

Diseño de un remolque para bicicleta impulsado con energía eléctrica para cargas utilitarias

Juan Felipe Rueda Castellanos, Julián Fernando Guevara Pabón

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

William Pinto Hernández

D. Sc Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Dedicado con especial cariño a mi madre Olga Isabel Castellanos Suarez y a mi padre Javier Rueda Gutiérrez, que desde pequeño me guiaron, apoyaron y fueron mi soporte de mi vida entera, por enseñarme a cómo afrontar la vida, por su ejemplo de vida y por darme la fuerza necesaria para salir adelante todos los días de la mano de Dios y poder culminar esta etapa de mi vida.

A mi hermano Cristian Javier Rueda Castellanos, por su amor incondicional, su apoyo constante en mi vida, por su ejemplo de vida y su acompañamiento constante en mi carrera profesional, por haberme enseñado tanto de esta hermosa ingeniería y a seguir siempre los pasos de Jesús Nazareno.

A mi pareja Michell Biviana Larrotta Ballesteros, por su apoyo incondicional estos últimos años de estudio profesional, por su amor y acompañamiento en cada uno de los pasos y decisiones que he tomado en mi vida.

A mis amigos Lucho, Ferney, Michael, Pipe, Brayan, Jhoan, por su acompañamiento en mi carrera universitaria y sus consejos a lo largo de estos años.

A mis compañeros de estudio, mis profesores, que me ayudaron a formarme todos estos años como ingeniero y como un mejor ser humano.

A Julián Fernando Guevara Pabón por su arduo trabajo en la realización de este proyecto de grado.

Juan Felipe Rueda Castellanos

Dedicatoria

A mi familia, mi madre Olga Patricia Pabón, mi hermano Manuel David Guevara Pabón y mi tía Laura Victoria Pabón, quienes acompañaron siempre este camino académico, en los tiempos en que la fatiga y las cargas agobian, porque su amor incondicional me permitió continuar adelante. Con especial cariño a mis nonas, cuya fortaleza, resiliencia, grandeza y humanidad me acompañaron siