren delantero se fabricó a partir de perfil cuadrado calibre 14 de 1", siguiendo la configuración original. Las pestañas de acople de los amortiguadores delanteros son de platina doblada de espesor 3 mm. Que luego fueron unidas al tenedor por medio de soldadura. También se unieron mediante soldadura un par de tubos de 1/2" en donde giran los pedales de control. Por último el mecanismo de bloqueo, que consta de una platina de 3 mm. con un mecanizado en forma de sierra unida al pedal izquierdo, que permite la acción de bloqueo al trabar sus dientes a una varilla fija al tenedor. Los elementos antes mencionados fueron mecanizados en el centro de mecanizado CNC y unidos mediante soldadura SMAW.

Figura 44. Tenedor tren delantero y pedales.



Fuente: Autor

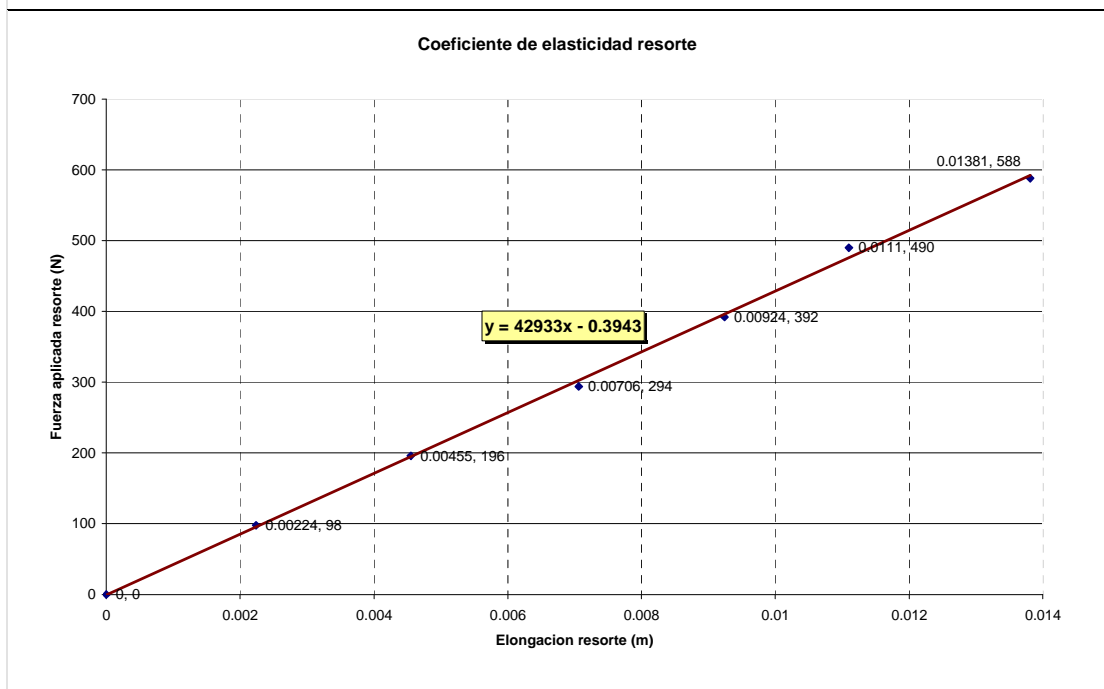
6. PRUEBAS.

Una vez concluido el proceso de manufactura y montaje del tren de aterrizaje, se procede a evaluar el su comportamiento mediante pruebas.

6.1 COMPROBACIÓN DE DISEÑO DEL RESORTE.

La comprobación de la constante de elasticidad del resorte se realizó agregando pesos calibrados de 10 Kg y midiendo la nueva longitud del resorte cada vez que se agregaban más pesos, como se muestra en la figura 45. Luego los datos fueron introducidos en una hoja de cálculo de Excel y se dibujó un grafico de tendencia lineal.

Figura 45. Comprobación de la constante de elasticidad del resorte.



La pendiente de la línea en la figura 45 revela una constante de elasticidad del resorte medida de 42933 N/m, con un porcentaje de error de 0.17% con respecto al valor teórico de 43008 N/m.

6.2 PRUEBA DE CAÍDA LIBRE.

Durante la prueba se midieron lo siguientes parámetros:

- Compresión máxima del resorte: Esta compresión se midió colocando una inyección hipodérmica adherida a un extremo del resorte y permitiendo el contacto entre el embolo de la inyección y el otro extremo del resorte, de modo que cuando el tren de aterrizaje cayera la inyección se comprimiera, logrando después medir la máxima compresión (Fig. 46 a).
- Curva de desplazamiento del resorte: La curva de desplazamiento del resorte se extrajo grabando un video de la prueba y descomponiendo este en fotos o fotogramas. En cada fotograma se hizo una medición de la distancia entre los extremos del resorte y se graficaron estos datos a lo largo del tiempo. Con el fin de obtener una lectura mas clara de la distancia entre extremos del resorte a lo largo del movimiento, el video fue grabado a oscuras y se instalaron dos leds en cada extremo del resorte (Ver Fig. 46 b).
- Velocidad de caída de la canastilla: El proceso de obtención de la curva de velocidad de la canastilla es igual al de la curva de desplazamiento del resorte, solo que en este caso, se analizó la variación de la distancia de dos leds (uno ubicado en la canastilla y otro en tierra) entre fotogramas, con respecto al tiempo $v = \Delta x / \Delta t$.

Figura 46. Toma de datos de la prueba de caída libre.



Fuente: Autor

6.2.1 Interpretación de resultados.

Luego de analizar los datos tomados en la prueba, se observa que la máxima compresión medida del resorte difiere un 14.5% de la compresión calculada en la simulación, sin embargo, la variación de este valor entre los datos medidos en la prueba (inyección y análisis cinemático) solo varía un 3%, lo que indica que el análisis cinemático de fotogramas es acertado.

Factores que no se tuvieron en cuenta en la simulación como la fricción entre partes, producen que los valores reales de compresión del conjunto resorte – amortiguador sean menores que los valores propuestos en el diseño. En especial, la fricción que hay entre la rueda y el suelo al momento del impacto, limita el movimiento de compresión del resorte. En este caso, la rueda no solo se deforma en la dirección del impacto, sino en la dirección longitudinal a causa de la fricción, creando una fuerza en la dirección lateral que restringe el libre movimiento del tren (Ver figura 47).

Tabla 8. Comparación de resultados de la simulación dinámica en Cosmosworks, con los resultados de la prueba de caída libre.

	Simulación Cosmosmotion	Desplazamiento Inyección		Análisis cinemático de fotogramas	
	Valor	Valor	% error	Valor	% error
Máxima compresión resorte (cm)	4.91	4.2	14.46	4.33	11.81
Velocidad canastilla en el momento de impacto Rueda- piso (m/s)	1.12	-----	-----	1.31	16.9

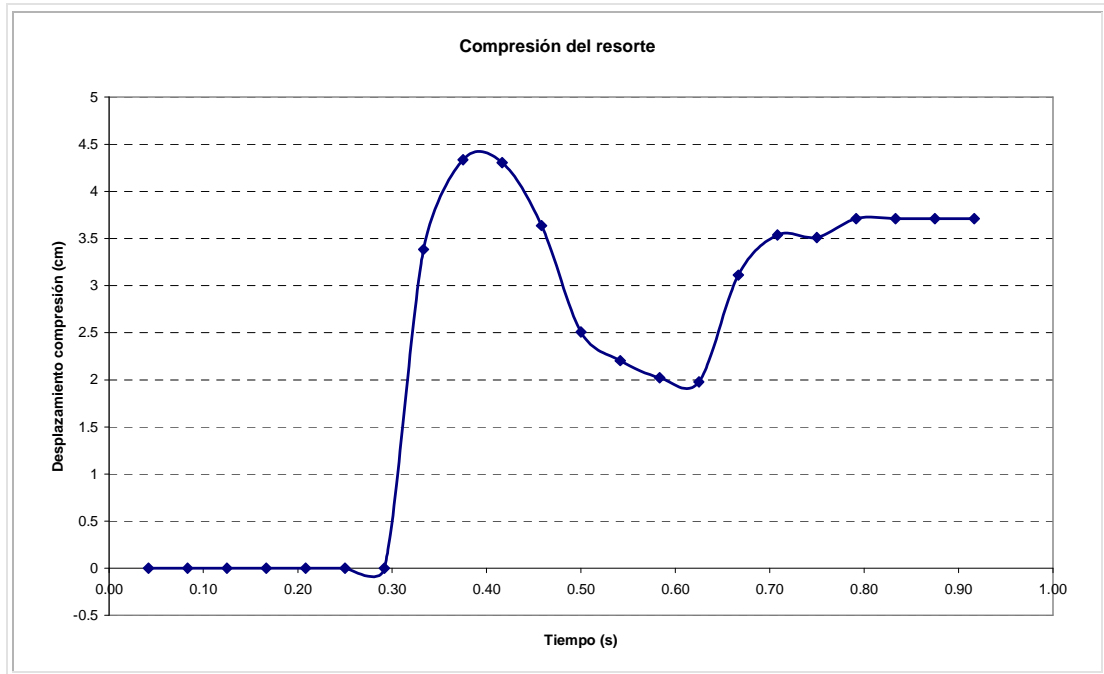
Figura 47. Fotograma donde se aprecia la fuerza de fricción lateral actuando en la rueda al momento del impacto.



Fuente: Autor

Por otra parte, comparando el comportamiento de la gráfica de compresión del resorte medida en la prueba (Fig. 48) y la gráfica de de compresión del resorte derivada de la simulación dinámica (Ver Anexo E), se aprecia que la respuesta real del sistema es mucho mas subamortiguada que la simulada, lo que indica que la fuerza de amortiguamiento es menor que la fuerza de elasticidad. Este comportamiento no es recomendable, porque produciría un rebote del ultraliviano al momento de aterrizar, causando inestabilidad en la operación.

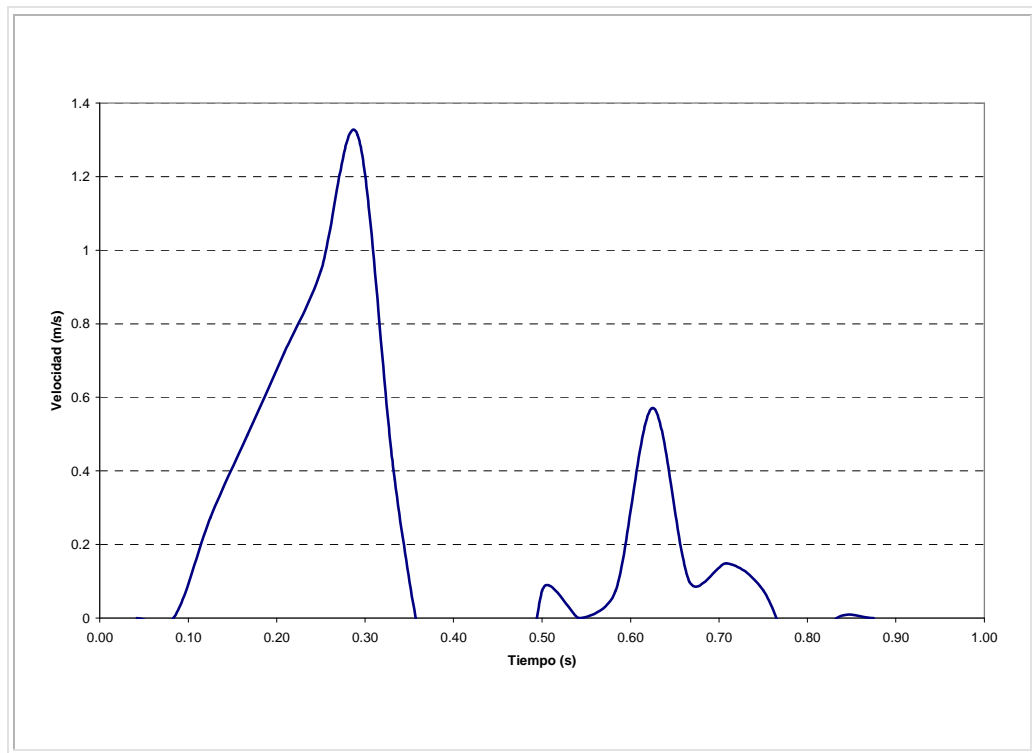
Figura 48. Curva de compresión del resorte del tren principal en prueba de caída libre desde una altura de 8.5 cm.



Fuente: Autor

La diferencia en la respuesta del sistema se debe a que el amortiguador no se caracterizó adecuadamente, ya que no se contó con un banco de pruebas de amortiguadores, que permitiera conocer con más precisión la curva *Fuerza Vs Velocidad* del amortiguador.

Figura 49. Velocidad de la canastilla a lo largo de la prueba de caída libre.



Fuente: Autor

6.3 TREN DELANTERO.

El tren delantero se ensayó realizando una simple encuesta a varios voluntarios que aceptaron ubicarse en el puesto del piloto del ultraliviano, y a los que se pidió responder que tan cómodos se sentían tanto al momento de mantener los pedales accionados y en posición de descanso. Se tuvo especial interés en escoger voluntarios que representaran el rango de percentiles utilizados al momento de diseñar el puesto de conducción.

Figura 50. Prueba tren delantero.



Fuente: Autor

7. CONCLUSIONES.

- Se obtuvo un tren principal de un ultraliviano con las siguientes mejoras:
 - ✓ Capacidad de absorción de impactos a una velocidad de aterrizaje de diseño superior a 1.12 m/s, sin sufrir colapso de sus partes.
 - ✓ Facilidad de rodaje en pistas irregulares o poco preparadas.
 - ✓ Incremento del confort de los pasajeros.
- Se obtuvo un tren delantero con las siguientes mejoras:
 - ✓ Incremento del confort del piloto.
 - ✓ Mayor maniobrabilidad de la dirección.
- El empleo de este tipo de proyectos permite la integración y confrontación práctica de las herramientas informáticas de vanguardia con los conocimientos adquiridos por el estudiante a lo largo de la carrera. De esta forma se reafirma la confianza en los resultados y la utilidad de dichas herramientas a la hora de implementarlas en la práctica.
- El desarrollo de la prueba de caída libre permitió demostrar la capacidad real de funcionamiento del tren principal construido, así como la proposición de futuras mejoras tendientes a optimizar la respuesta dinámica del sistema.

- Con la ejecución de este proyecto de grado, se hace efectiva y práctica la misión de la Universidad Industrial de Santander, comprometida con la generación y adecuación de los conocimientos que permitan adaptar la tecnología existente a nuestro entorno.

8. RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES.

- Instrumentar debidamente el banco de pruebas de caída libre con diferentes sensores (Potenciómetro y una celda de carga) y un sistema de adquisición de datos, de modo que se realice una toma de datos mucho más precisa y confiable, además de obtener nuevas mediciones como la reducción de la fuerza de impacto lograda con el nuevo tren de aterrizaje.
- Realizar nuevas pruebas de caída libre, agregando al amortiguador aceites más viscosos que el actual, a fin de reducir el subamortiguamiento de la respuesta del tren principal.
- Construir un nuevo carenado que resguarde las partes del tren principal, para evitar que partículas levantadas por este colisionen con la hélice.

BIBLIOGRAFÍA.

CASILLAS, A. L. Máquinas cálculos de taller. Madrid. Ediciones máquinas. 1997.

CONWAY, H. G. Landing gear design. Champman and Hall, London. 1988.

8º CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA MECÁNICA (2007, Lima, Perú). Influencia del modelo de amortiguador en la simulación del sistema de suspensión de un vehículo. Lima, Perú. Pontificia universidad católica de Perú, 2007.8 P.

CRONEY, John. Antropometría para diseñadores. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona. 1978.

FANUC SERIES O-MC. Manual del operador. Fanuc LTD 1989.

MASTERCAM. Versión 9 Mill design tutorial. 2002 CNC software.

NORTON, Robert L. Diseño de maquinas. Mexico DF. Prentice Hall – Pearson editores. 1999.

ROSKAM, Jam. Airplane design. Roskam aviation and engineering corporation, Ottawa Kansas. 1986.

RECURSOS WEB.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE PILOTOS DE ULTRALIGERO “AEPUL”.

Normativa legal. Disponible en: <http://www.aepul.aero/node/33>

AIRCRAFT DESIGNS. INC. *Landing gear loads.* Disponible en:

<http://www.aircraftdesigns.com/landing-gear-loads.html>

COMPAÑÍA GENERAL DE ACEROS. *Catalogo de productos.* Disponible

en: <http://www.cga.com.co/>

14 CFR, PART 23, AIRWORTHINESS STANDARDS: *Normal, Utility, Acrobatic, and Commuter category airplanes.* U.S. Government Printing Office, Washington D.C. 1992. Disponible en:

http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/textidx?c=ecfr&tpl=/ecfrbrowse/Title14/14tab_02.tpl

DISEÑO AERODINÁMICO DE AERONAVES LIGERAS. *Trabajos*

prácticos de las cátedras de Diseño I y Diseño II. Disponible en:

http://www.geocities.com/grupo_fret/

EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY “EASA”, *Agency Measures -*

Certification specifications. Disponible en:

http://www.easa.europa.eu/ws_prod/g/rg_certspecs.php#CS-VLA

ANEXOS

Anexo A: LA DINÁMICA DEL ATERRIZAJE.

Es sabido que el propósito principal del tren de aterrizaje es:

- a. Cambiar el desplazamiento vertical en el aterrizaje a uno paralelo a la pista.
- b. Suministrar suspensión durante el rodaje en tierra que permita al avión superar las irregularidades de la pista de aterrizaje.

El requerimiento es conocer la componente vertical de la energía cinética a absorber por el tren de aterrizaje principal. La velocidad de descenso de los aviones normalmente es considerada constante, sin embargo, aterrizajes especiales deben ser considerados. El procedimiento normal es asumir que toda la energía vertical del avión es absorbida por el tren principal:

Energía total por elemento:

$$E = \frac{Wv^2}{2g} \quad (22)$$

Donde:

W = Peso del avión por elemento de aterrizaje.

v = Velocidad vertical de aterrizaje.

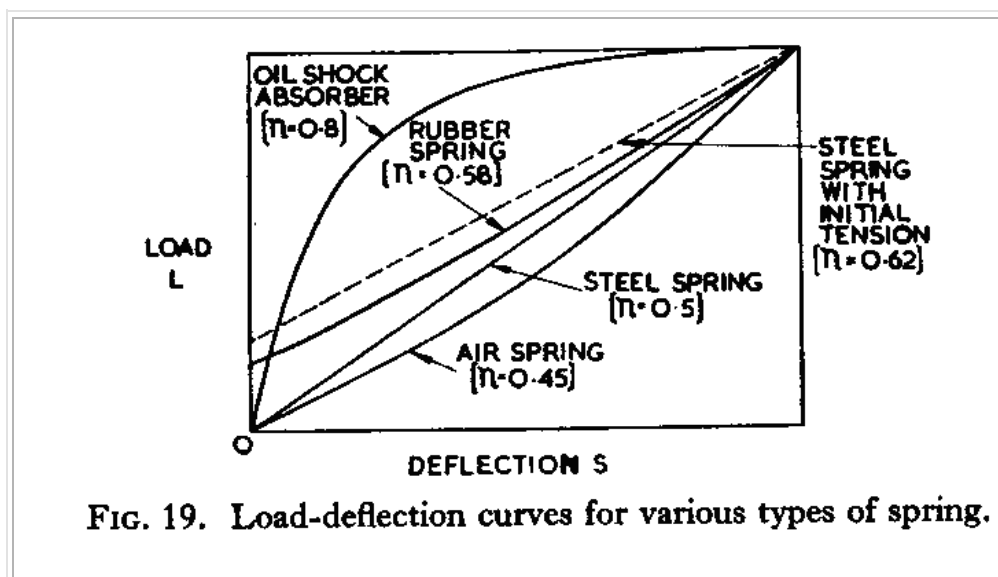
g = Fuerza de gravedad.

La velocidad vertical del avión debe ser reducida a cero. Esto se puede lograr almacenando la energía en un resorte, disipándola en un

amortiguador (convirtiéndola en calor), o, como se acostumbra en la practica, combinando resorte y amortiguador.

La energía que puede ser almacenada en un resorte de acero es la mitad del producto de la carga y la deflexión ($LS/2$); en la figura 51 se puede observar que esta energía se representa por el área bajo la curva de carga-deflexión. La relación entre el área anteriormente mencionada y el área total limitada por el máximo valor de carga y de deflexión, es llamada eficiencia de almacenamiento (n).

Figura 51. Curva de comportamiento de varios tipos de resortes



Fuente: CONWAY, H. G. Landing gear design. Chapman and Hall, London. 1988.

Un resorte de acero tiene una eficiencia del 50%, un resorte de aire como una rueda tiene una eficiencia menor del 50% si la elasticidad del neumático es ignorada. Un buen amortiguador hidráulico puede tener una eficiencia del 75% al 90%. Una forma de aumentar la eficiencia de un resorte de acero, es pretensionando este.

$$nLS = \frac{Wv^2}{2g} \quad (23)$$

Donde:

n = Eficiencia del resorte.

L = Fuerza máxima en el resorte.

S = Deflexión del resorte.

Para que la deflexión S sea mantenida dentro de los límites razonables, la máxima carga L desarrollada durante el aterrizaje debe exceder el peso del avión por elemento. Dicho de otra forma, la deceleración causada durante la absorción debe ser mayor que la gravedad. La relación L/W es generalmente llamada N, cuyos valores prácticos están en el rango de 2 a 5, entonces la ecuación queda:

$$nNS = \frac{v^2}{2g} \quad (24)$$

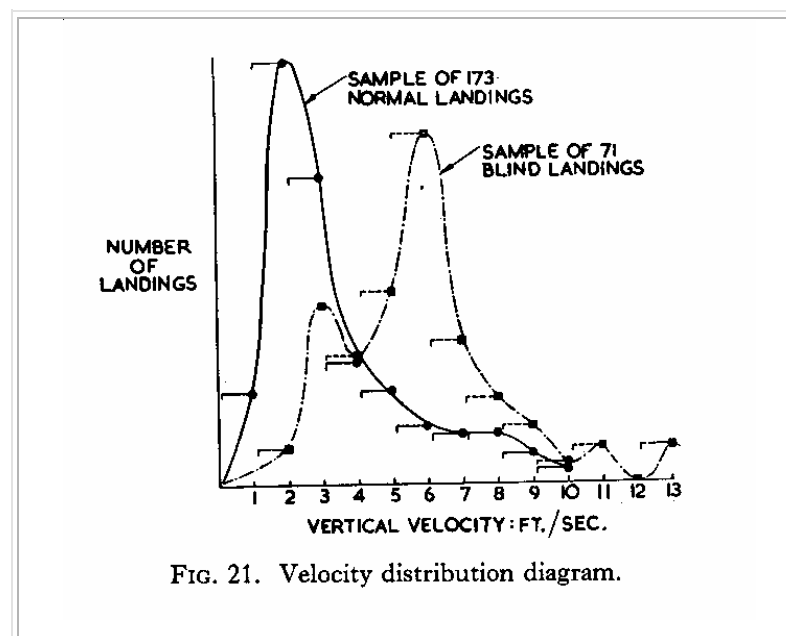
Pitching. En el caso del aterrizaje en el tren principal anteriormente descrito se asumió que las cargas de contacto con el suelo están alineadas con el centro de gravedad del avión. En la realidad, esta situación raramente se presenta, y algo de pitching ocurre. En un tren de aterrizaje tipo triciclo el efecto pitching en práctica no reduce considerablemente las cargas en el tren principal como para ser tenida en cuenta. Sin embargo, el efecto en la rueda de nariz si es crítico.

VELOCIDAD VERTICAL ESPECIFICADA.

La velocidad vertical v que es usada para determinar la energía cinética que el tren de aterrizaje debe absorber, es especificada por varios cuerpos oficiales, así como el Ministry of Supply, y el Air Registration Board.

La experiencia ha sido utilizada para determinar valores arbitrarios de la velocidad vertical, resultando en valores de 2 a 3 ft/seg para un buen aterrizaje, comparado con 12 a 14 ft/seg para un mal aterrizaje. Los valores de velocidad conseguidos con un aterrizaje bajo condiciones adversas deben ser el referente a utilizar para diseñar un buen tren de aterrizaje.

Figura 52. Distribución de velocidad vertical de aterrizajes bajo diferentes condiciones



Fuente: CONWAY, H. G. Landing gear design. Chapman and Hall, London. 1988.

La figura 52 de McBreaty revela un estudio realizado a un gran número de aterrizajes (día y noche) y muestra la típica distribución de velocidad para aterrizajes en pistas.

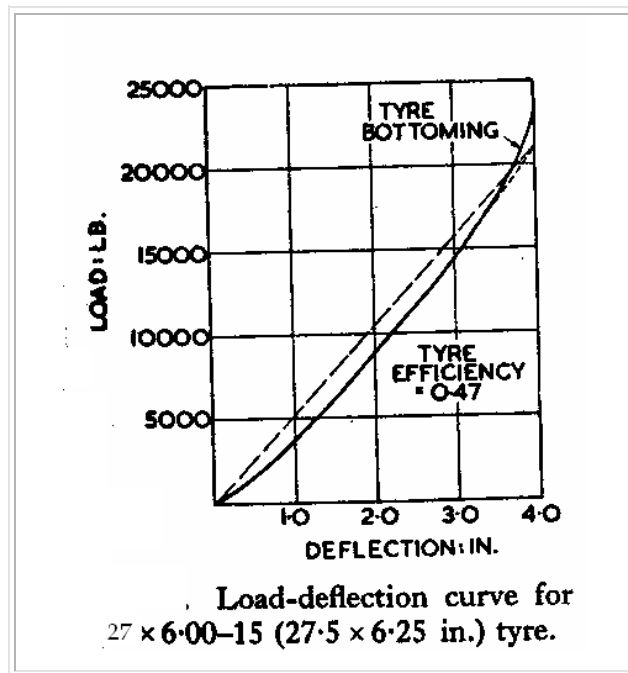
Una aproximación estadística al problema es considerable. Si la velocidad media de aterrizaje es por decir 3 ft/seg, la probabilidad de que se produzca un aterrizaje a una velocidad mayor a la especificada anteriormente no debería exceder uno en 10.000 aterrizajes.

En practica también se acostumbra hacer la correspondencia entre la velocidad especifica de aterrizaje y la velocidad de pérdida (aproximadamente 1.2 x velocidad de pérdida).

ENERGÍA DE ABSORCIÓN DE LA LLANTA.

Como fue mencionado, las ruedas tienen una eficiencia de almacenamiento de energía que un resorte de acero. Una típica curva de fuerza-deflexión es mostrada en la figura 53. Esta fue obtenida de una prueba estática de carga, aunque hay evidencia que bajo condiciones de impacto dinámico algo de energía adicional es absorbida.

Figura 53. Curva de deflexión bajo carga de una rueda.



Fuente: CONWAY, H. G. Landing gear design. Chapman and Hall, London. 1988.

En ausencia de una curva como la mostrada arriba, una eficiencia de 0.47 puede ser utilizada.

Anexo B: CARACTERÍSTICAS DEL ULTRALIVIANO.

Figura 54. Ultraliviano a rediseñar.



Fuente: Autor

- Marca: Cosmos
- Modelo: Bison
- Configuración: 2 Plazas Tandem
- Peso vacío: 290 lb.
- Peso total: 860 lb.
- Área de las alas: 16.2 m²
- Motor Standard: 503 Rotax
- Potencia del motor: 46 Hp @ 6250 RPM.
- Velocidad crucero: 43 MPH.
- Rata de ascenso con peso total: 800 pies/min
- Distancia de descolaje: 200 pies
- Distancia de aterrizaje: 200 pies

Anexo C: PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Acero 1070:

Como acero para resortes sirve para fabricar este tipo de piezas con excelente calidad y con especialidad aquellas de tipo helicoidal. q Como acero para herramientas para todas las piezas que requieran dureza, tenacidad y resistencia al desgaste.

Temperaturas de revenido son:

Como acero de resortes 420°C/480°C.

Como acero de herramientas 200°C/350°C

Temple de muelles y resortes.

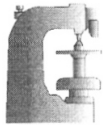

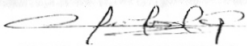
Hay que empezar por escoger una buena clase de acero para el muelle, siendo probablemente el mejor el que contenga un 0.8 por 100 de carbono. Al formar un muelle debe evitarse en lo posible el forjado y martillado, recurriendo solamente a la curvatura y presión del mismo. Es conveniente recoser el acero para evitar que se agrieten o parta al templearlo. El recosido de hace mejor que de ningún modo sin aire, colocando los muelles en una caja de chapa de hierro con tapadera, y untando bien todas las juntas con arcilla; esta caja se calienta no muy lentamente al rojo cereza en un horno con mufla, y después se deja enfriar poco a poco. Los muelles no pueden sacarse de la caja hasta que estén lo bastante fríos para que no produzcan chirrido alguno al mojarlos con agua.

Para calentar con uniformidad los muelles se emplean también con mufla,

donde se llevan al rojo cereza. Para enfriarlos se emplea un baño de aceite, sebo y petróleo. También se usa una mezcla de aceite de pescado, sebo y cera, en tal cantidad que el alambre pueda moverse en esta masa sin producir un aumento sensible en la temperatura del líquido. Una vez enfriados los muelles se sacan del baño, se secan superficialmente, y el aceite que queda adherido se quema en un horno de carbón. De este modo se puede moderar el temple según la duración de esta última operación, obteniendo la elasticidad deseada. Siendo muy importante que el muelle se caliente por igual, da excelentes resultados la aplicación de la corriente eléctrica para este objeto.

Anexo D: REPORTE DE CALIDAD DE TRATAMIENTO TÉRMICO DEL RESORTE, Y EQUIVALENCIAS ENTRE NÚMEROS DE DUREZA SUPERFICIAL Y ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.

Figura 55. Reporte de calidad del resorte.

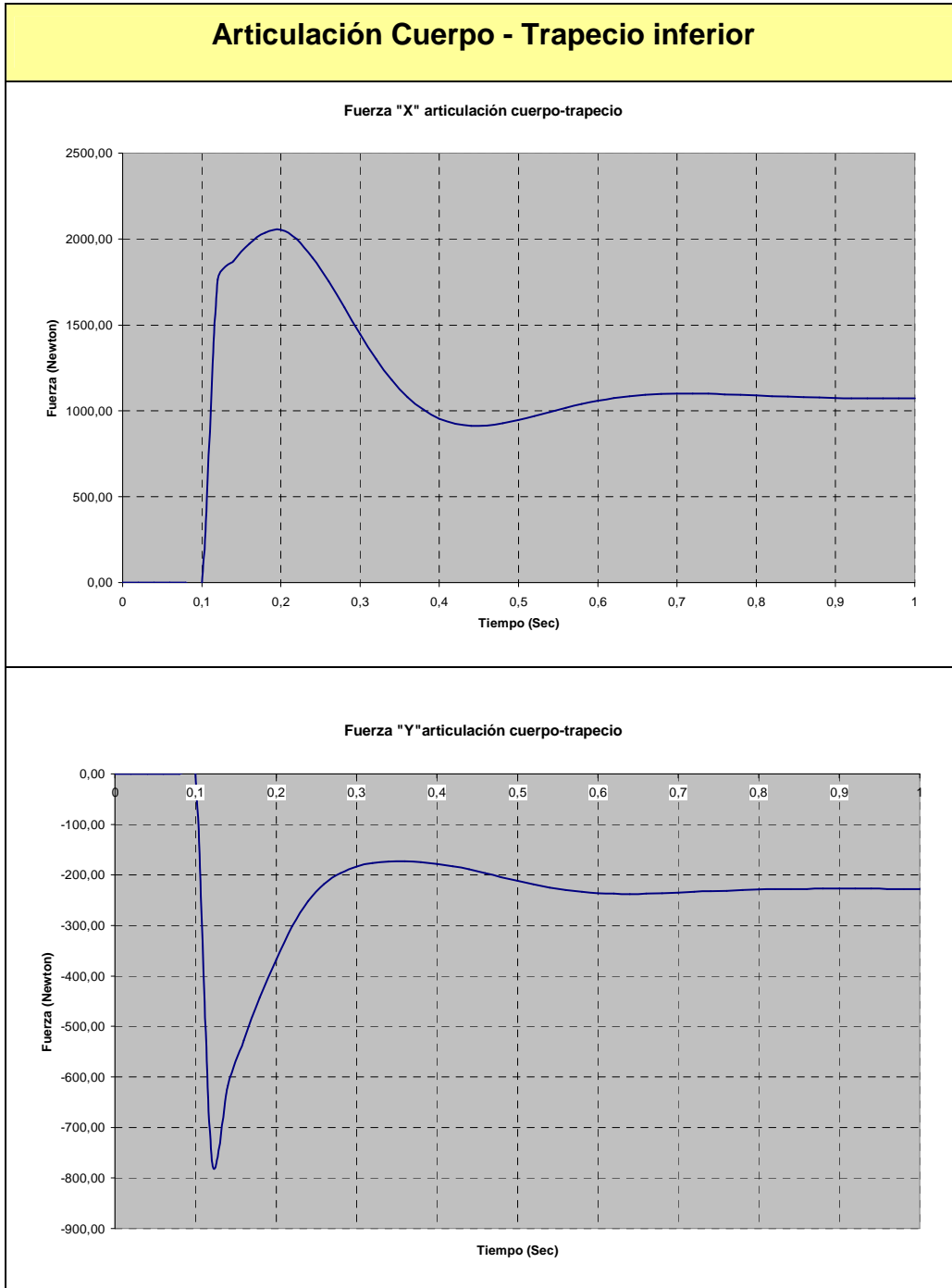
 IMATT LTDA.	REPORTE DE CALIDAD		 Certificado CO05/990 Servicios de tratamiento térmico, mecanizado industrial y laboratorio metalográfico		
	COD. FRTT-04 FECHA: 02/08/05	REV. No. 02 PAG. 1 de 1			
CLIENTE: LEONARDO PALLARES		LOTE No 16286-324 FECHA: 19-11-2008			
CANT	UNID. INSPEC	TIPO DE PIEZA	MATERIAL	TRATA. TERM. REALIZADO	DUREZA FINAL
2	2	RESORTES 56*127MM	1070	Temple+Revenido	43HRc
OBSERVACIONES:					
 FABIO A. GARZON GALVIS DIR. TRATAMIENTO TERMICO					

°Dureza Vickers HV	Dureza Brinell HB	Dureza Rockwell		Resistencia a la Tensión N/mm ² .
		HRB	HRC	
180	171	87,1		575
185	176			595
190	181	89,5		610
195	185			625
200	190	91,5		640
205	195	92,5		660
210	199	93,5		675

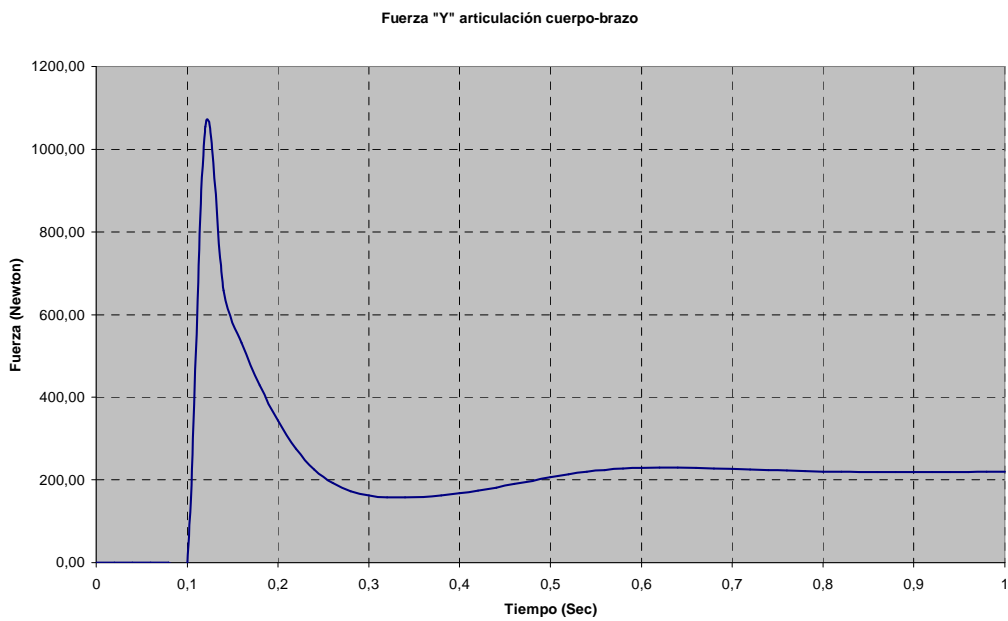
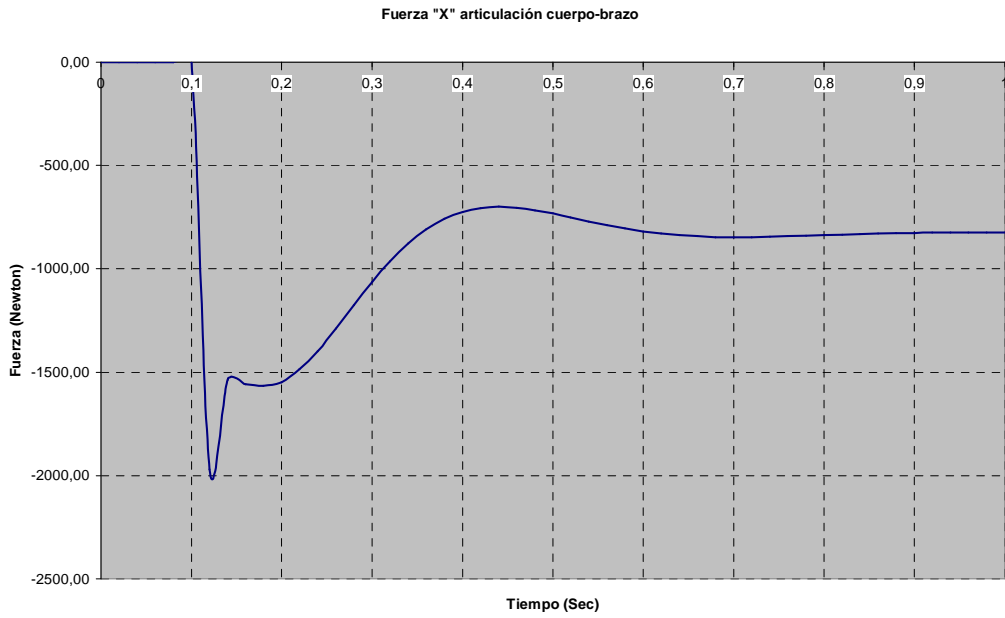
215	204	94		690
220	209	95		705
225	214	96		720
230	219	96,7		740
235	223			755
240	228	98,1	20,3	770
245	233		21,3	785
250	238	99,5	22,2	800
255	242		23,1	820
260	247		24	835
265	252		24,8	850
270	257		25,6	865
275	261		26,4	880
280	266		27,1	900
285	271		27,8	915
290	276		28,5	930
295	280		29,2	950
300	285		29,8	965
310	295		31	995
320	304		32,2	1030
330	314		33,3	1060
340	323		34,4	1095
350	333		35,5	1125
360	342		36,6	1155
370	352		37,7	1190
380	361		38,8	1220
390	371		39,8	1255
400	380		40,8	1290
410	390		41,8	1320
420	399		42,7	1350
430	409		43,6	1385

Fuente: <http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/materiales/materials6-2.html>

**Anexo E: HISTORIAL DE FUERZAS Y MOMENTOS EN
ARTICULACIONES Y CONTACTOS ENTRE ELEMENTOS-
SIMULACIÓN EN COSMOSMOTION DE CAÍDA LIBRE DEL TREN
PRINCIPAL.**

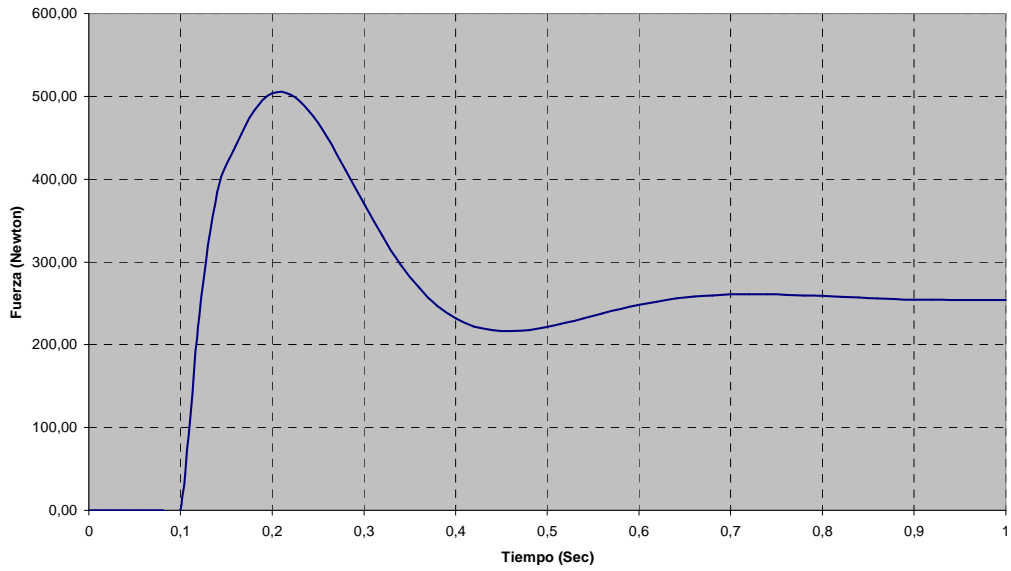


Articulación Cuerpo - Brazo superior

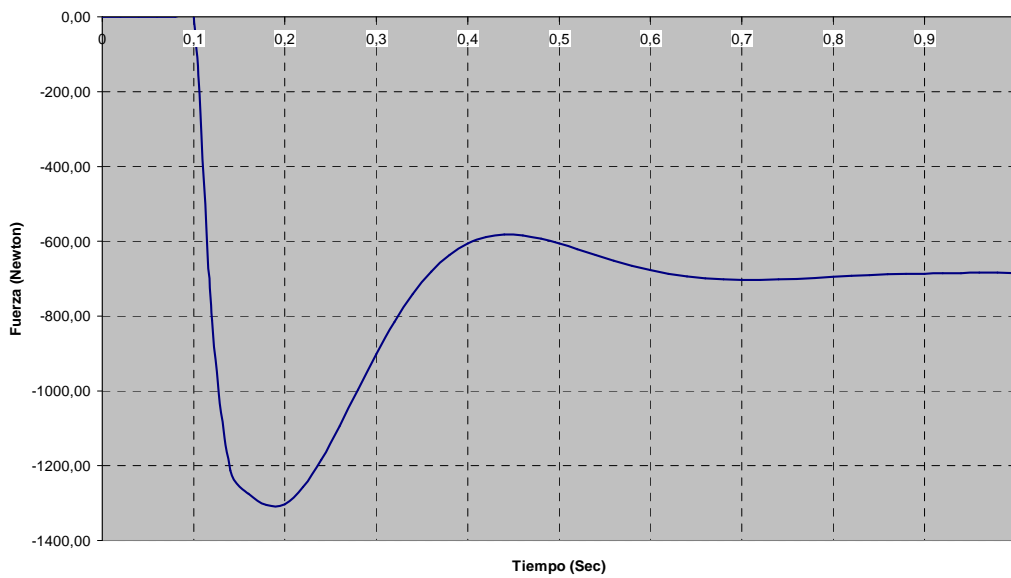


Articulación Cuerpo - Amortiguador

Fuerza "X" articulación cuerpo-amortiguador

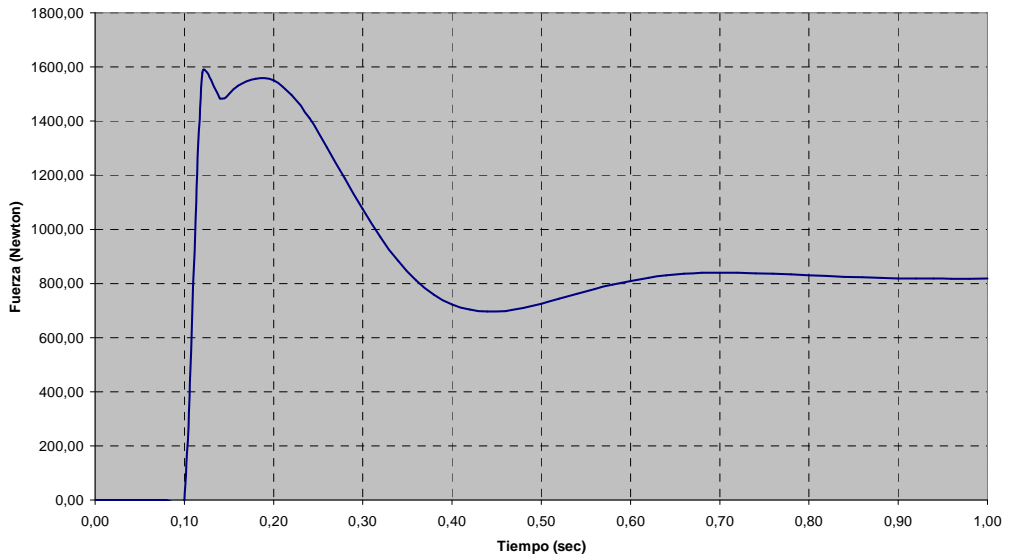


Fuerza "Y" articulación cuerpo-amortiguador

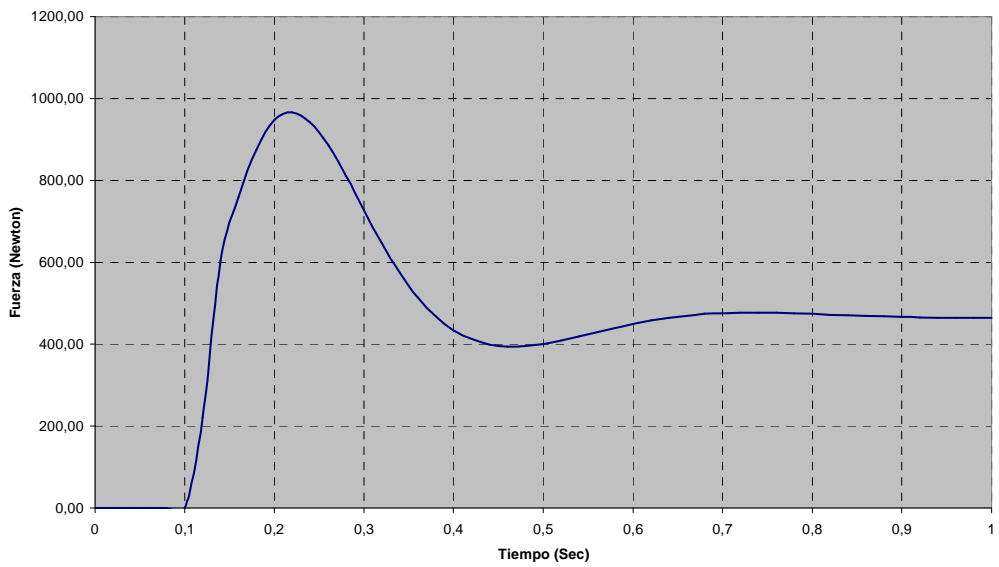


Articulación Manivela - Trapecio inferior

Fuerza "X" articulación manivela-trapecio

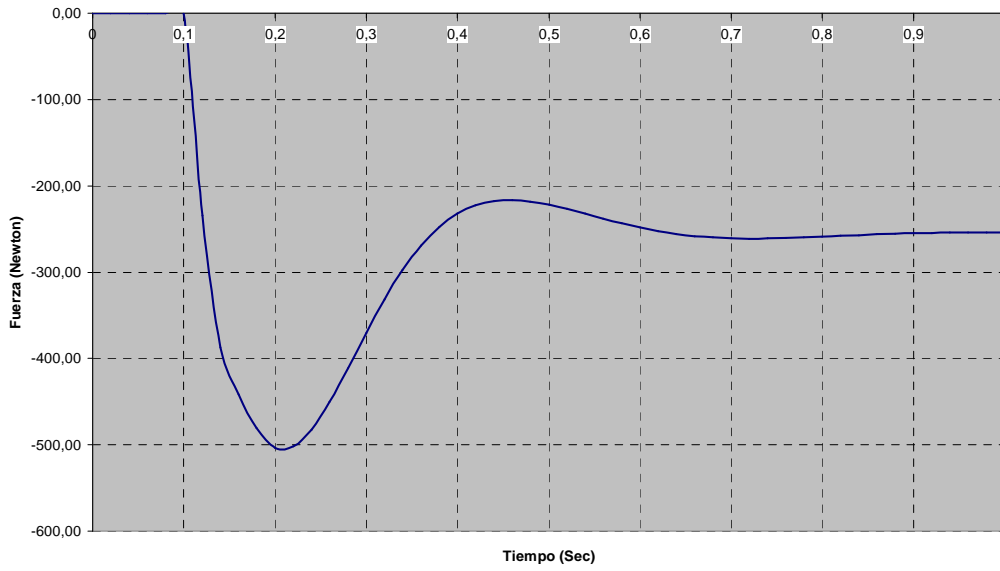


Fuerza "Y" articulación manivela-trapecio

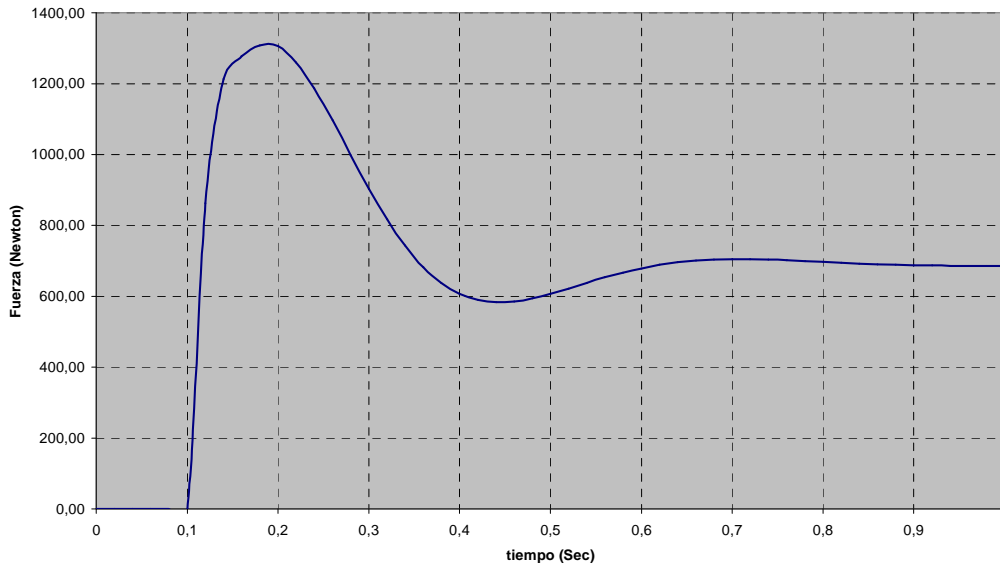


Articulación Amortiguador - Trapecio inferior

Fuerza "X" articulación amortiguador-trapecio

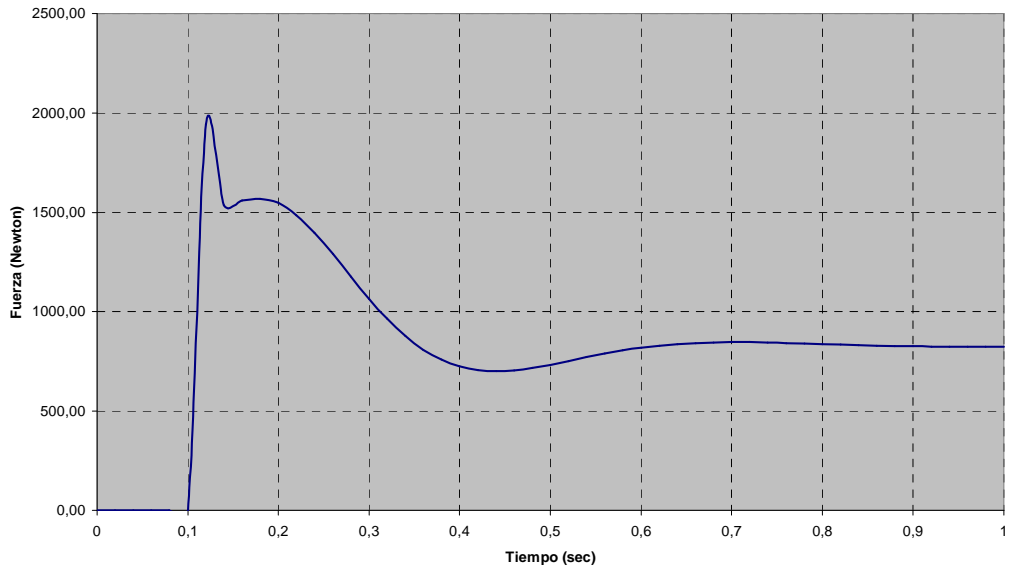


Fuerza "Y" articulación amortiguador-trapecio

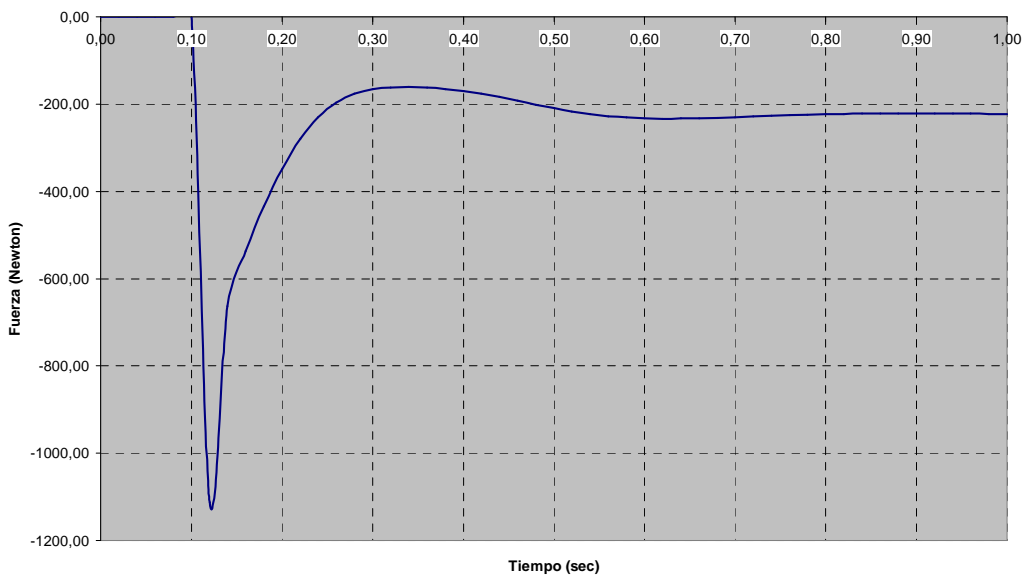


Articulación Manivela - Brazo superior

Fuerza "X" articulación brazo-manivela

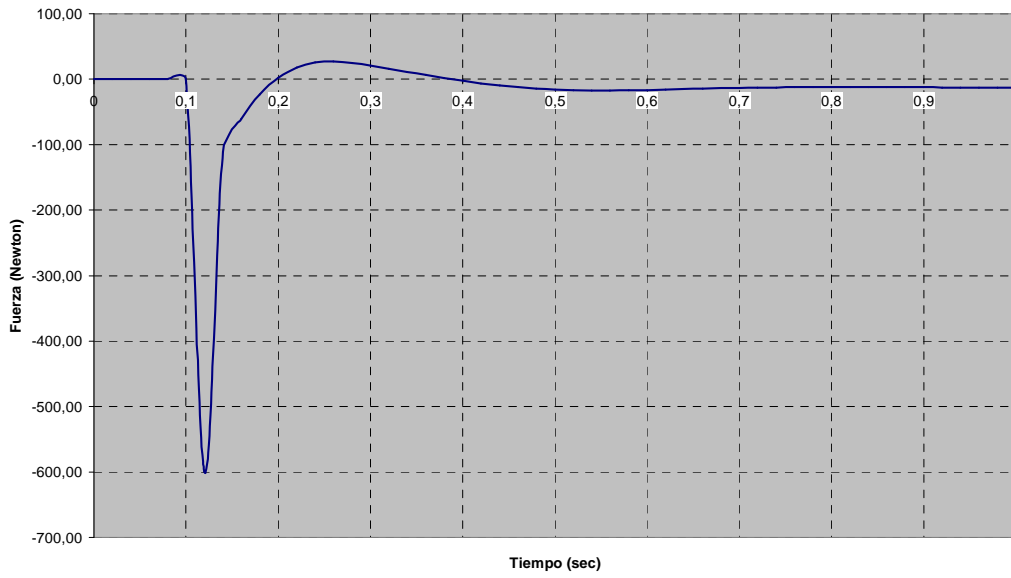


Fuerza "Y" articulación brazo-manivela

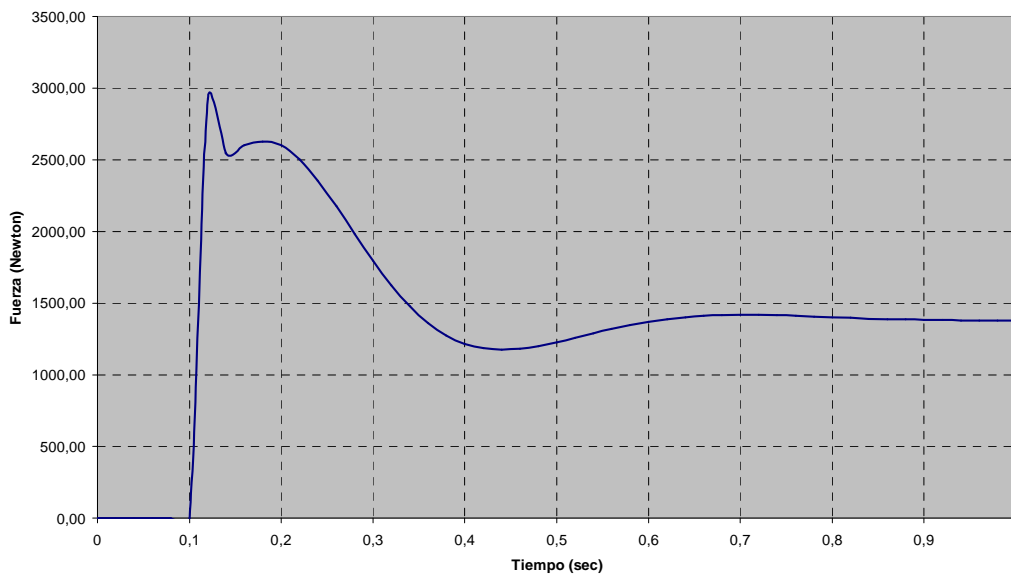


Articulación Rueda – Eje.

Fuerza "X" articulación eje-rueda

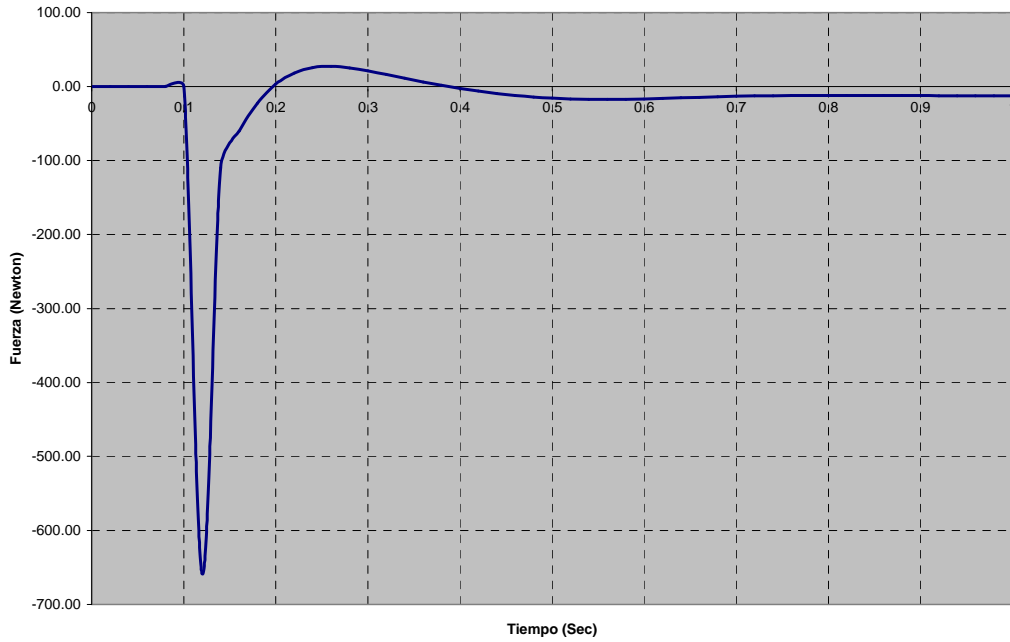


Fuerza "Y" articulación eje-rueda

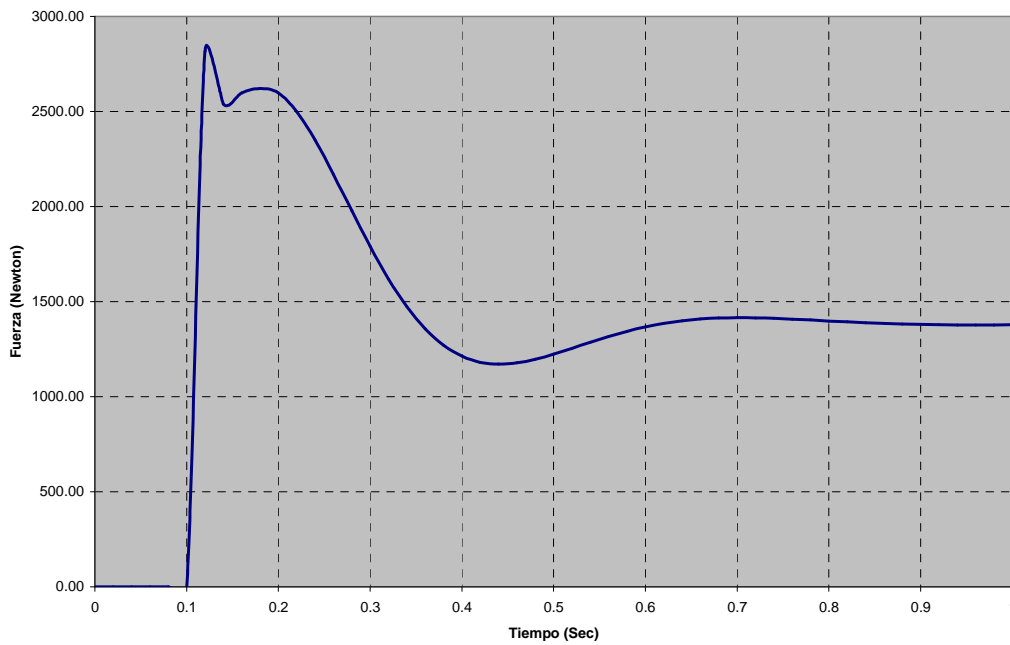


Conexión Manivela – Eje.

Fuerza "X" contacto eje-manivela

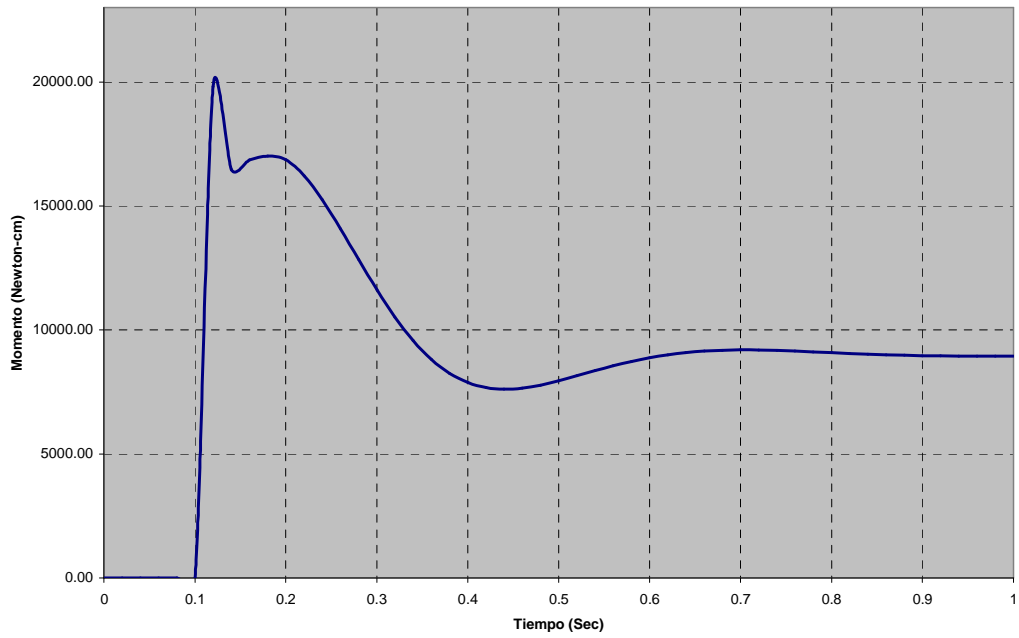


Fuerza "Y" contacto eje-manivela



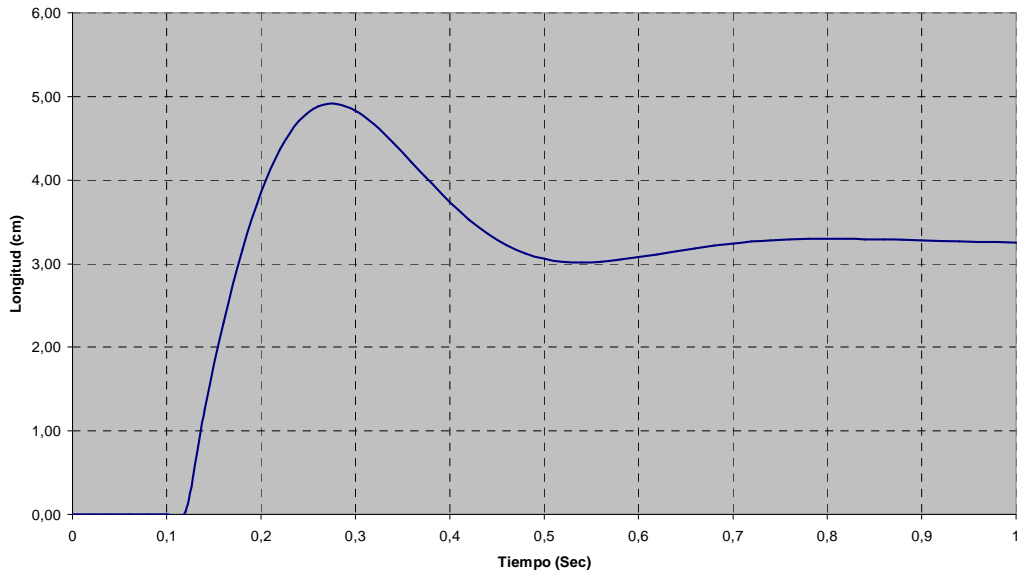
Conexión Manivela – Eje.

Momento "Z" contacto eje-manivela

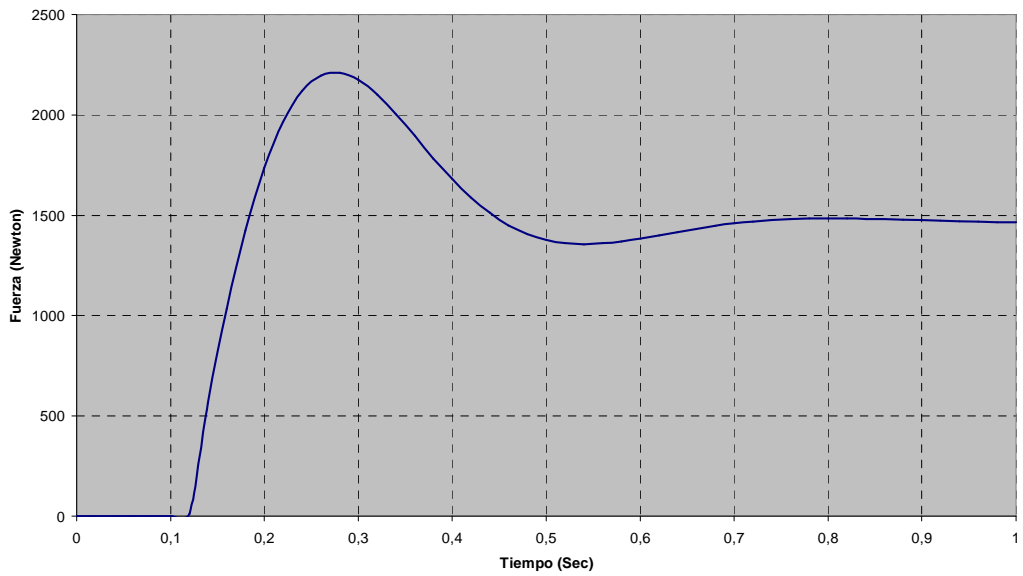


Fuerza resorte

Longitud de compresión resorte

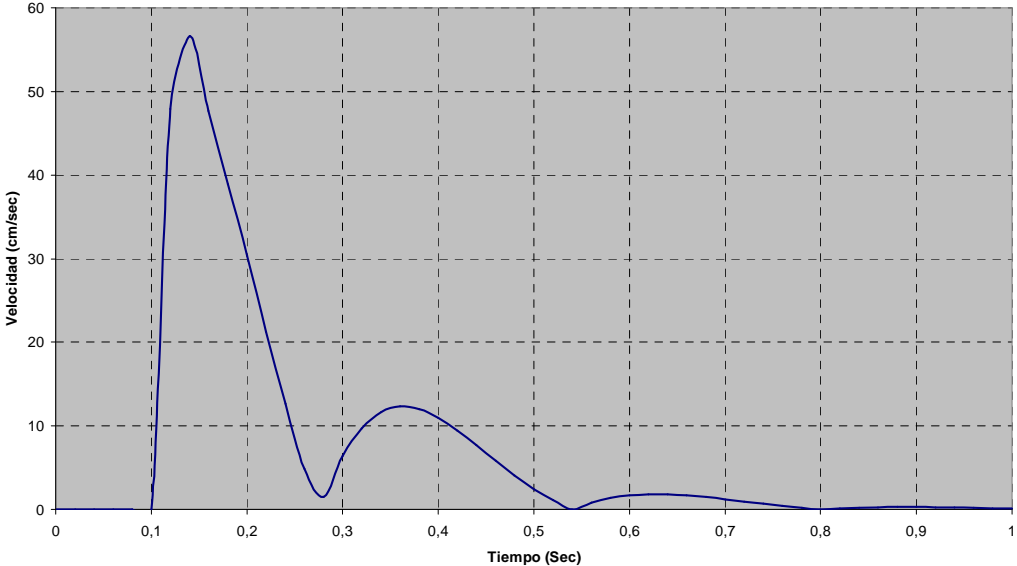


Fuerza de compresión resorte

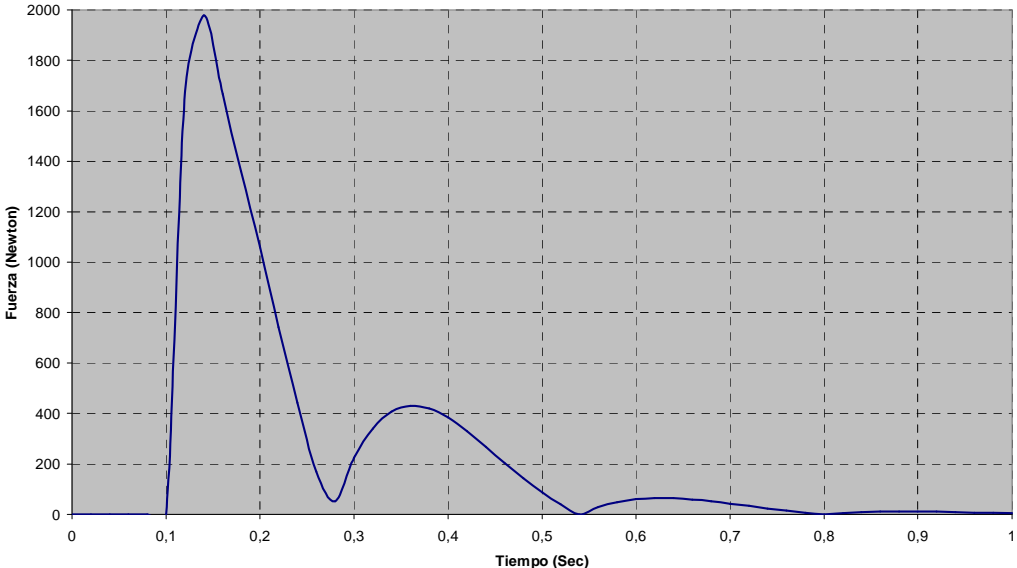


Fuerza amortiguador hidráulico

Velocidad piston amortiguador

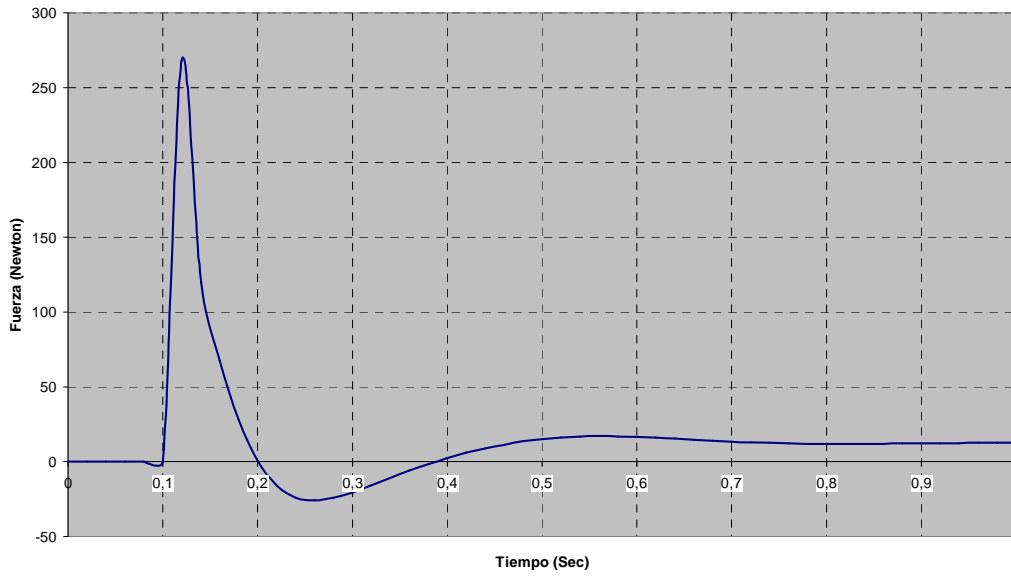


Fuerza amortiguador

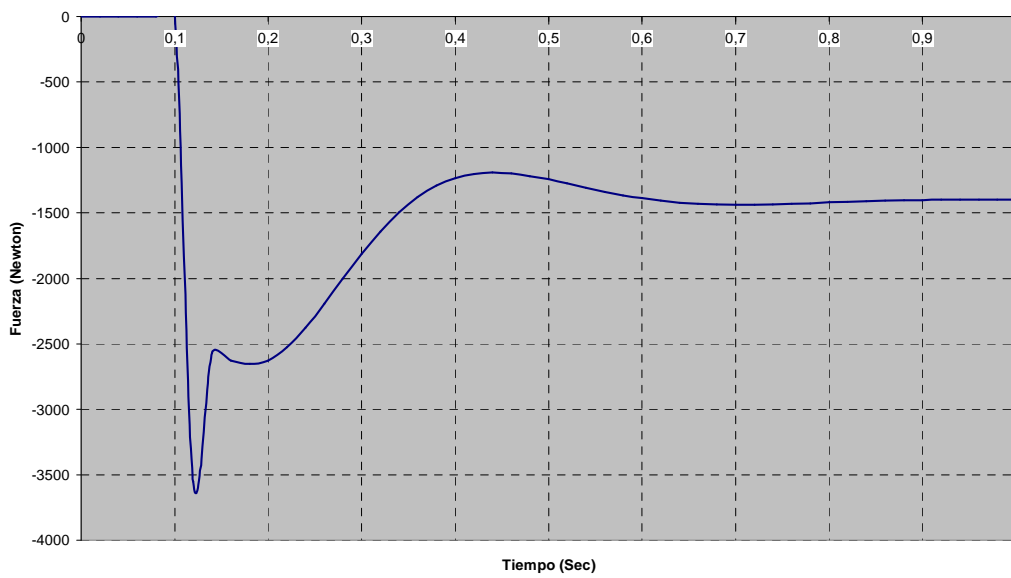


Impacto Rueda - Pista

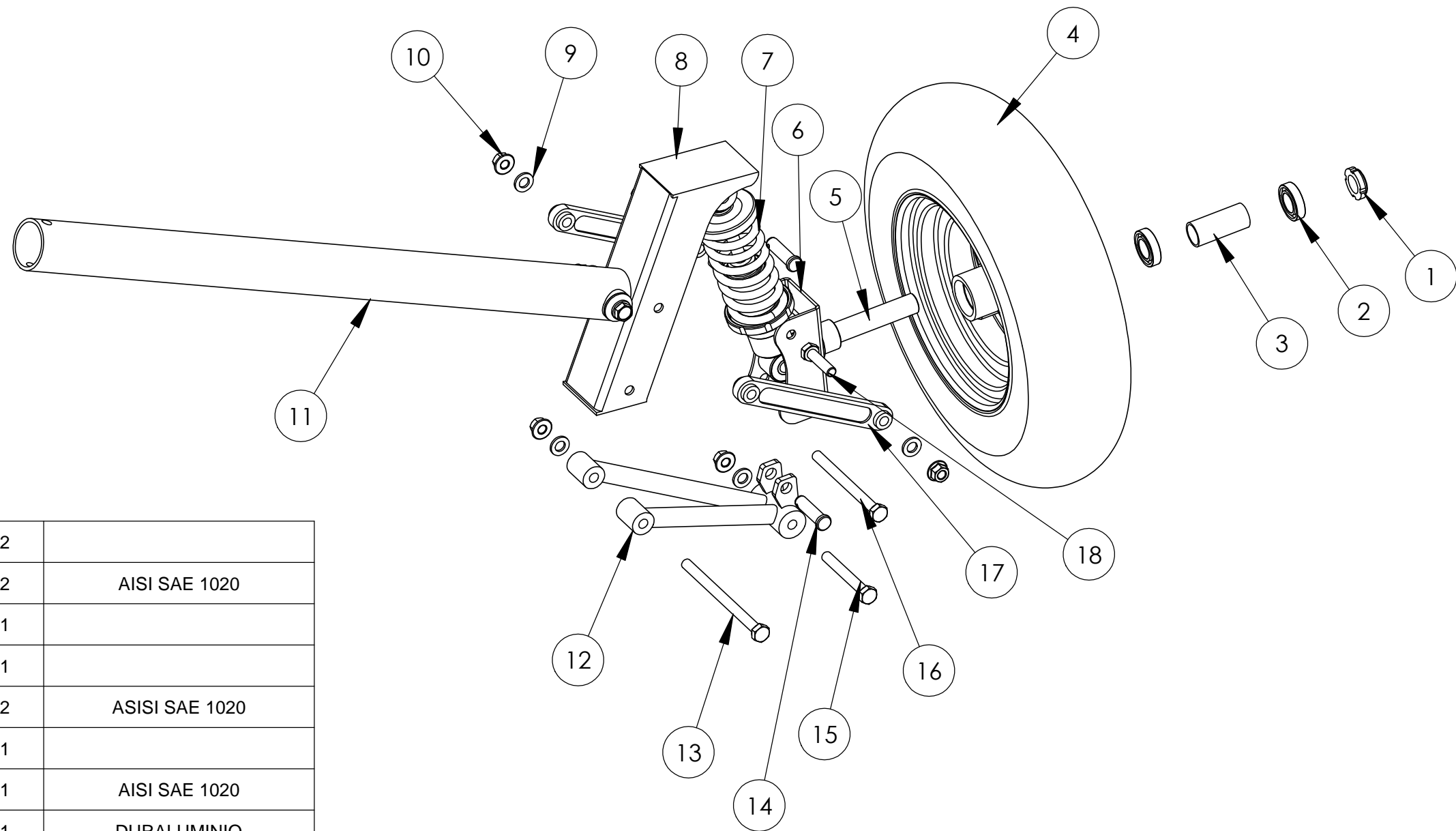
Fuerza de impacto "X" rueda-pista



Fuerza impacto "Y" rueda-pista

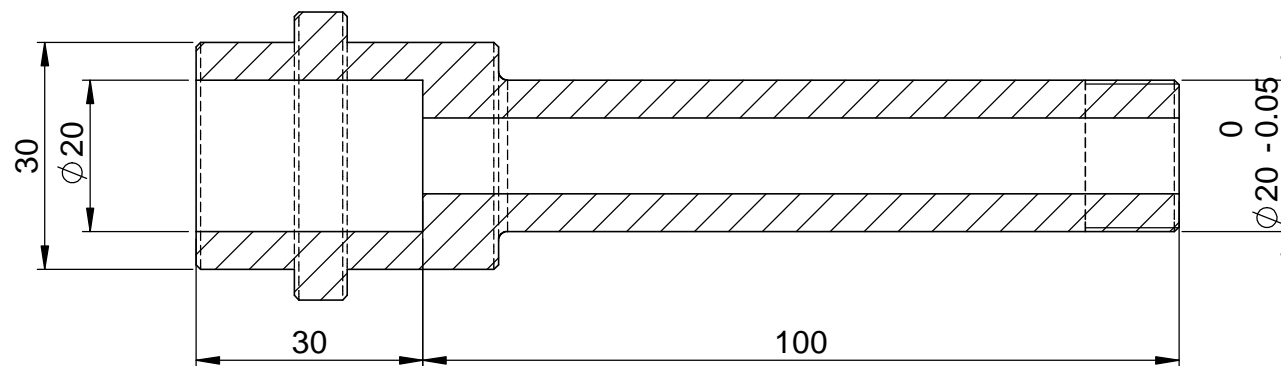
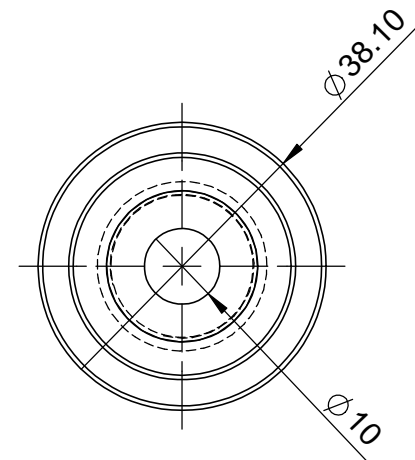
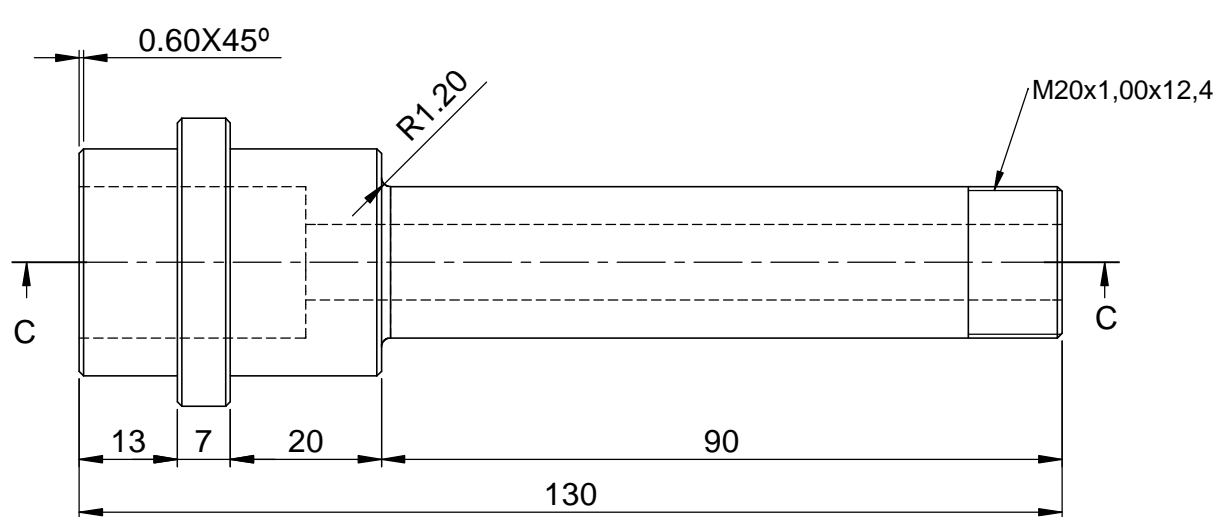


Anexo F: PLANOS



18	TORNILLO 10X1.5X38	2	
17	BRAZO LATERAL	2	AISI SAE 1020
16	TORNILLO M10X1.5X130	1	
15	TORNILLO M10X1.5X80	1	
14	PASADORAMORTIGUADOR	2	ASISI SAE 1020
13	TORNILLO M10X1.5.150	1	
12	TRAPECIO INFERIOR	1	AISI SAE 1020
11	PATA TREN PRINCIPAL	1	DURALUMINIO
10	TUERCA M10X1.5	5	
9	ARANDELA PLANA M10	5	
8	CUERPO	1	ASTM A 36
7	SUBCONJUNTO RESORTE - AMORTIGUADOR	1	
6	MANIVELA	1	ASTM A 36
5	EJE RUEDA	1	AISI SAE 4140
4	RUEDA TREN PRINCIPAL	1	
3	BUJE RUEDA	1	ALUMINIO
2	RODAMIENTO DE BOLAS 6904	2	
1	TUERCA DE AJUSTE RUEDA	1	
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	OBSERVACIONES

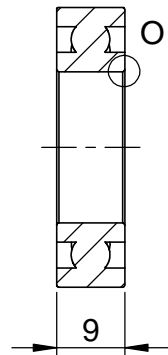
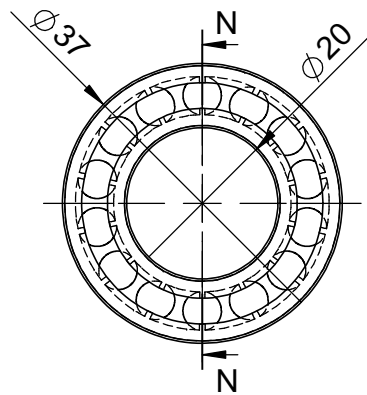
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: EXPLOSIÓN TREN PRINCIPAL
ESCALA: 1:5	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL:
			PLANO: 0-00-00-00



SECCION C-C
ESC 1 : 1

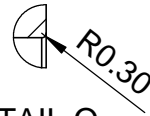
EJE DE LA RUEDA
ESC 1:1

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: EJE DE LA RUEDA
ESCALA: 1:1	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: AISI SAE 4140
			PLANO: 0-00-01-00

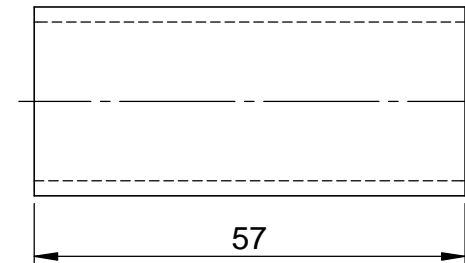
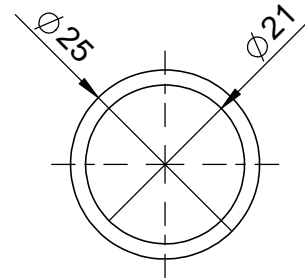


SECTION N-N
SCALE 1 : 1

RODAMIENTO RADIAL 6904
ESC 1:1

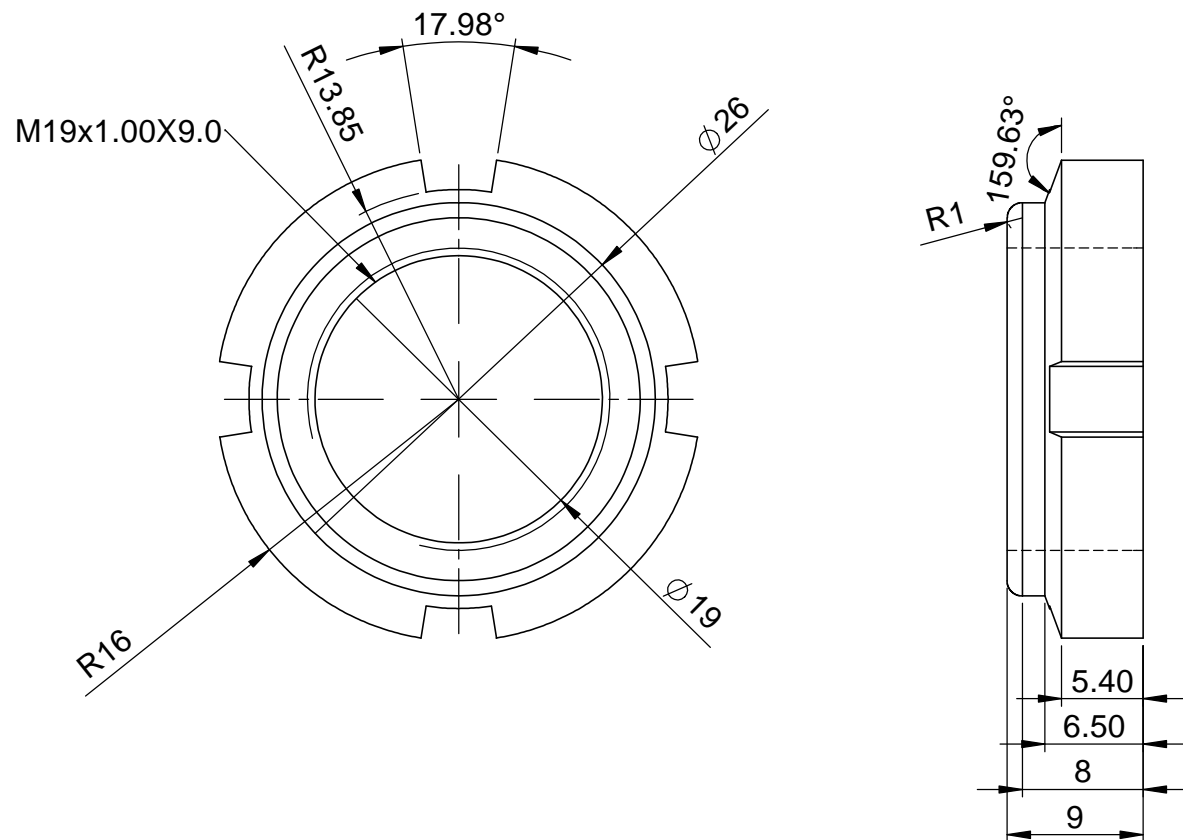


DETAIL O
SCALE 2 : 1



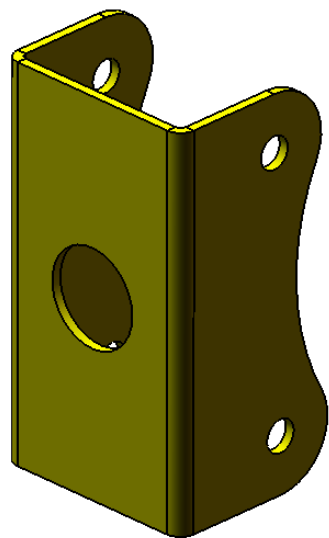
SEPARADOR DE RODAMIENTOS
ESC 1:1
MATERIAL: AISI SAE 1020

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: 1:1	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: INDICADO
			PLANO: 0-00-02-00

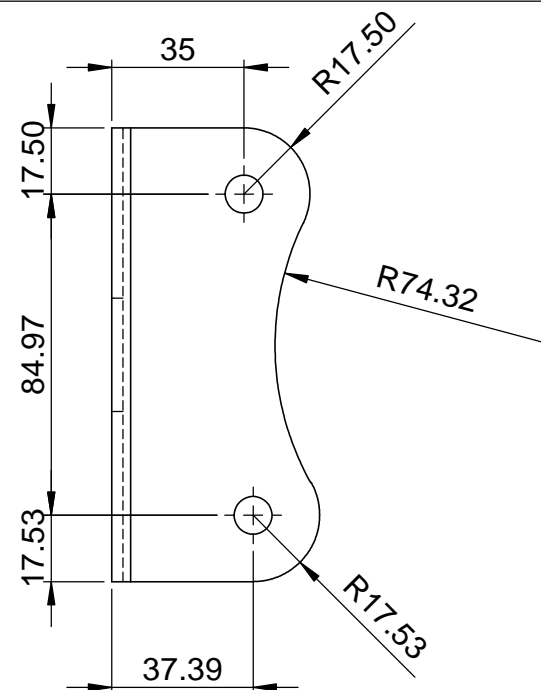
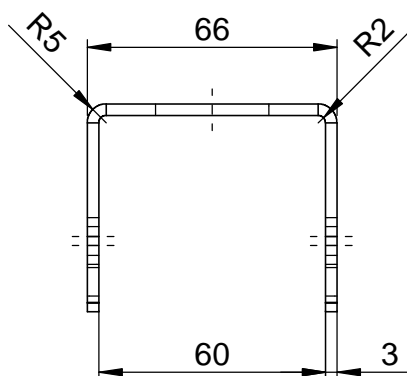
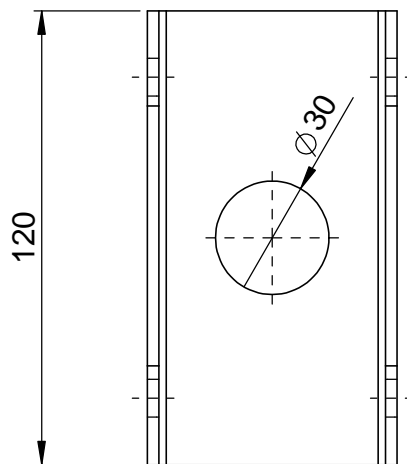


TUERCA DE AJUSTE
ESC 2:1

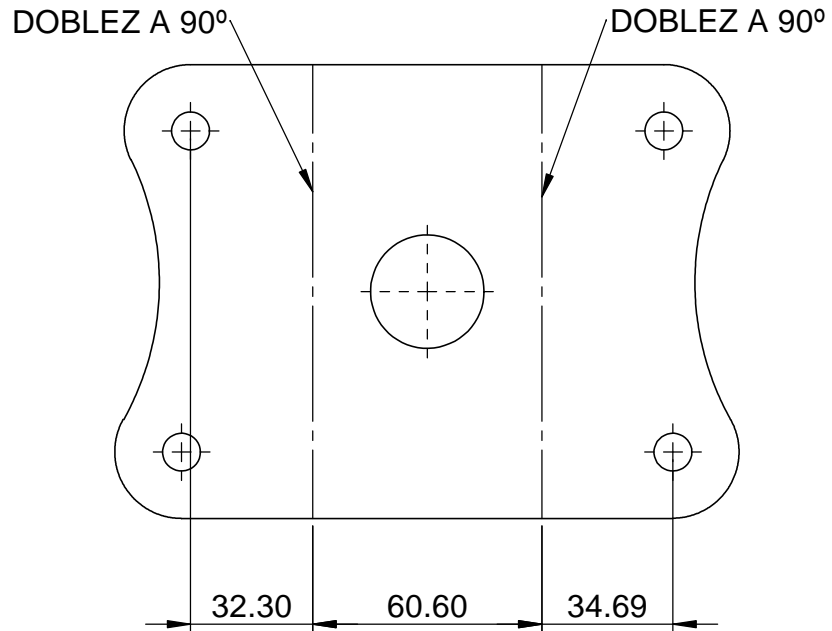
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: TUERCA DE AJUSTE
ESCALA: INDICADA	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL:
			PLANO: 0-00-03-00



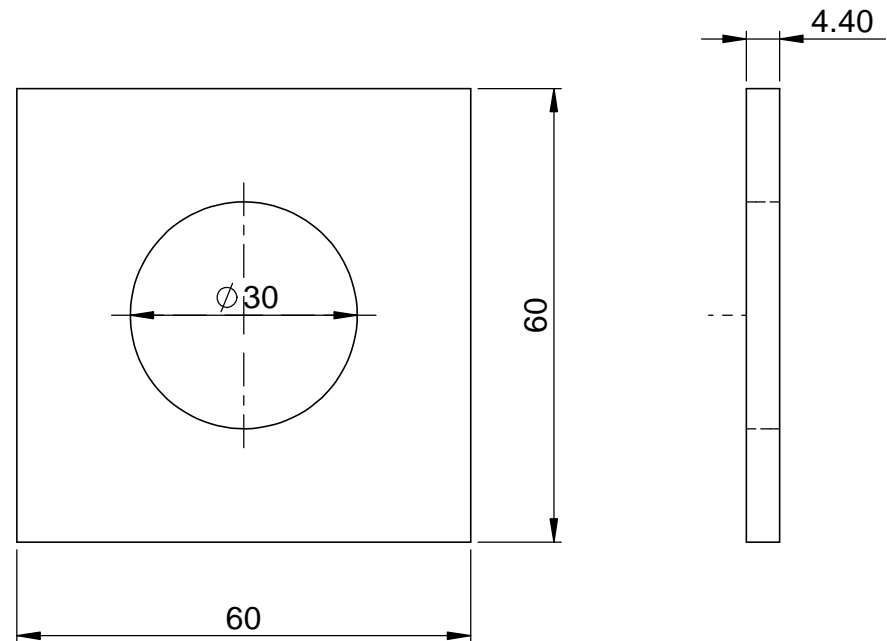
MANIVELA
ESC 1:2



FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: MANIVELA
ESCALA: 1:2	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: ASTM A-36 HR PLANO: 0-00-04-00

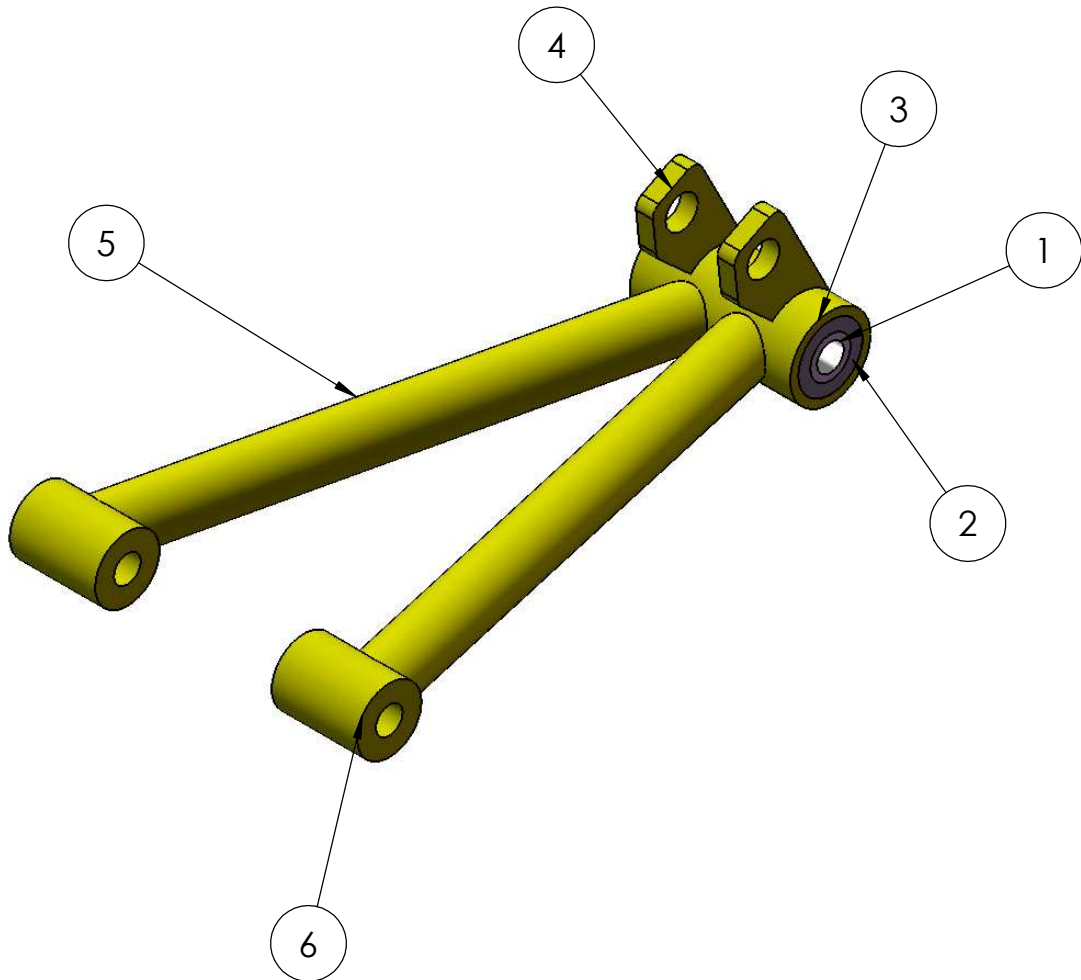


DESARROLLO MANIVELA
ESC 1:2



REFUERZO MANIVELA
ESC 1:2

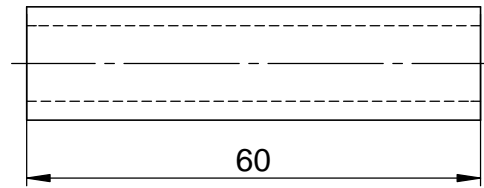
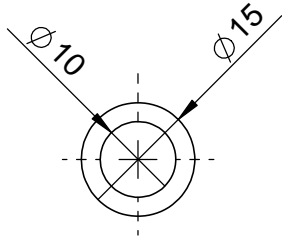
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: 1:2	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: ASTM A-36 HR PLANO: 0-00-04-01



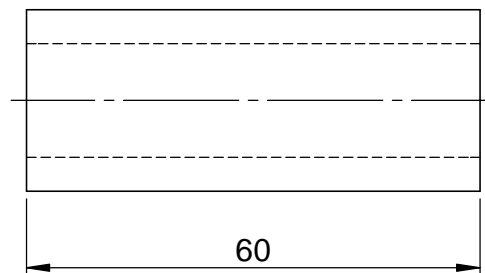
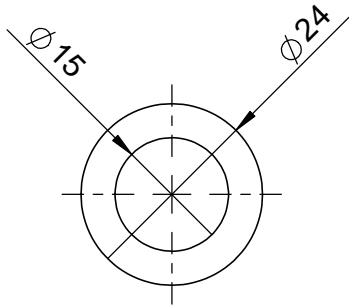
6	BUJE CONEX CUERPO	2	AISI SAE 1020
5	BRAZO	2	AISI SAE 1020
4	PESTAÑA CONEX AMORTIGUADOR	2	ASTM A-36
3	BUJE EXTERIOR SILENT BLOCK	1	AISI SAE 1020
2	CAUCHO SILENT BLOCK	1	CAUCHO
1	BUJE SILENT BLOCK	1	AISI SAE 1020

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: TRAPECIO INFERIOR
ESCALA: 1:2			MATERIAL: AISI SAE 1020
			PLANO: 0-00-05-00

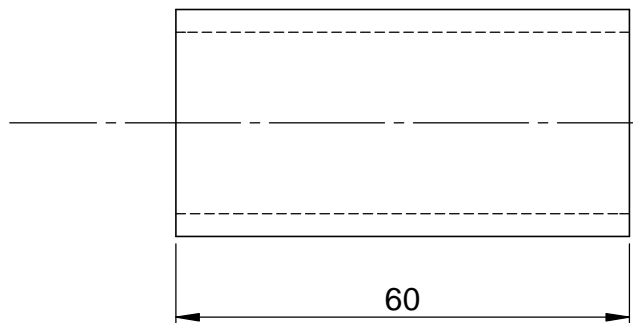
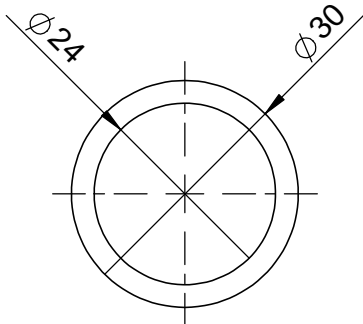
COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS



BUJE SILENT BLOCK
 ESC 1:1
 MATERIAL: AISI SAE 1020

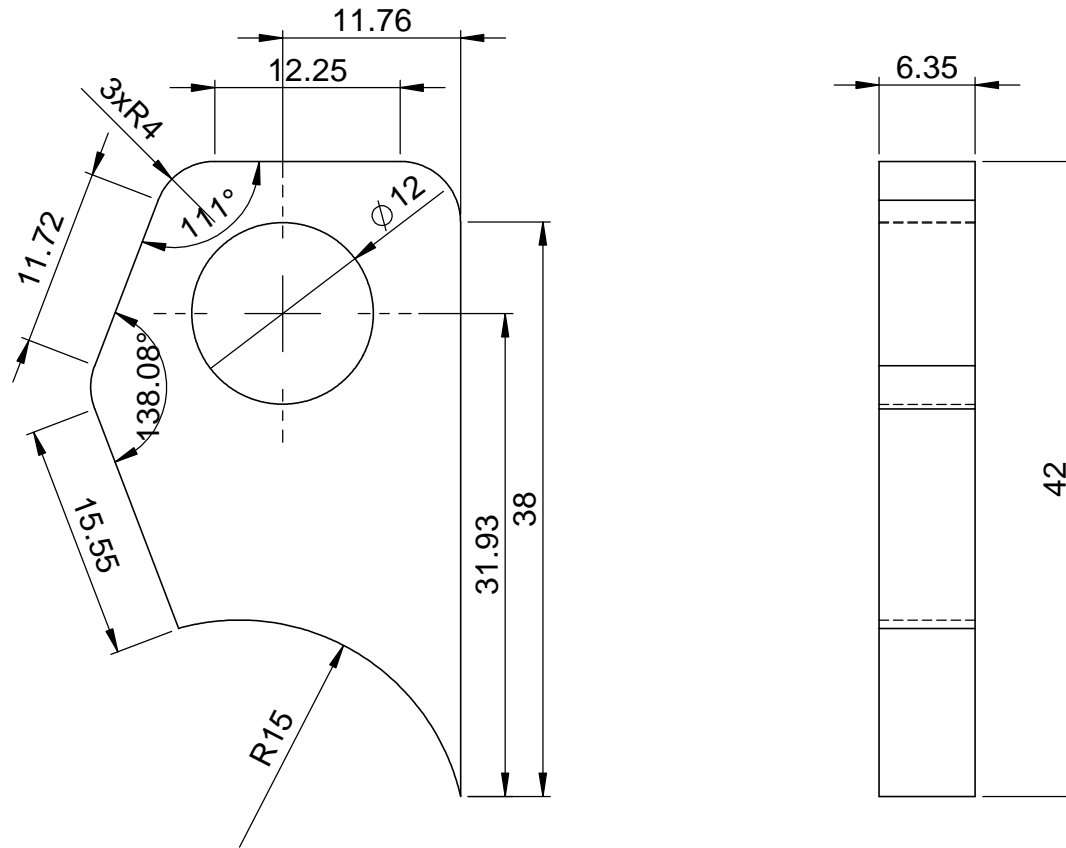


CAUCHO SILENT BLOCK
 ESC 1:1
 MATERIAL: CAUCHO VULCANIZADO



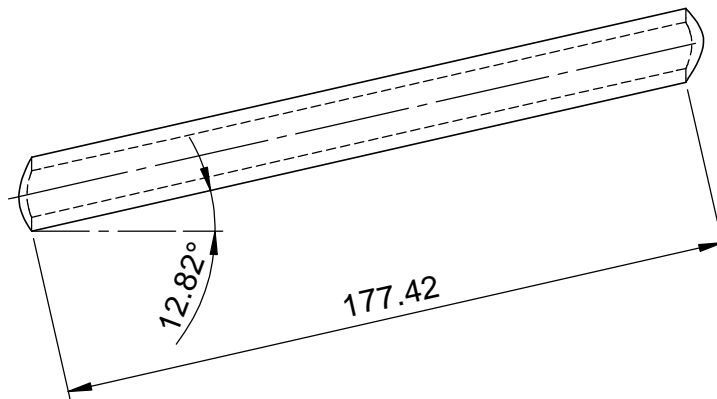
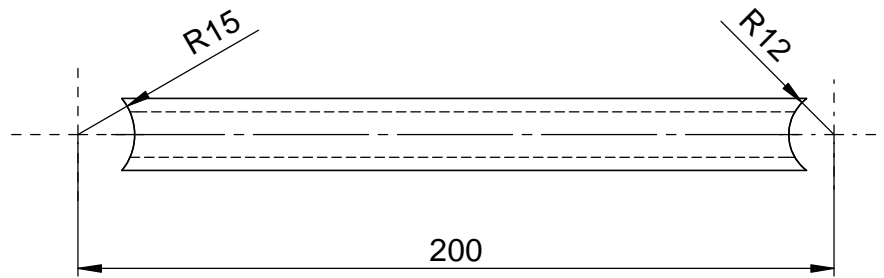
BUJE EXTERIOR SILENT BLOCK
 ESC 1:1
 MATERIAL: ASTM A 36

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: 1:1	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: INDICADO
			PLANO: 0-00-05-01

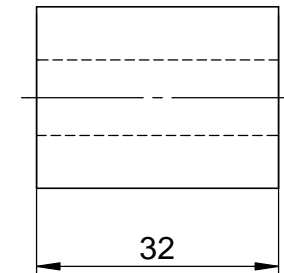
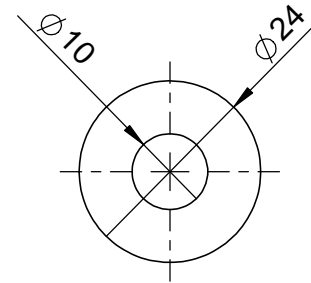


PESTAÑA DE CONEXIÓN AMORTIGUADOR
ESC 2:1

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: 2:1	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: ASTM A-36 HR PLANO: 0-00-05-02

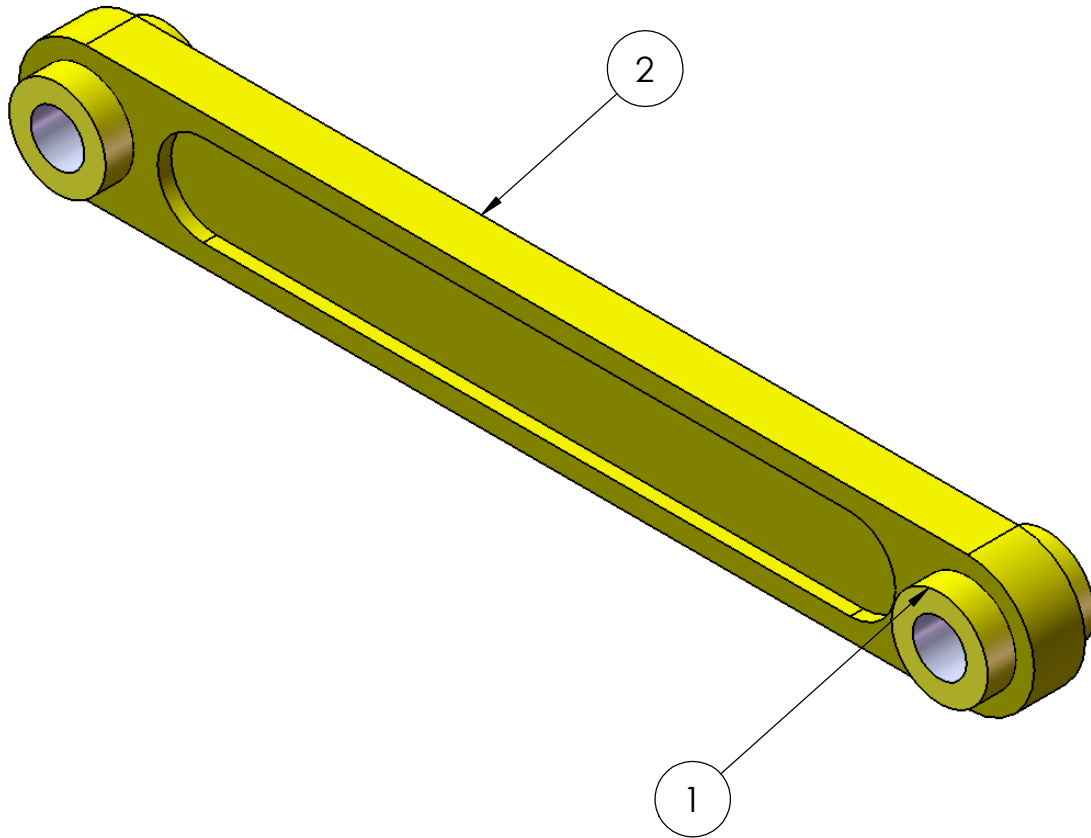


BRAZO
ESC 1:2

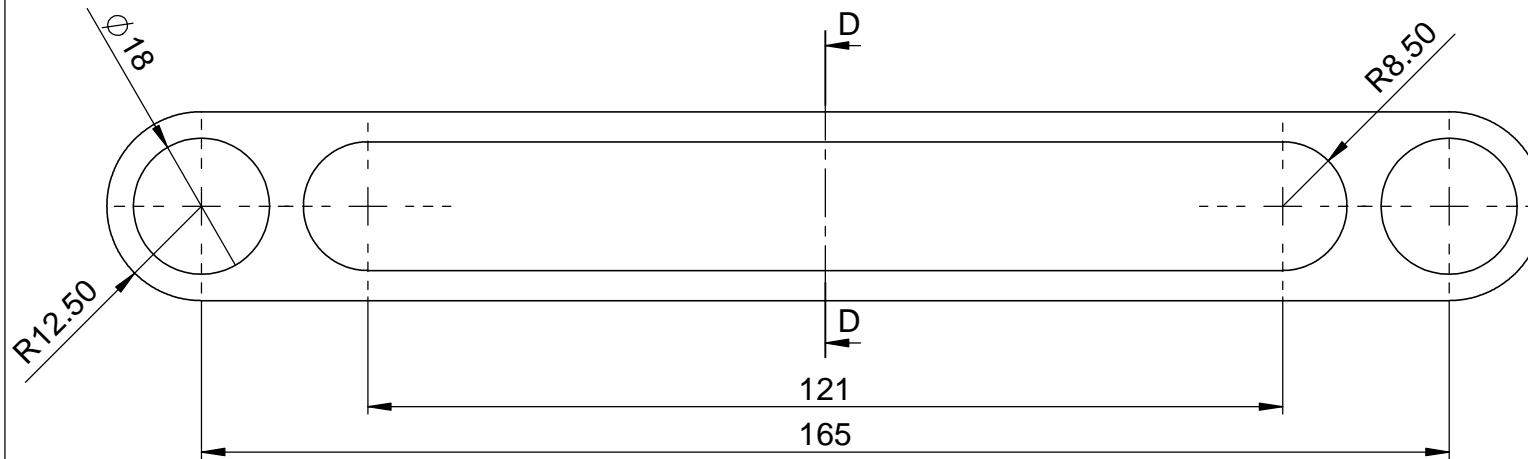


BUJE DE CONEXIÓN CUERPO
ESC 1:1

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: INDICADA	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: AISI SAE 1020
			PLANO: 0-00-05-03



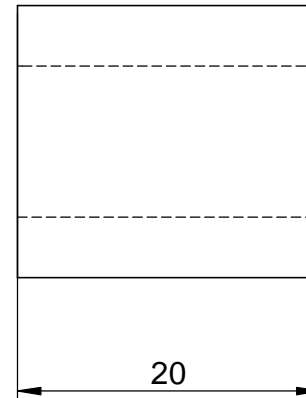
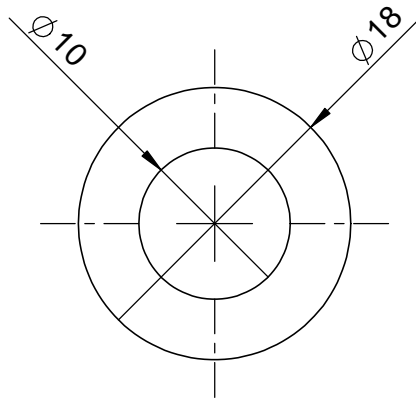
2	CUERPO BRAZO	1	ASTM A-36
1	BUJE BRAZO	2	AISI SAE 1020
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	MATERIAL
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: BRAZO LATERAL
ESCALA: 1:1	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: INDICADO
			PLANO: 0-00-06-00



SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 1

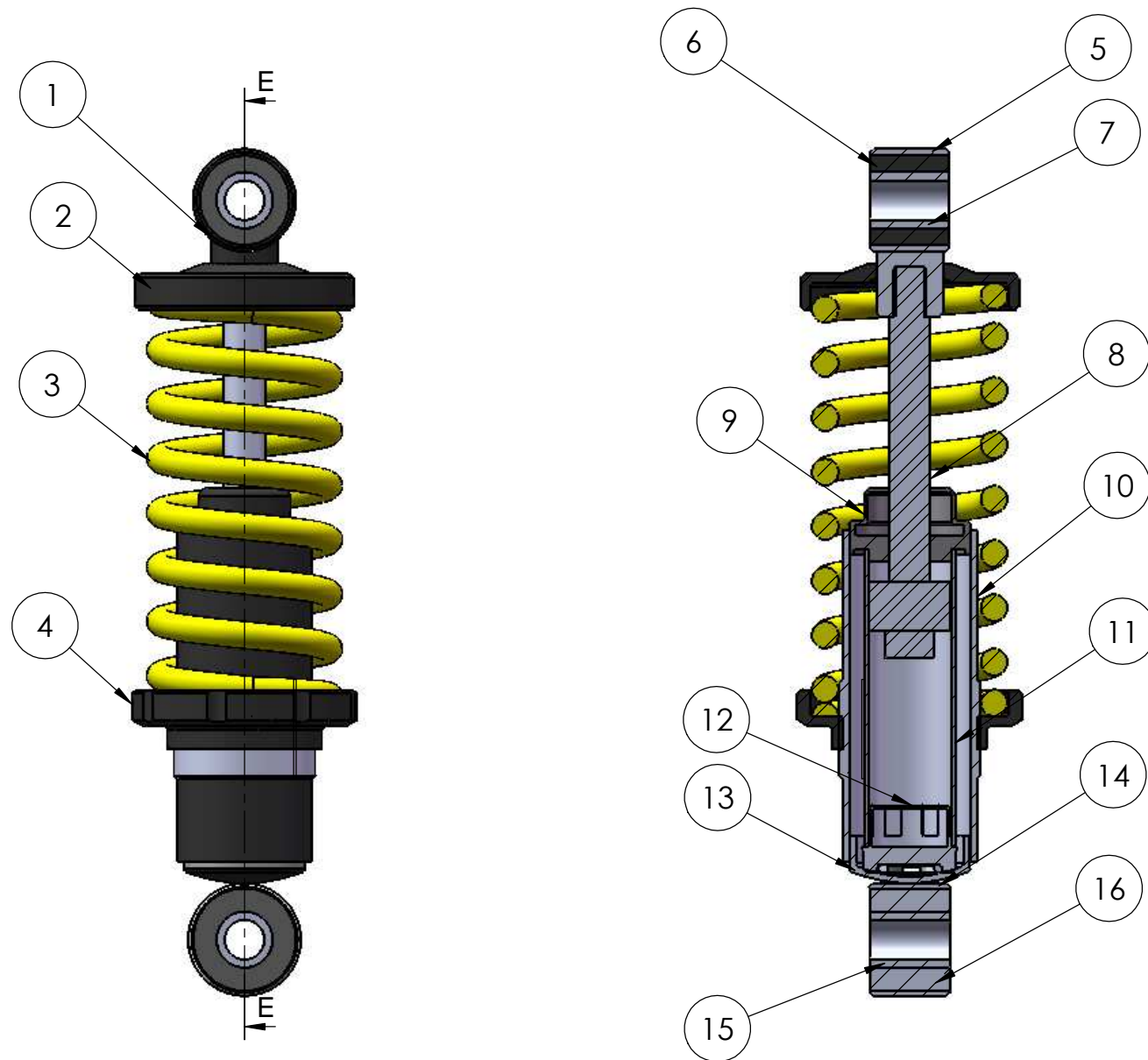
BRAZO
ESC 1:1

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: BRAZO
ESCALA: 1:1	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: ASTM A-36 HR PLANO: 0-00-06-01



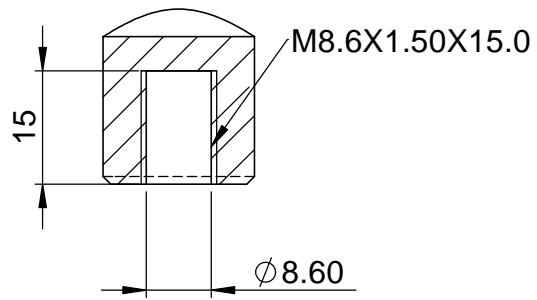
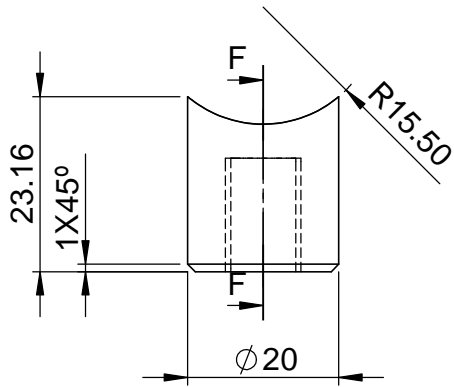
BUJE BRAZO
ESC 2:1

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: BUJE BRAZO
ESCALA: 2:1	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: AISI SAE 1020
			PLANO: 0-00-06-02



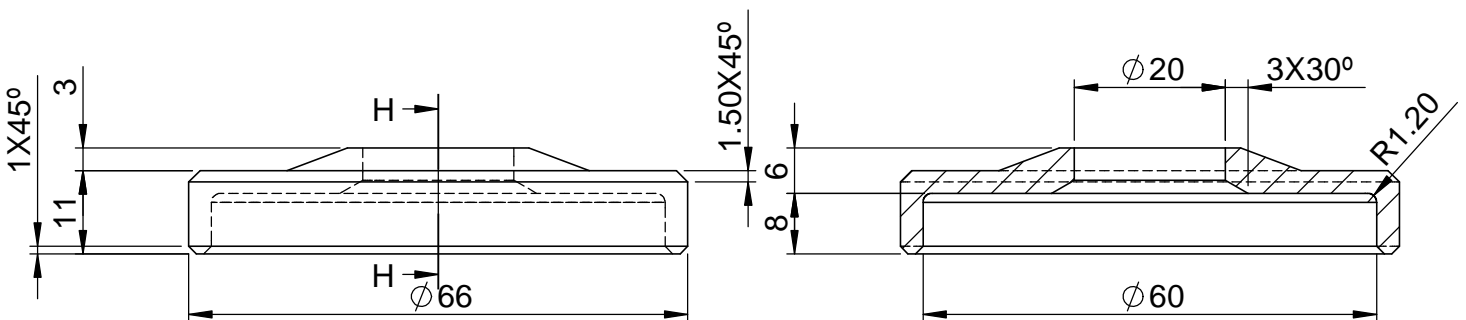
SECCIÓN E-E

16	CAUCHO OJAL INFERIOR	1	CAUCHO VULCANIZADO
15	ANILLO INF OJAL INFERIOR	1	AISI SAE 1020
14	ANILLO EXT OJAL INFERIOR	1	ASTM A 36
13	TAPÓN INF AMORT	1	AISI SAE 1020
12	VÁLVULA DE BASE O COMPRESIÓN	1	
11	TUBO DE TRABAJO AMORT	1	AISI SAE 1020
10	TUBO EXTERIOR AMORT	1	AISI SAE 1020
9	TAPÓN SUPERIOR Y SELLO AMORT	1	
8	VASTAGO Y PISTÓN AMORT	1	ACERO CORMADO
7	ANILLO INT OJAL SUP	1	AISI SAE 1020
6	CAUCHO OJAL SUP	1	CAUCHO VULCANIZADO
5	ANILLO EXT OJAL SUP	1	ASTM A 36
4	ASIENTO INFERIOR RESORTE	1	AISI SAE 1020
3	RESORTE	1	AISI SAE 1070
2	ASIENTO SUPERIOR RESORTE	1	AISI SAE 1020
1	TRONCO OJAL SUP AMORT	1	AISI SAE 1020
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	OBSERVACIONES
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO		CONTIENE:
ESCALA:	REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONJUNTO AMORTIGUADOR
1:2	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL:
			PLANO: 0-00-07-00



SECTION F-F
SCALE 1 : 1

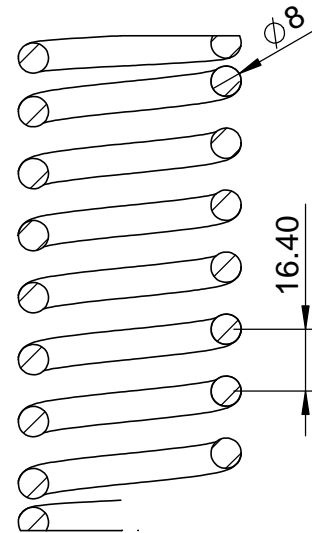
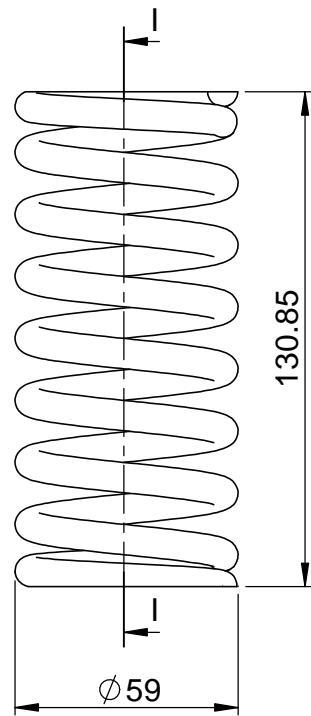
TRONCO OJAL SUP AMORTIGUADOR
ESC 1:1



SECTION H-H
SCALE 1 : 1

ASIENTO SUPERIOR DEL RESORTE
ESC 1:1

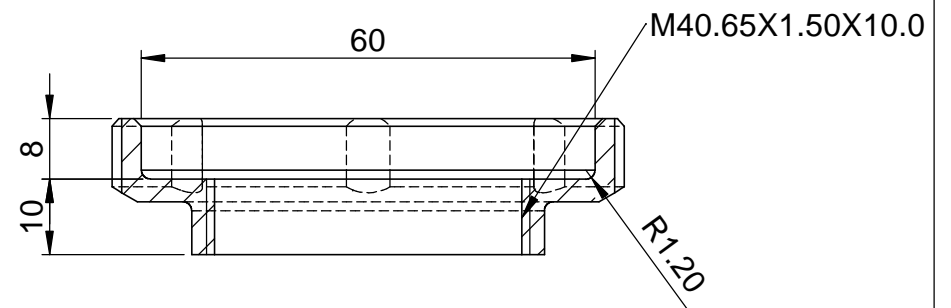
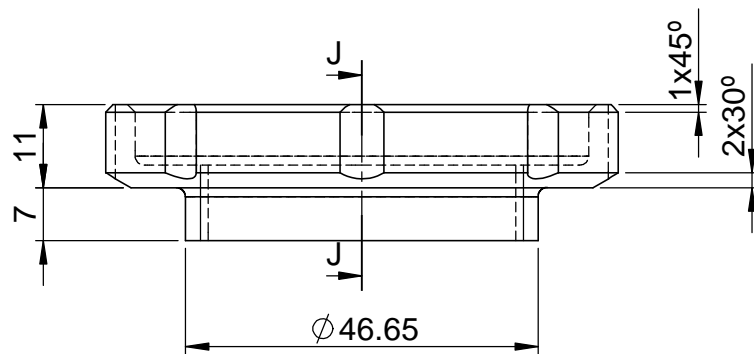
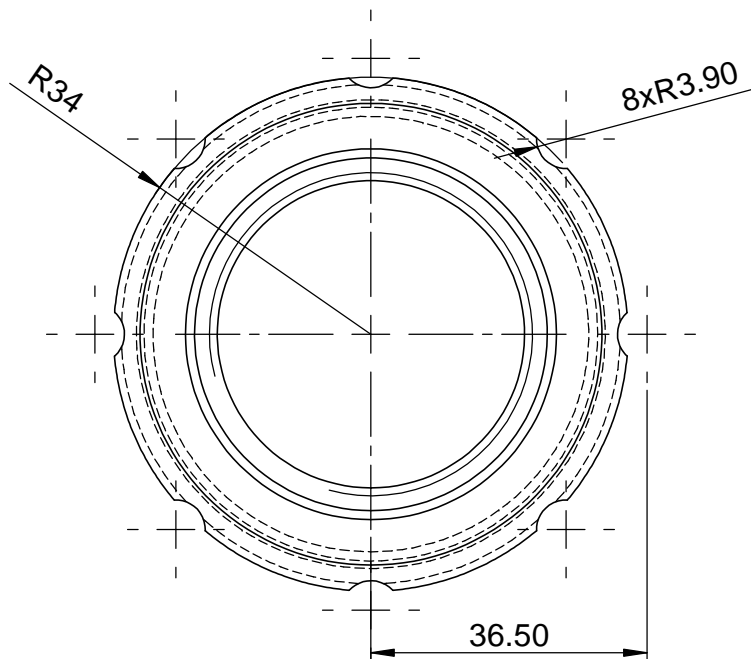
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: 1:1	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: AISI SAE 1020
			PLANO: 0-00-07-01



SECTION I-I

RESORTE
ESC 1:2

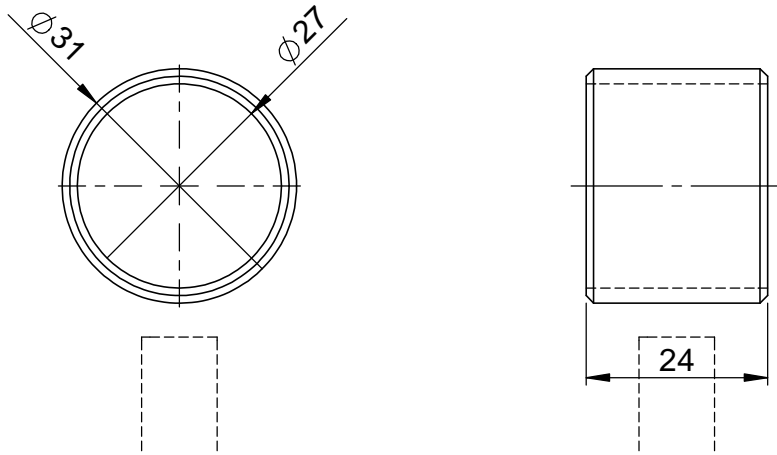
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: RESORTE
ESCALA: 1:2	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: AISI SAE 1070
			PLANO: 0-00-07-02



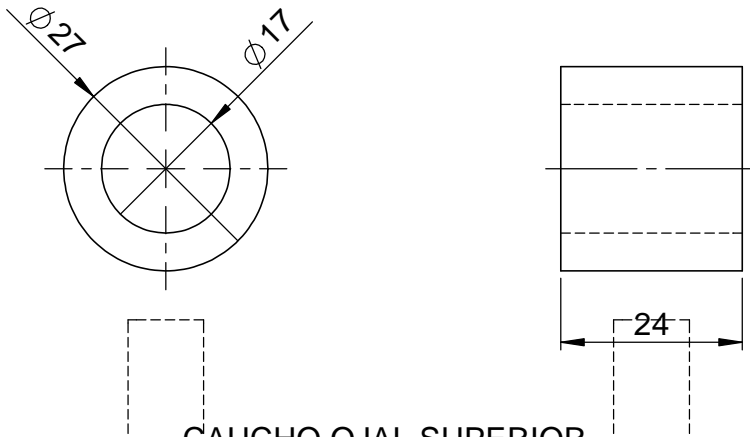
SECTION J-J
SCALE 1 : 1

ASIENTO INFERIOR DEL RESORTE
ESC 1:1

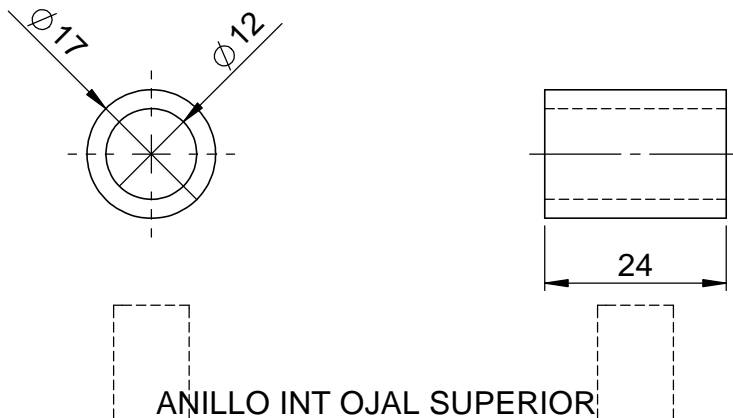
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: ASIENTO INFERIOR RESORTE
ESCALA: 1:1	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: AISI SAE 1020
			PLANO: 0-00-07-03



ANILLO EXT OJAL SUPERIOR
 ESC 1:1
 MATERIAL: ASTM A-36 HR



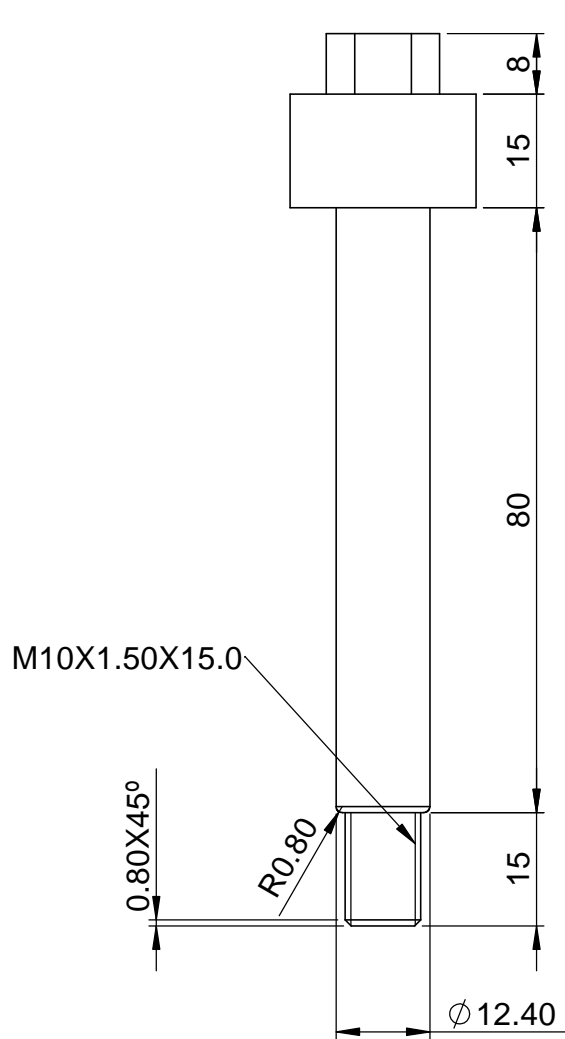
CAUCHO OJAL SUPERIOR
 ESC 1:1
 MATERIAL: CAUCHO VULCANIZADO



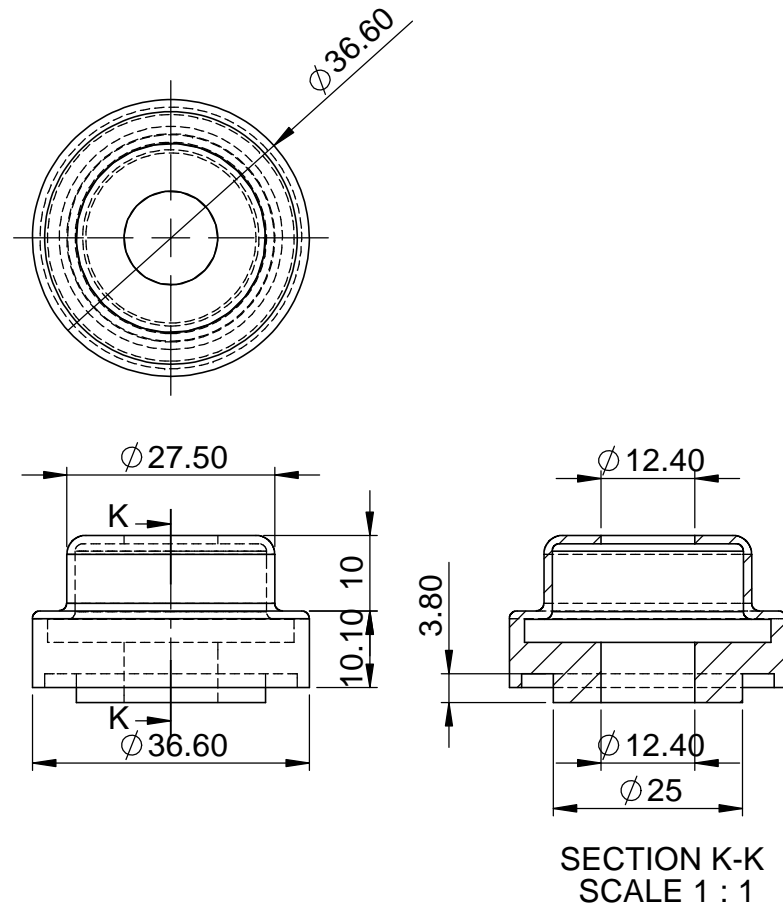
ANILLO INT OJAL SUPERIOR
 ESC 1:1
 MATERIAL: AISI SAE 1020

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: INDICADO			MATERIAL: INDICADO
			PLANO: 0-00-07-04

COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS

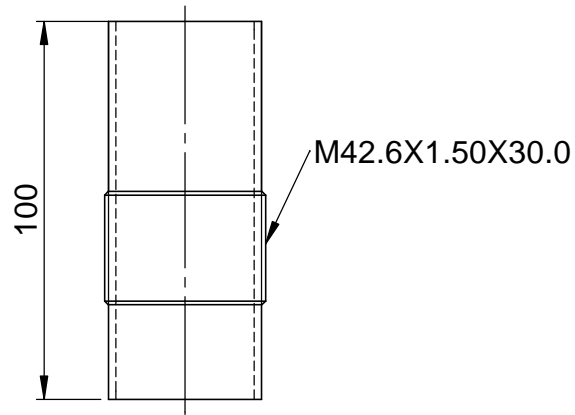
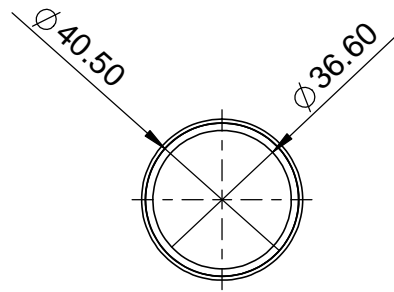


ANILLO INT OJAL SUPERIOR
ESC 1:1

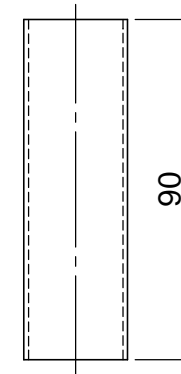
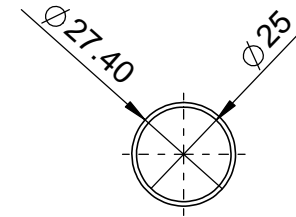


TAPON SUPERIOR Y SELLO AMORT
ESC 1:1

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: 1:1	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: INDICADO
			PLANO: 0-00-07-05

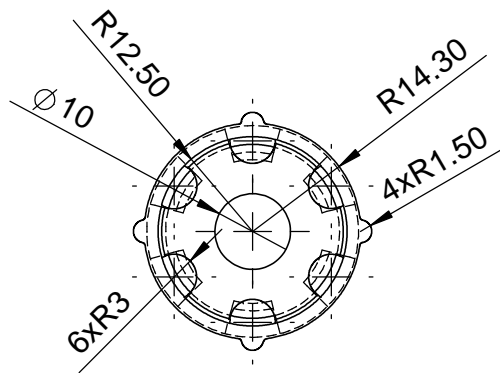
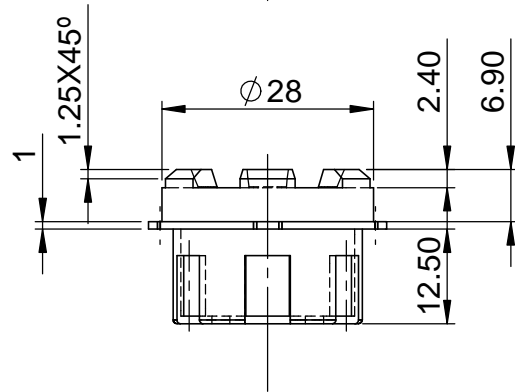
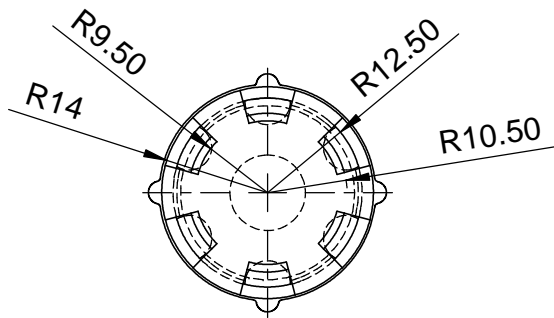


TUBO EXTERIOR AMORTIGUADOR
ESC 1:2

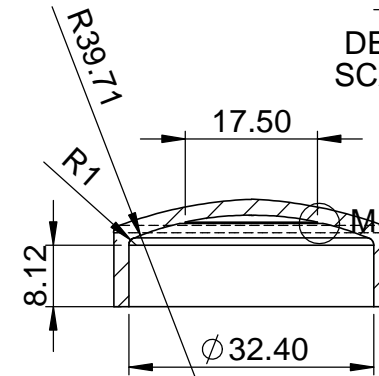
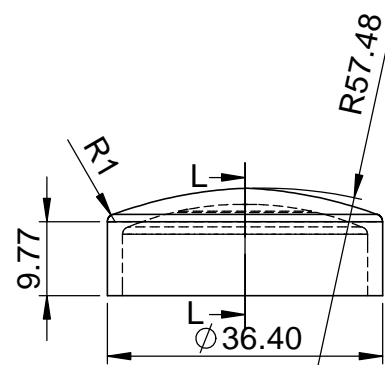


TUBO DE TRABAJO AMORTIGUADOR
ESC 1:2

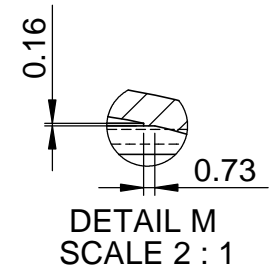
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: 1:2	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: AISI SAE 1020
			PLANO: 0-00-07-06



VÁLVULA DE BASE
ESC 1:1



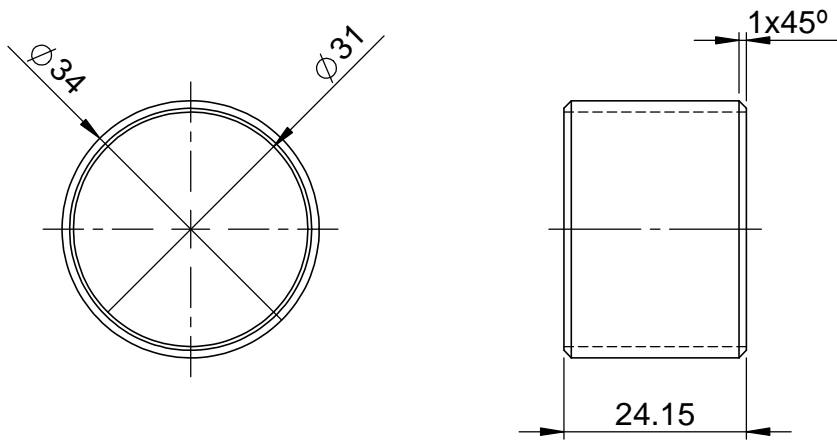
SECTION L-L
SCALE 1 : 1



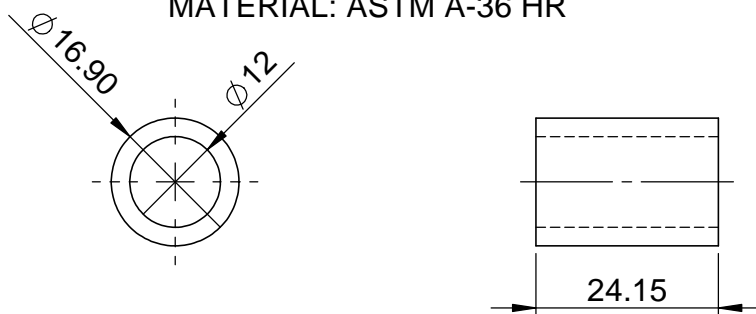
DETAIL M
SCALE 2 : 1

TAPÓN INFERIOR AMORTIGUADOR
ESC 1:1

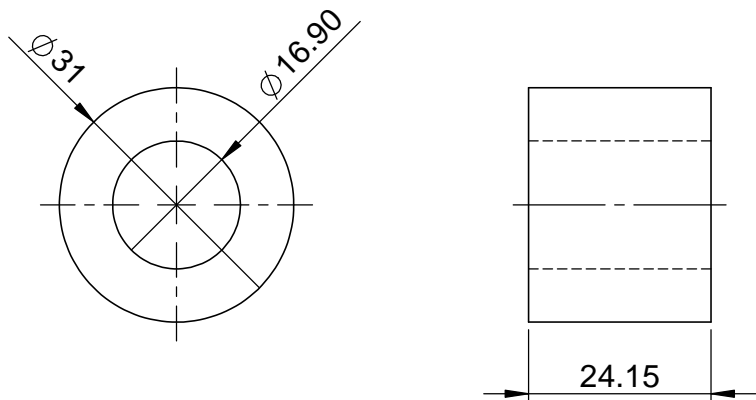
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: 1:1	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: INDICADO
			PLANO: 0-00-07-07



ANILLO EXT OJAL INFERIOR
 ESC 1:1
 MATERIAL: ASTM A-36 HR

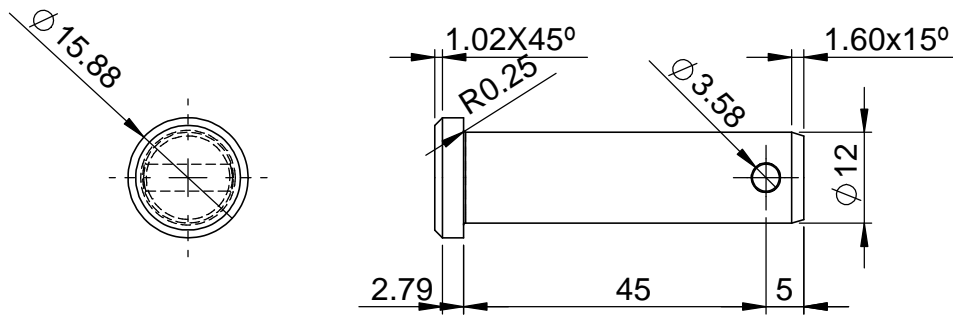


ANILLO INT OJAL INFERIOR
 ESC 1:1
 MATERIAL: AISI SAE 1020

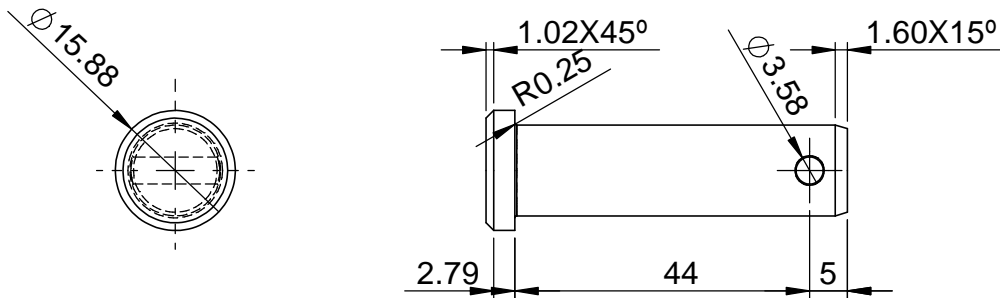


CAUCHO OJAL INFERIOR
 ESC 1:1
 MATERIAL: CAUCHO VULCANIZADO

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: 1:1	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: INDICADO
			PLANO: 0-00-07-08

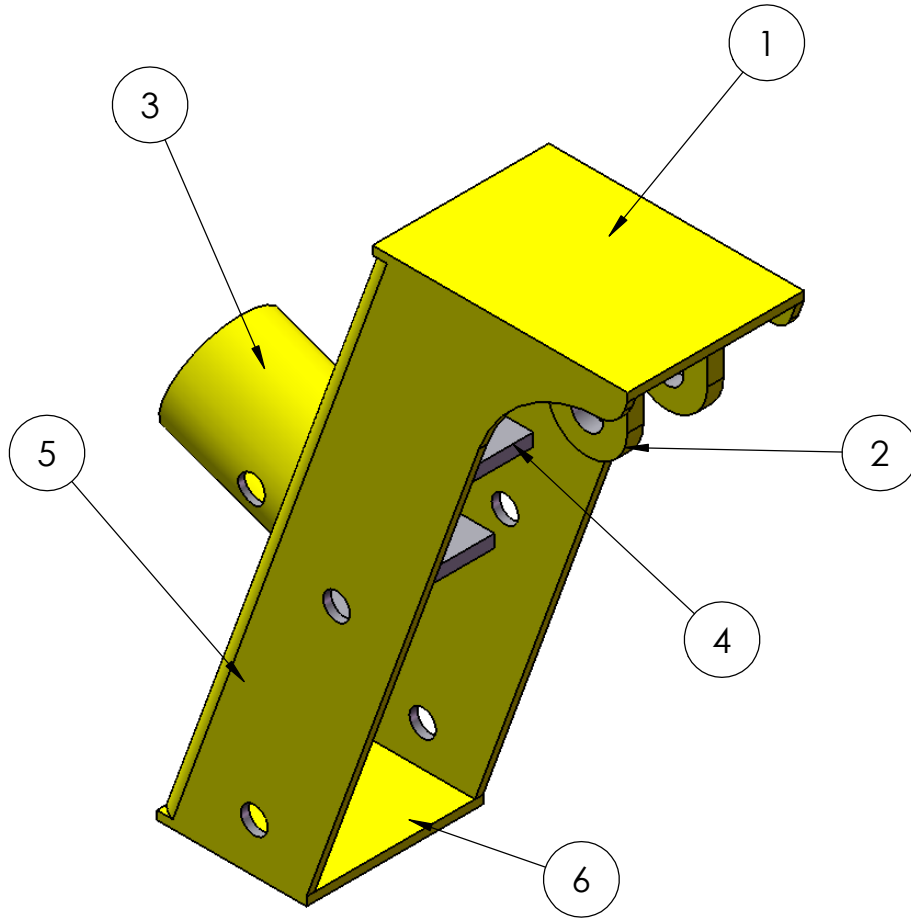


PIN INFERIOR AMORIGUADOR
ESC 1:1



PIN SUPERIOR AMORIGUADOR
ESC 1:1

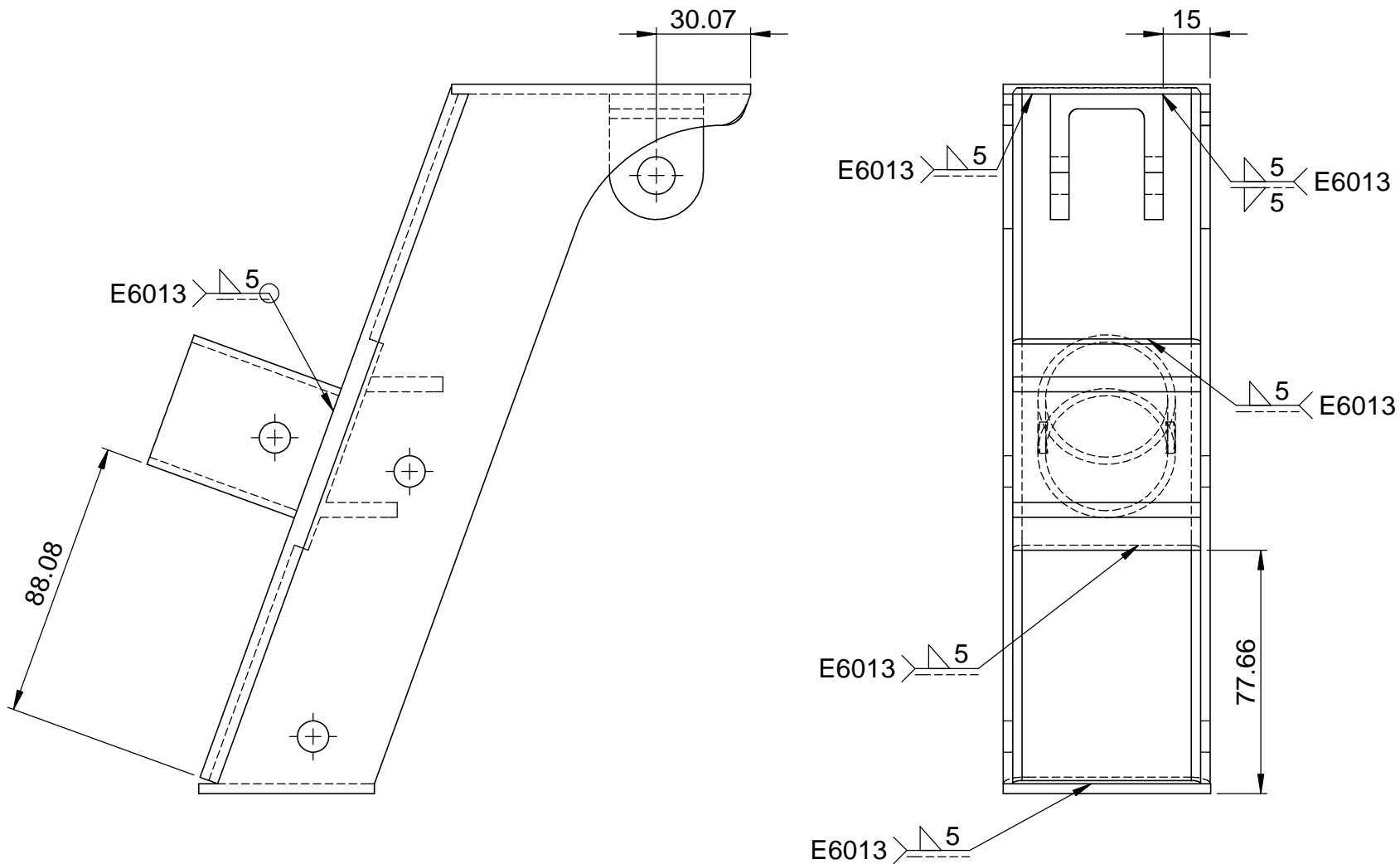
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: 1:1	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: AISI SAE 1020
			PLANO: 0-00-07-09



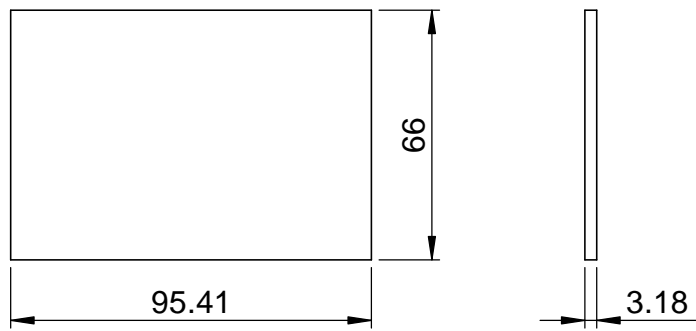
6	TAPA INFERIOR	1	PLATINA 3MM
5	LATERAL CUERPO	1	PLATINA 3MM
4	REFUERZOS	1	PLATINA 3/16"
3	CONEXIÓN PATA	1	
2	PESTAÑA CONEXIÓN AMORT	1	PLATINA 1/4"
1	TAPA SUPERIOR	1	PLATINA 3MM
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	OBSERVACIONES

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: CUERPO
ESCALA: 1:2			MATERIAL: ASTM A-36 HR
			PLANO: 0-00-08-00

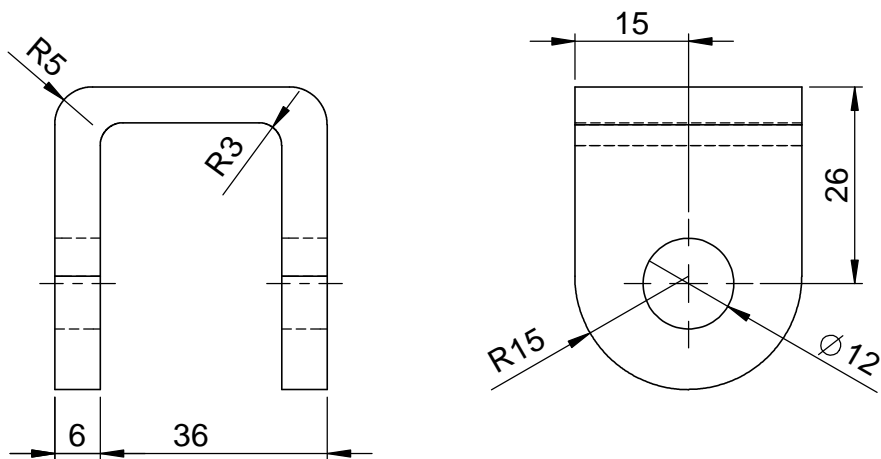
COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS



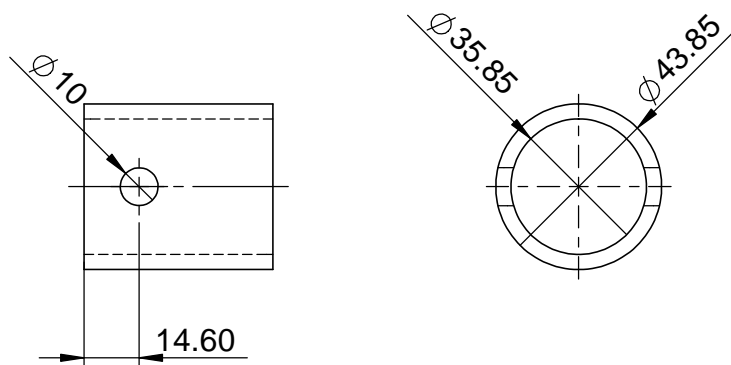
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: SUBCONJUNTO CUERPO
ESCALA: 1:2	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: ASTM A-36 HR
			PLANO: 0-00-08-01



TAPA SUPERIOR
ESC 1:2

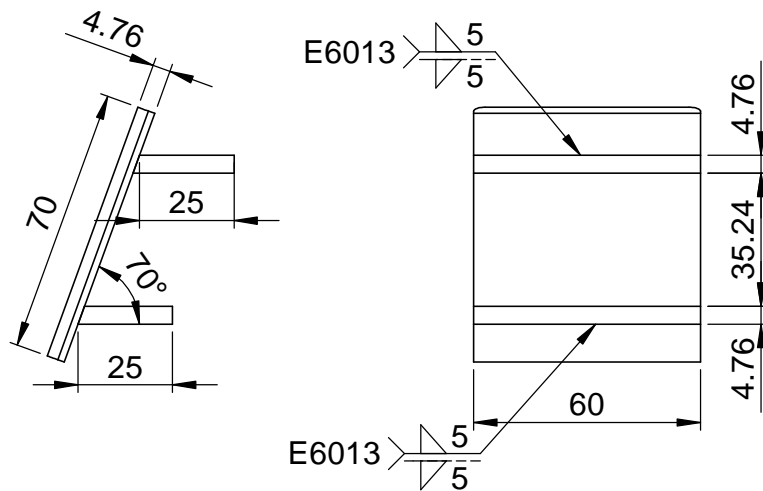


PESTAÑA CONEXIÓN AMORIGUADOR
ESC 1:1

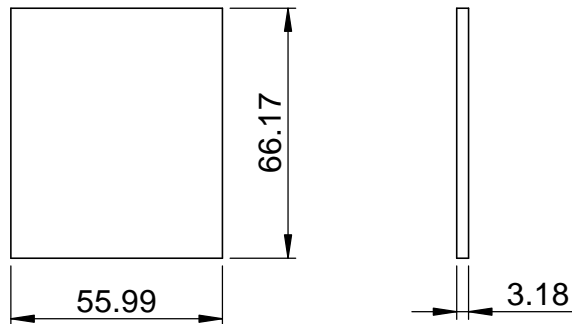


CONEXIÓN A TUBO TREN DE ATERRIZAJE
ESC 1:2

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: INDICADA			MATERIAL: ASTM A-36 HR
	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		PLANO: 0-00-08-02

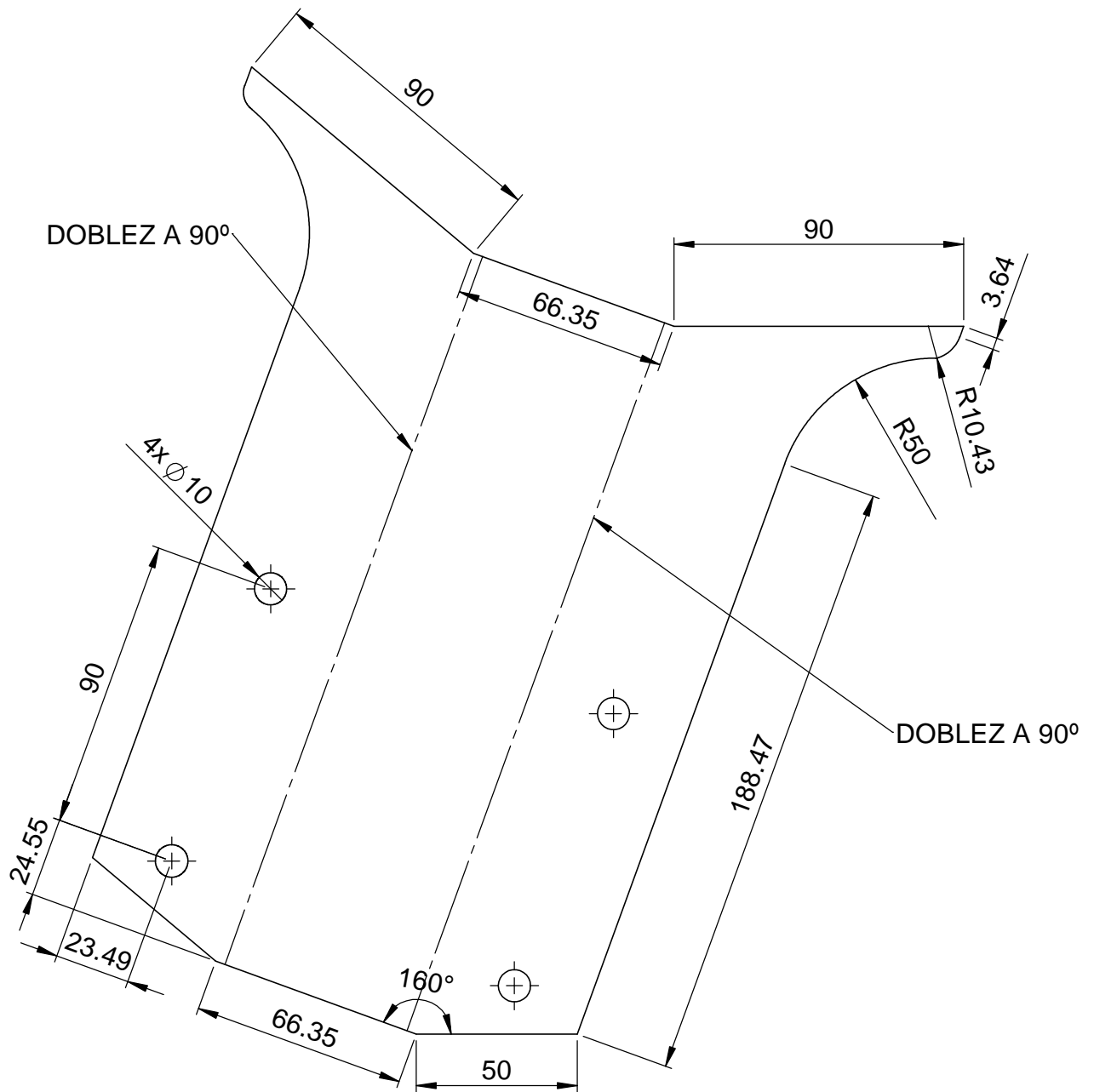


REFUERZO CUERPO
ESC 1:2



TAPA INFERIOR
ESC 1:2

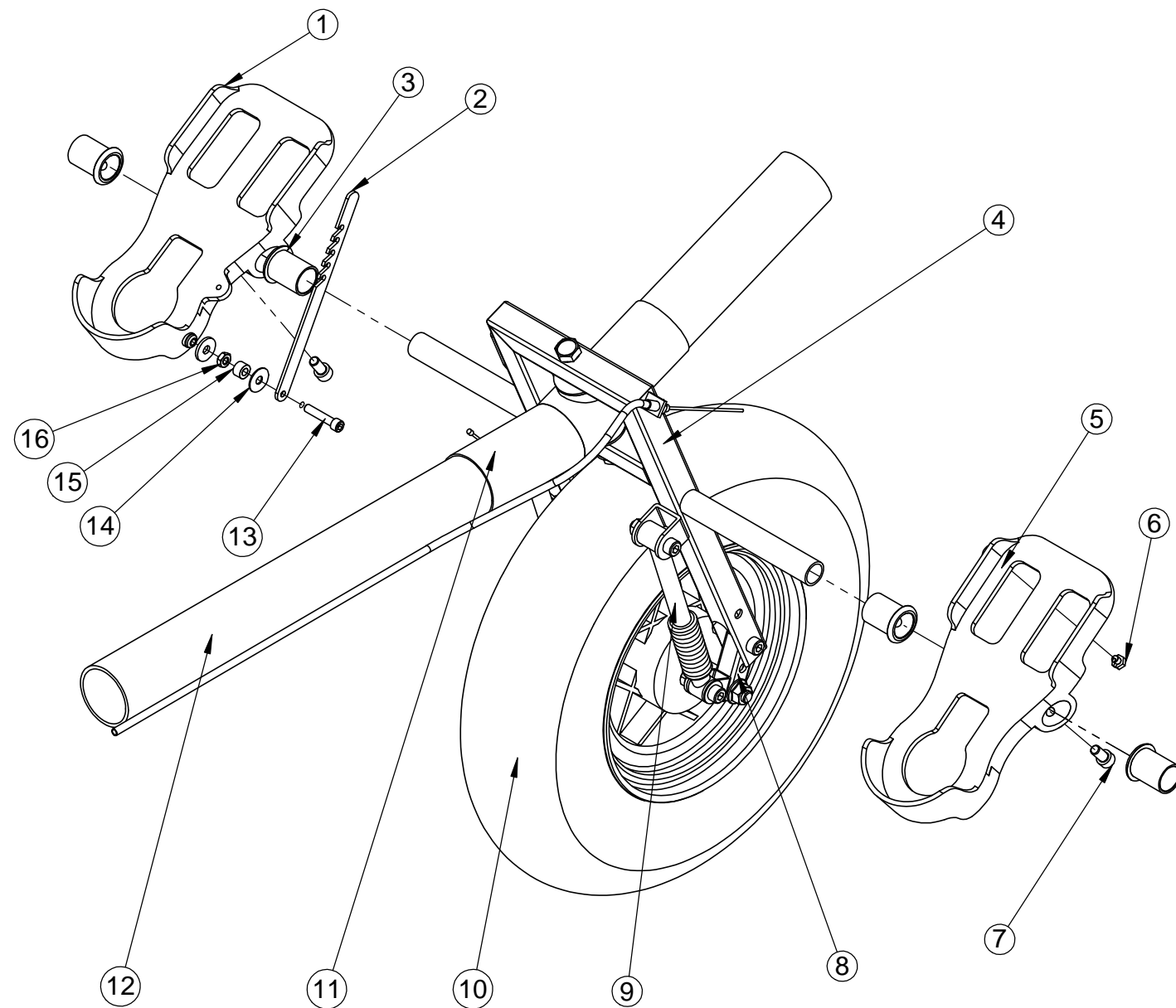
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: 1:2	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: ASTM A-36 HR PLANO: 0-00-08-03



DESARROLLO LATERAL CUERPO
ESC 1:2

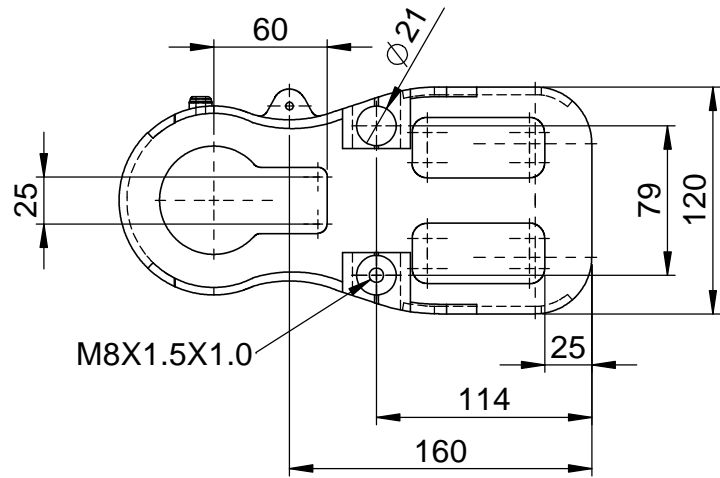
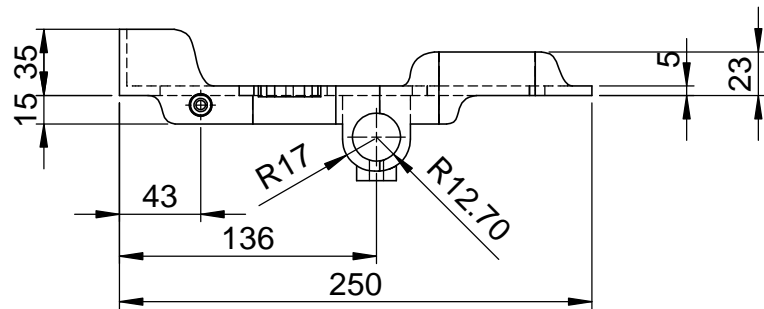
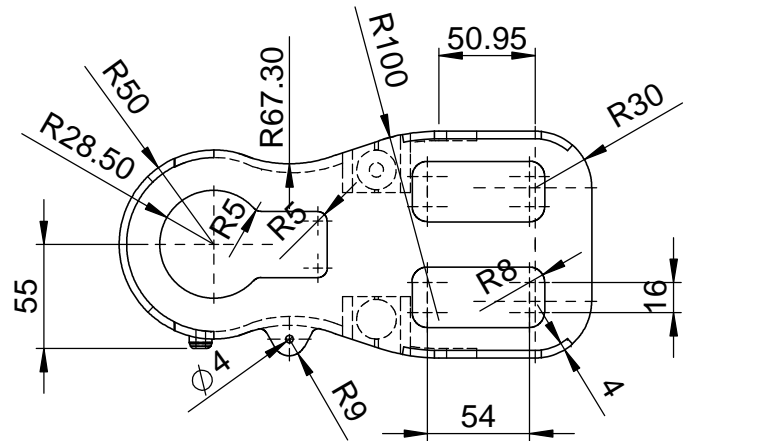
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: DESARROLLO LATERAL CUERPO
ESCALA: 1:2			MATERIAL: ASTM A-36 HR
			PLANO: 0-00-08-04

COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS

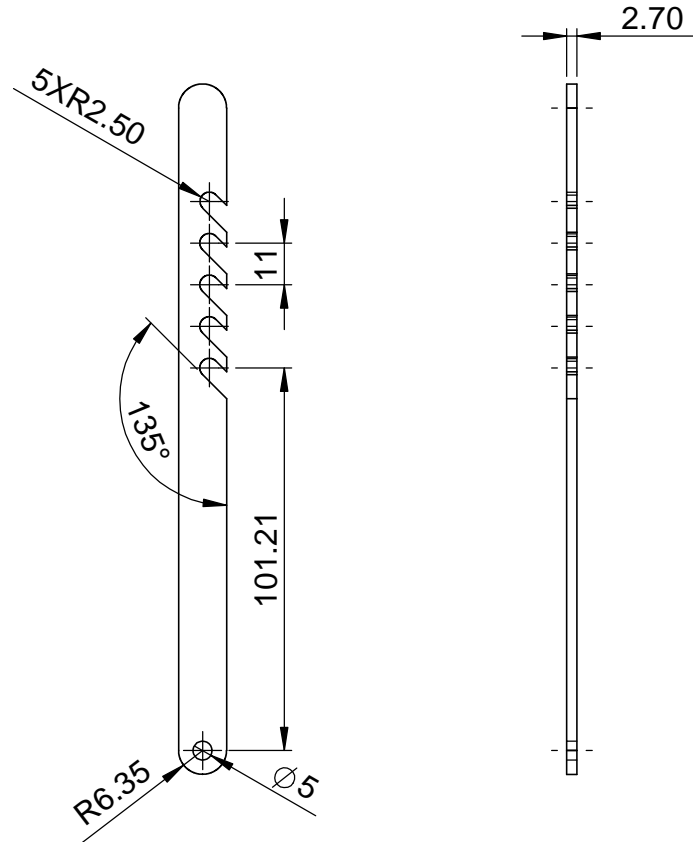


16	TUERCA TORNILLO BLOQUEO	1	TORNILLO 1/4"
15	BUJE TORNILLO BLOQUEO	1	ASI SAE 1020
14	ARANDELA TORNILLO BLOQ	2	TORNILLO 1/4"
13	TORNILLO SUJECIÓN BLOQUEADOR	1	NC 1/4"X18X1"
12	TUBO PRINCIPAL	1	TUBO 2" DURALUNINIO
11	REFUERZO TUBO PRINCIPAL	1	
10	LLANTA	1	4X8.00
9	AMORTIGUADOR	2	TIPO BITUBO
8	BALANCIN AMORTIGUADOR	2	
7	TORNILLO LIMITADOR DE ROTACIÓN PEDAL	2	M8x1.5X1,56
6	TUERCA GUALLA	1	
5	PEDAL DERECHO	1	FUNDICIÓN ALUMINIO
4	TENEDOR	1	PERFIL CUADRADO 1" ASTM A-36
3	BUJE	4	POLIETILENO
2	BLOQUEADOR FRENO	1	ASTM A-36
1	PEDAL IZQUIERDO	1	FUNDICIÓN ALUMINIO

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	OBSERVACIONES
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: EXPLOSIÓN TREN DELANTERO
ESCALA: 1:5	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: PLANO: 0-01-00-00

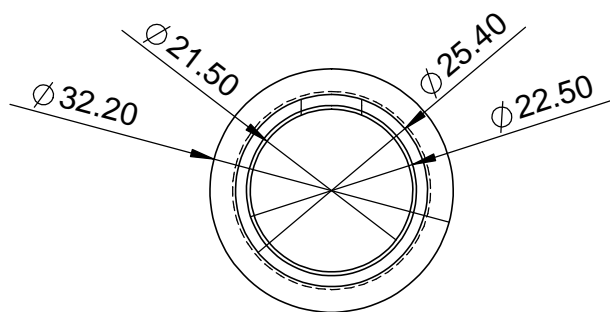
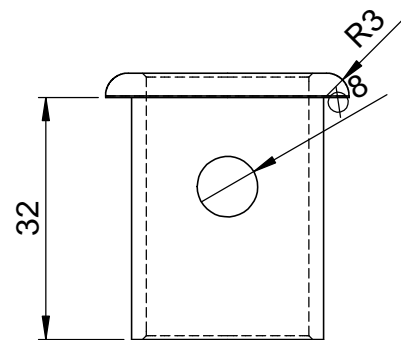


PEDAL IZQUIERDO
ESC 1:4

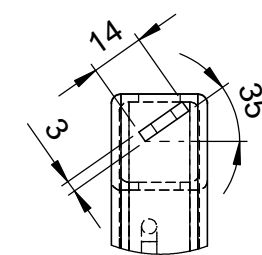
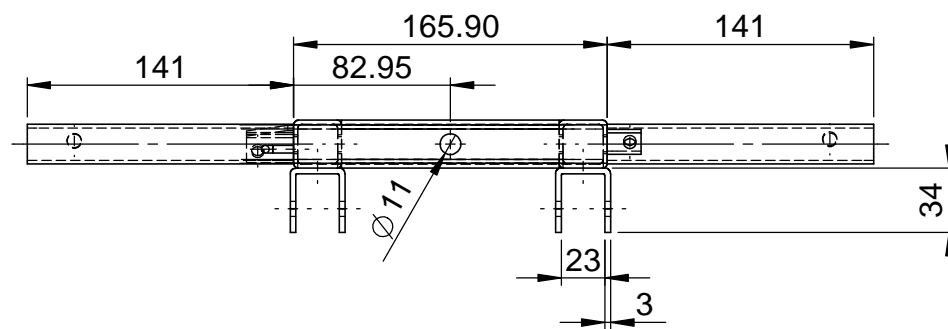


BLOQUEADOR FRENO
ESC 1:2

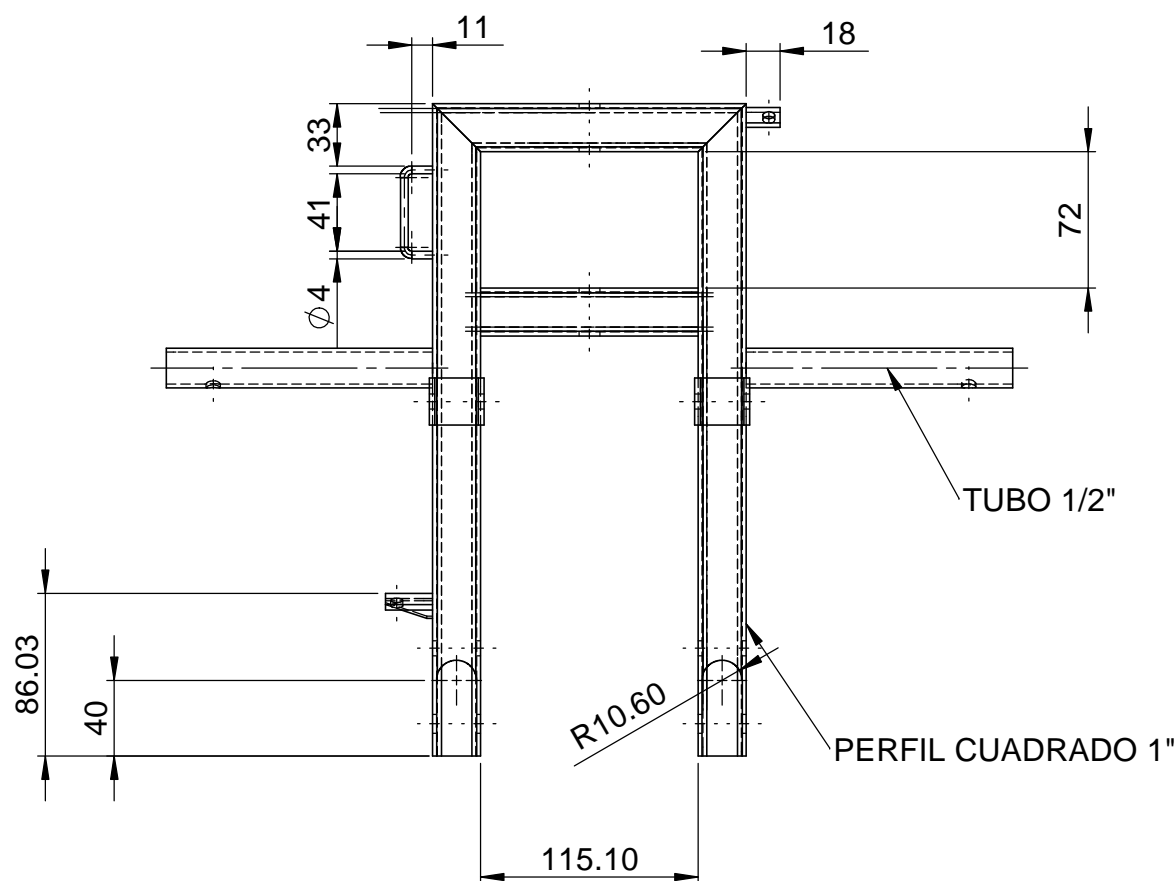
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: IND			MATERIAL:
	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		PLANO: 0-01-01-00



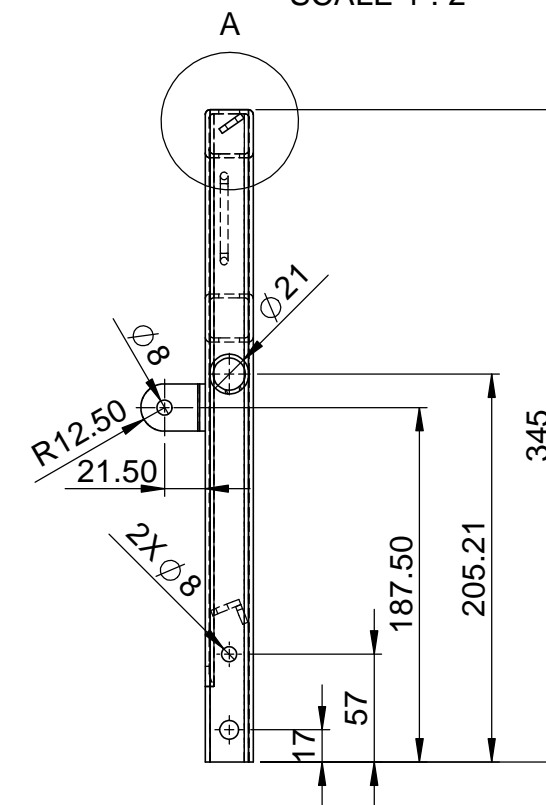
BUJE
ESC 1:1



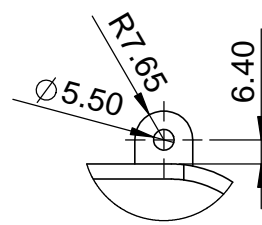
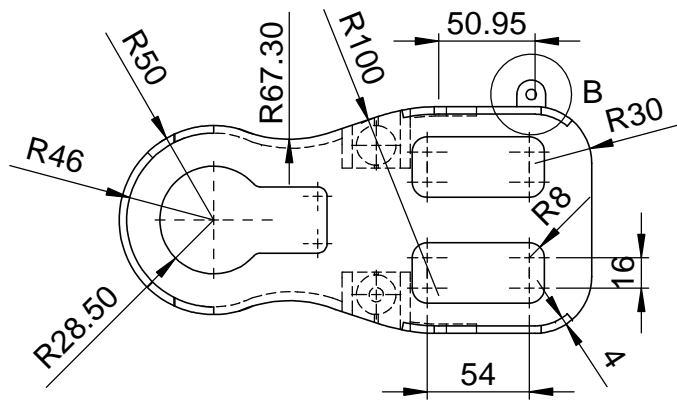
DETAIL A
SCALE 1 : 2



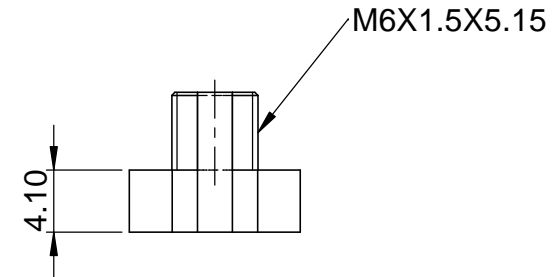
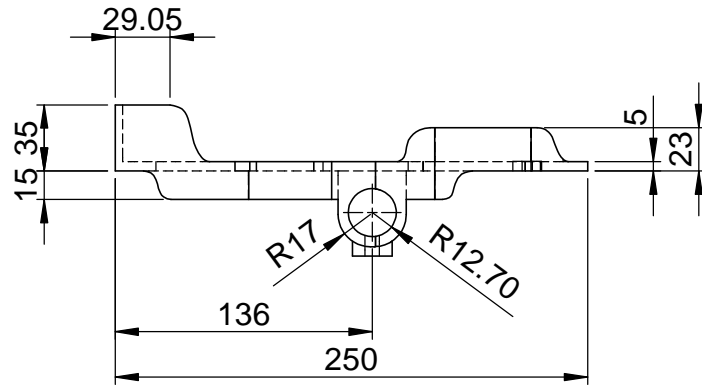
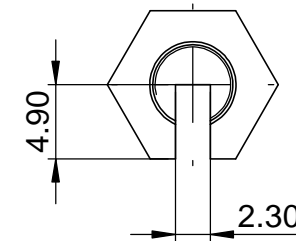
TENEDOR
ESC 1:4



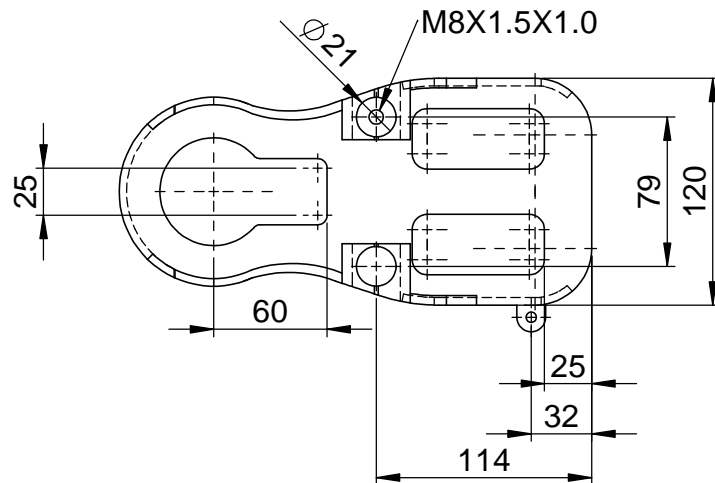
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIJAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: IND	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: PLANO: 0-01-02-00



DETAIL B
SCALE 1 : 2

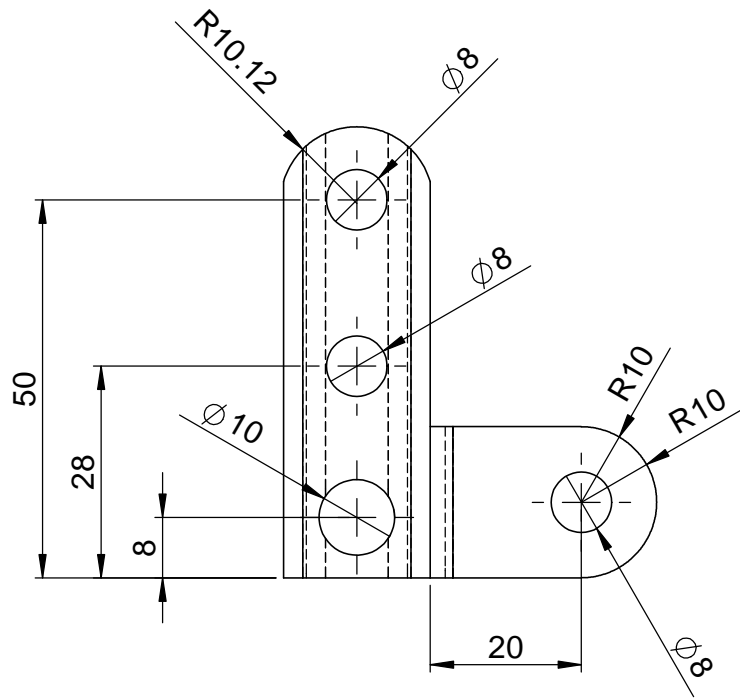
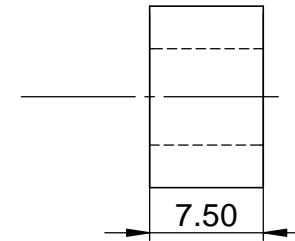
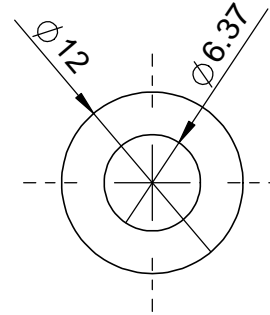
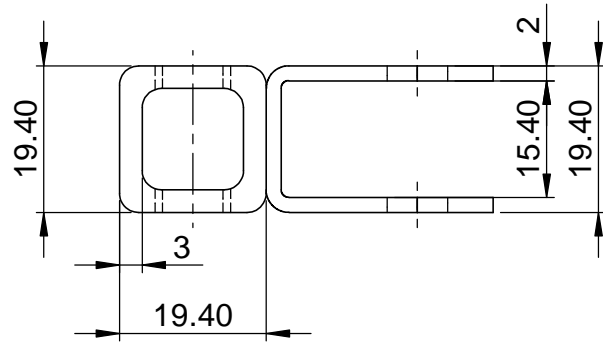


TUERCA GUALLA ACELERADOR
ESC 2:1



PEDAL DERECHO
ESC 1:4

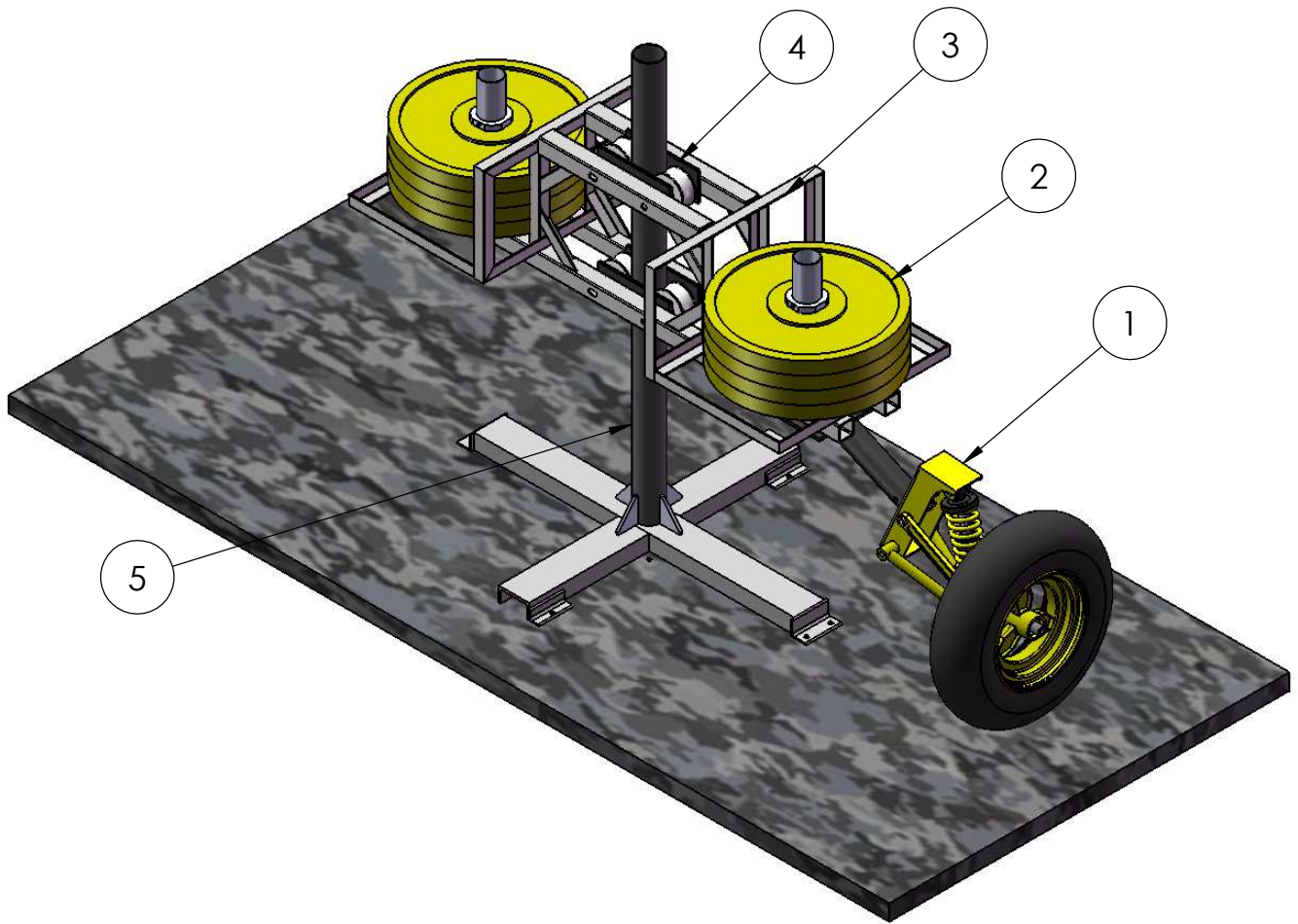
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: FUNDICIÓN ALUMINIO
ESCALA: IND			MATERIAL:
	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		PLANO: 0-01-03-00



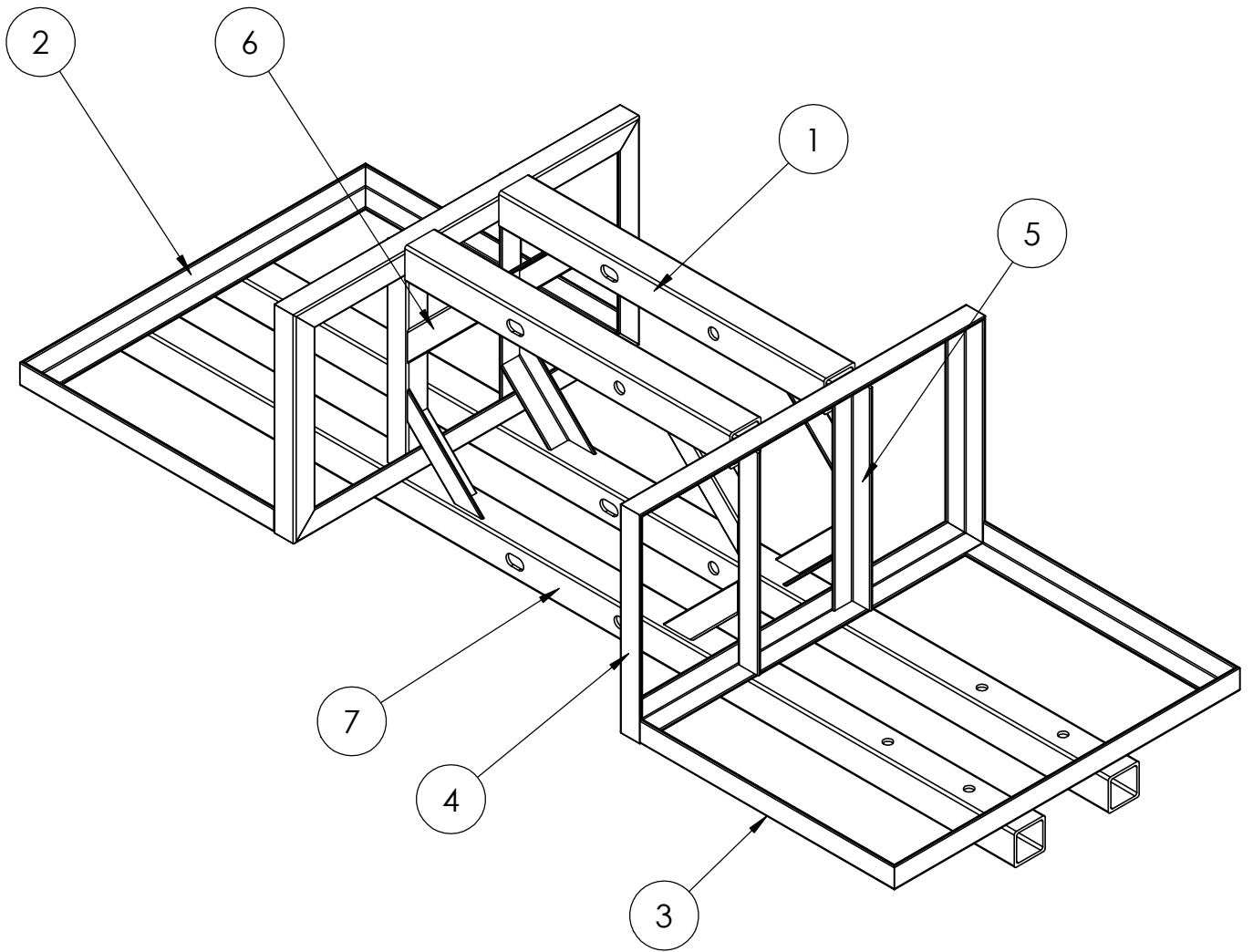
BALANCIN AMORTIGUADOR
ESC 1:1
MATERIAL: ASTM A 36

BUJE TORNILLO DE BLOQUEO
ESC 2:1
MATERIAL: AISI SAE 1020

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: IND	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: INDICADO
			PLANO: 0-01-04-00

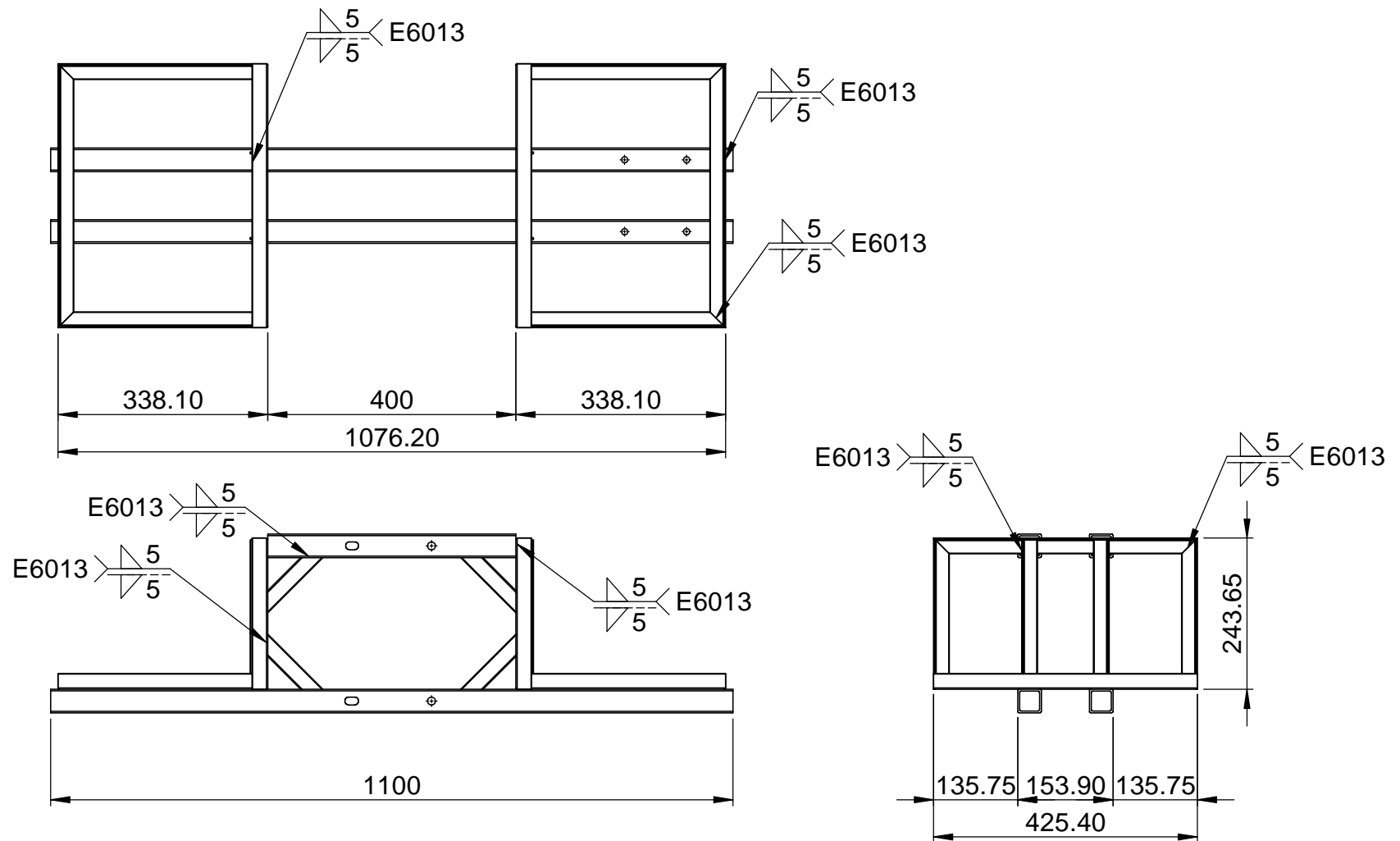


5	BASE	1	ASTM A 36
4	CARRITO	2	
3	CANASTILLA	1	ASTM A 36
2	PESOS OLÍMPICOS	6	TOTAL 106 KG
1	UNID TREN DE ATERRIZAJE PPAL	1	
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	OBSERVACIONES
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.	CONTIENE: BANCO DE PRUEBAS DE CAÍDA LIBRE	
ESCALA: 1:13		MATERIAL:	
		PLANO: 0-02-00-00	
COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS			

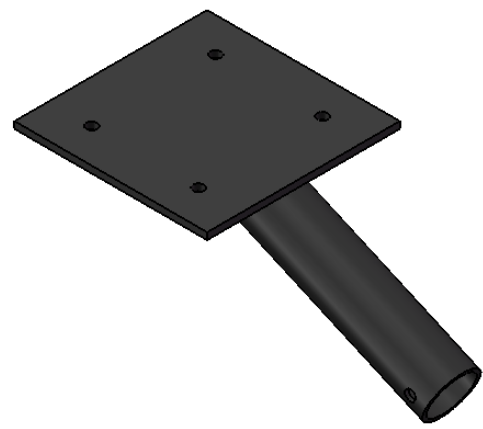
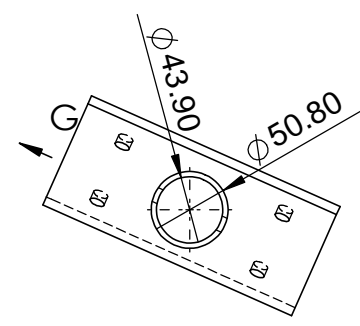
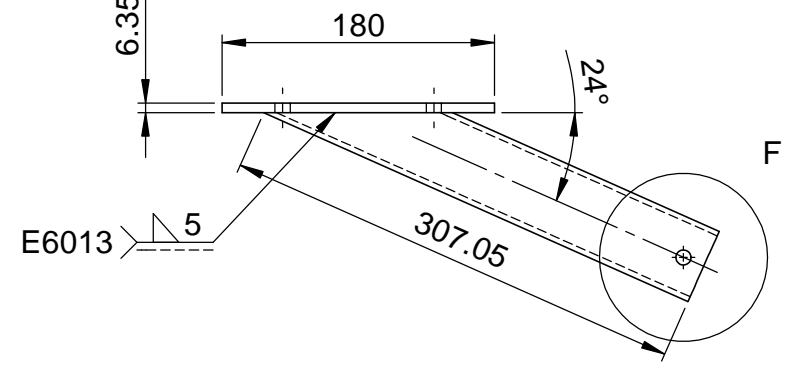
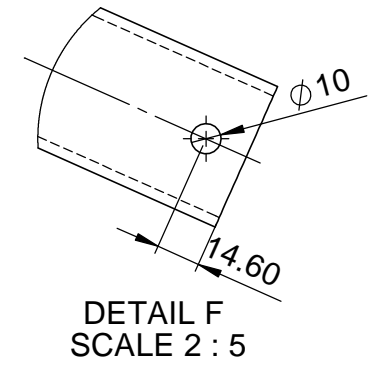
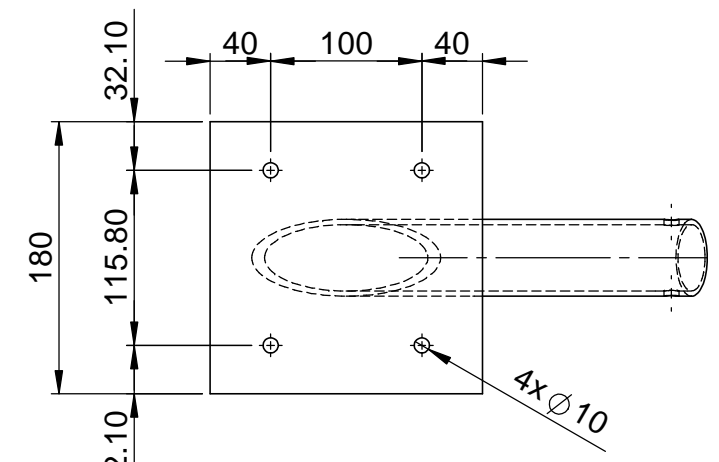


7	PERFIL PRINC INFERIOR 1 1/2"	2	110.00 CM
6	PERFIL REFUERZO 1"	8	31.27 CM
5	PERFIL APOYO REFUERZOS 1"	4	28.83 CM
4	PERFIL FRONTAL V 1"	4	23.73 CM
3	PERFIL FRONTAL H 1"	4	24.37 CM
2	PERFIL LATERAL 1"	6	40 CM
1	PERFIL PRINC SUPERIOR 1 1/2"	2	40.00 CM
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT	LONGITUD

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: CANASTILLA
ESCALA: 1:6	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: ASTM A-36 HR
			PLANO: 0-02-01-00

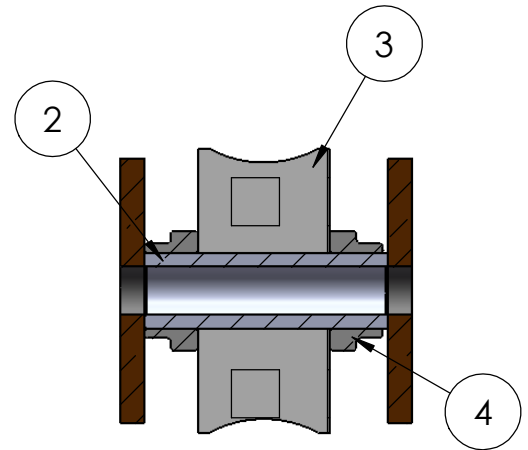
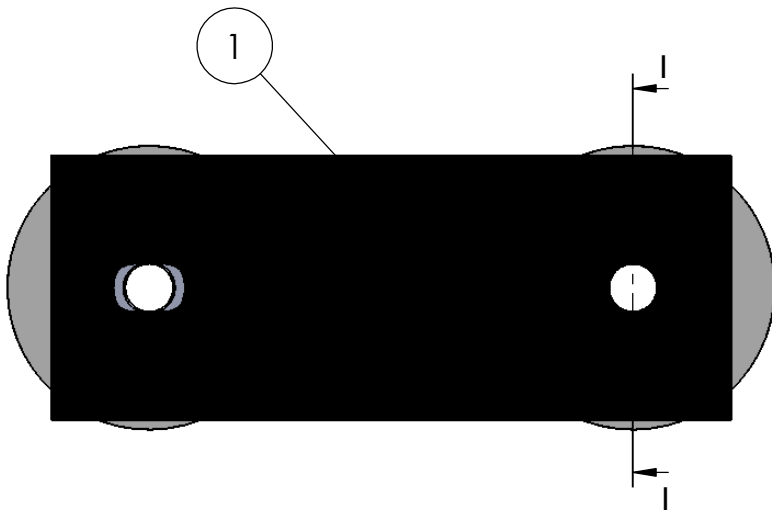


FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: 1:10	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: ASTM A-36 HR
			PLANO: 0-02-01-01

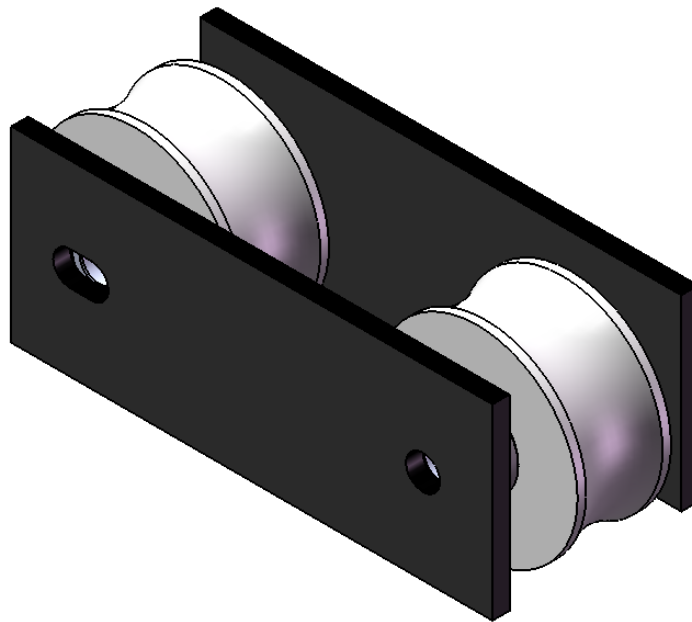


CONEXIÓN A TREN
PRINCIPAL
ESC 1:5

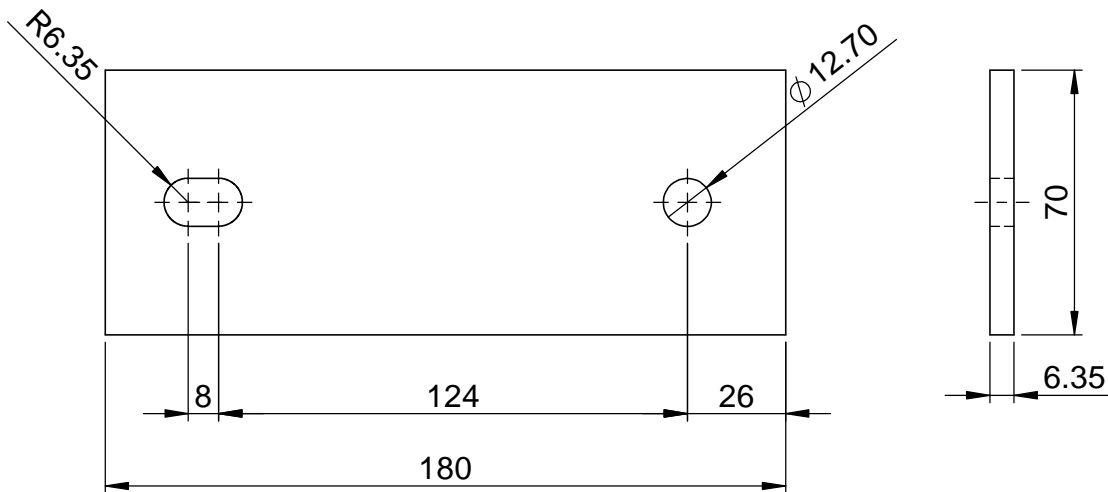
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: CONEXIÓN TREN PRINCIPAL
ESCALA: 1:5	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: ASTM A-36 HR
			PLANO: 0-02-02-00



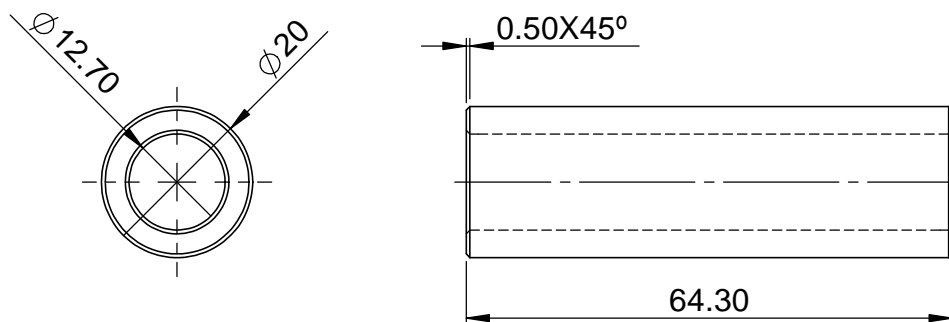
SECTION I-I
SCALE 1 : 2



4	ANILLO CENTRADOR RUEDA	8	AISI SAE 1020
3	RUEDA	4	POLIETILENO HD
2	BUJE RUEDA	4	AISI SAE 1020
1	TAPA LATERAL CARRO	4	ASTM A 36
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	OBSERVACIONES
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: SUBENSAMBLE CARRITO
ESCALA: 1:2			MATERIAL:
			PLANO: 0-02-03-00
COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS			



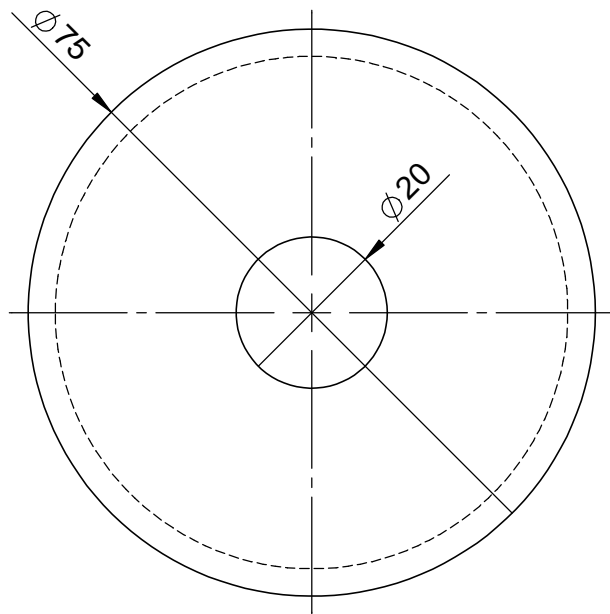
TAPA LATERAL CARRO
 ESC 1:2
 MATERIAL: ASTM A-36 HR



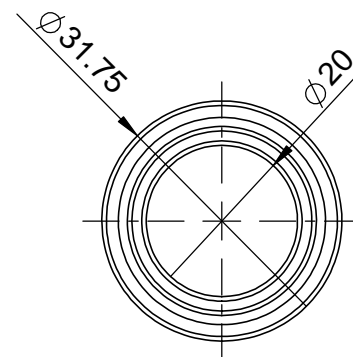
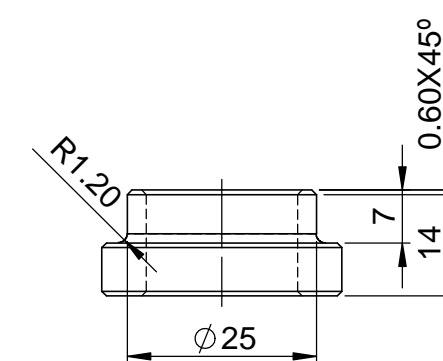
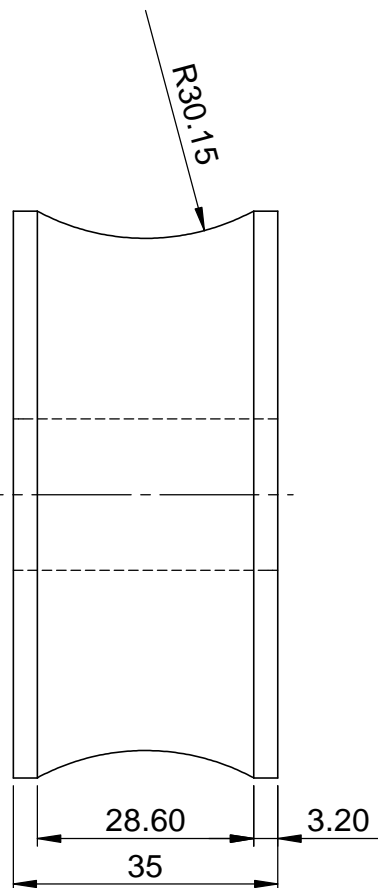
BUJE RUEDA
 ESC 1:1
 MATERIAL: AISI SAE
 1020

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: INDICADA			MATERIAL: INDICADO
			PLANO: 0-02-03-01

COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS

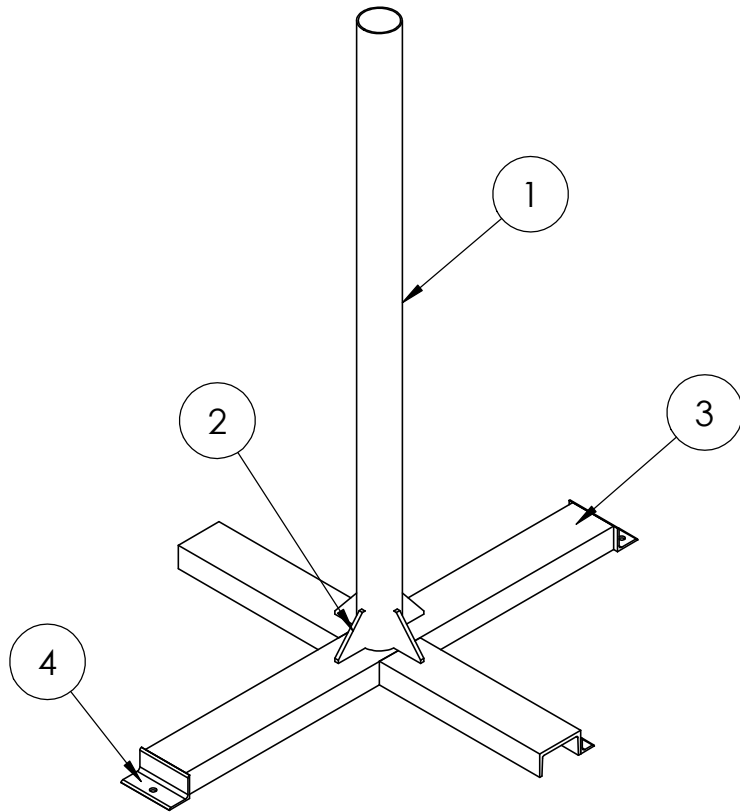


RUEDA
 ESC 1:1
 MATERIAL:
 POLIETILENO DE
 ALTA DENSIDAD

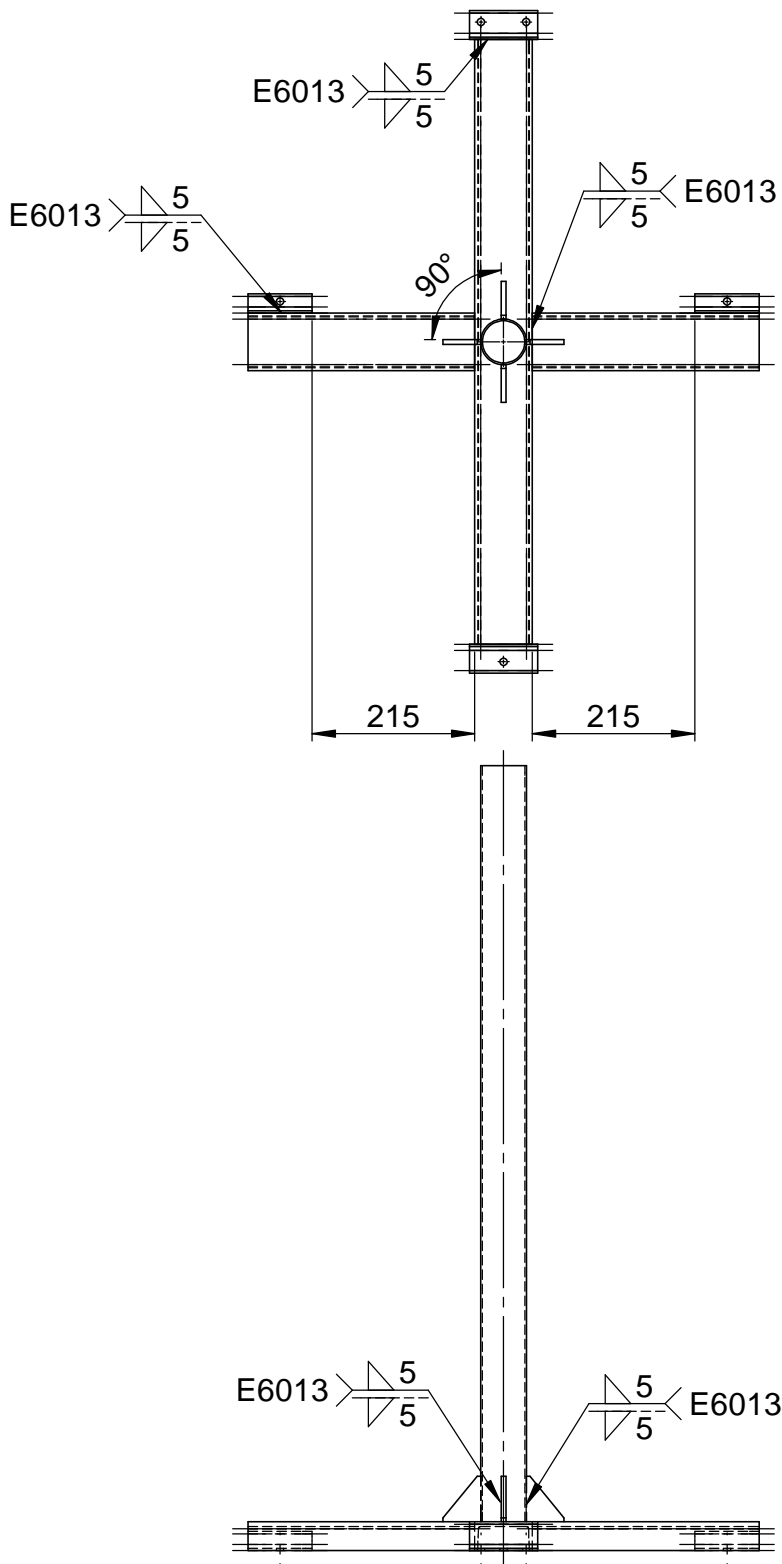


ANILLO CENTRADOR
 DE RUEDA
 ESC 1:1
 MATERIAL: AISI SAE
 1020

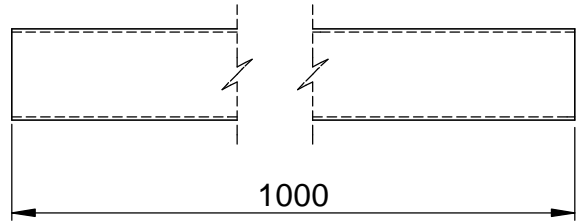
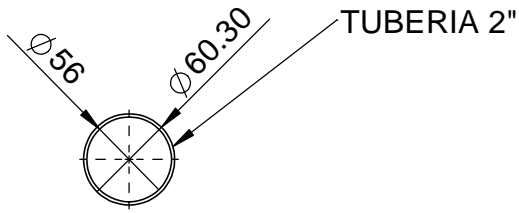
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: INDICADA	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: INDICADO
			PLANO: 0-02-03-02



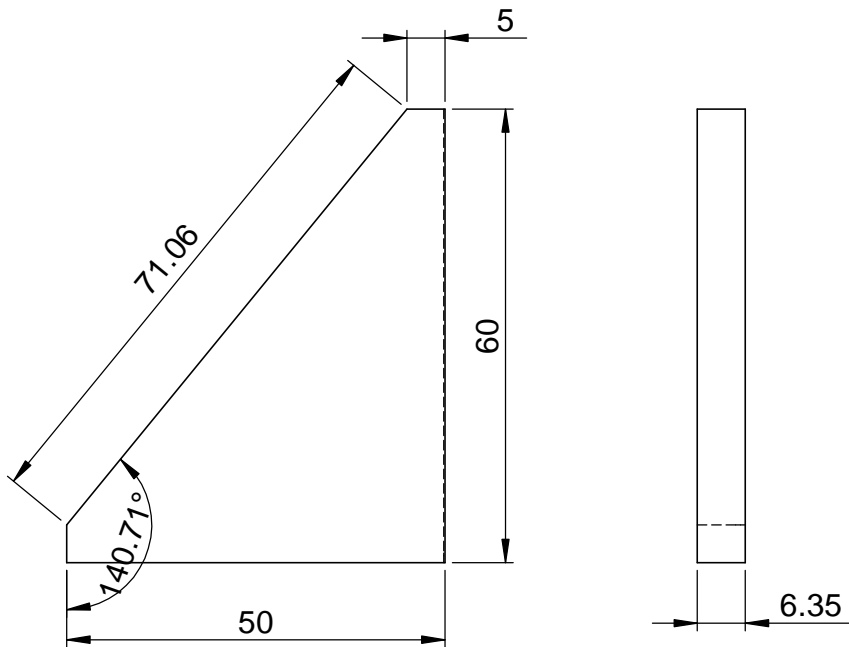
4	PESTAÑAS DE ANCLAJE A TIERRA	4	
3	BASE	1	PERFIL C 3"
2	CARTELA DE REFUERZO	4	
1	TUBO GUÍA	1	TUBERÍA 2"
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	OBSERVACIONES
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: BASE
ESCALA: 1:10	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: ASTM A 36
			PLANO: 0-02-04-00



FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	LEONARDO P		
REVISÓ	JORGE M		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: SUBENSABLE BASE
ESCALA: 1:10	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: ASTM A 36
			PLANO: 0-02-04-01



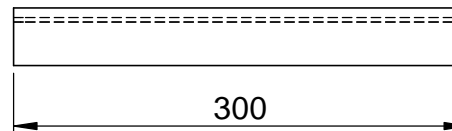
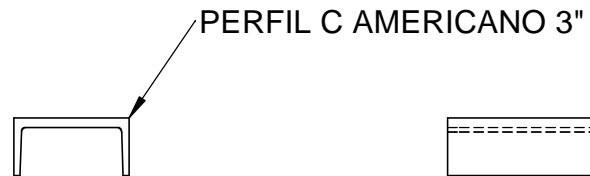
TUBO GUÍA
ESC 1:5



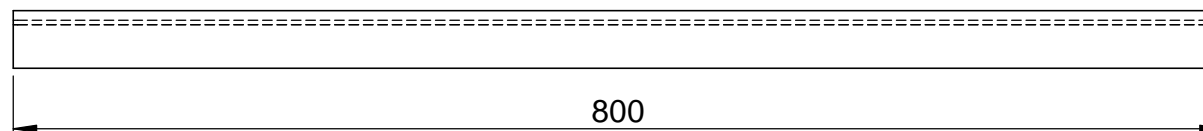
CARTELA DE
REFUERZO
ESC 1:1

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: INDICADA			MATERIAL: ASTM A-36 HR
			PLANO: 0-02-04-02

COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS

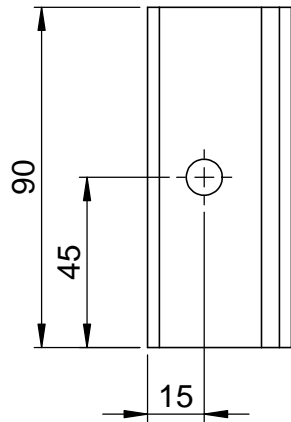


PATA LATERAL
ESC 1:5

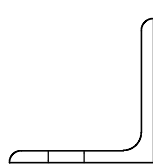


PATA PRINCIPAL
ESC 1:5

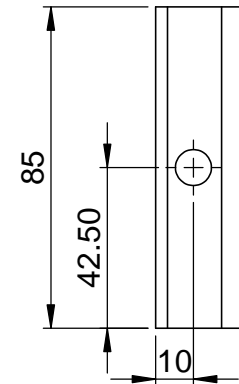
FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: INDICADA	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		MATERIAL: ASTM A-36 CR
			PLANO: 0-02-04-03



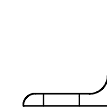
PERFIL ÁNGULO 1 1/2"



PESTAÑA DE ANCLAJE PATA PRINCIPAL
ESC 1:2



PERFIL ÁNGULO 1"



PESTAÑA DE ANCLAJE PATA LATERAL
ESC 1:2

FECHA	15/01/09	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJÓ	L PAYARES		
REVISÓ	J MENESES		
NORMA ISO	PROYECTO REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TREN DE ATERRIZAJE DE UN ULTRALIVIANO MOTORIZADO TIPO TRIKE.		CONTIENE: INDICADO
ESCALA: INDICADA			MATERIAL: ASTM A-36 HR
	COTAS EN MM Y ÁNGULOS EN GRADOS		PLANO: 0-02-04-04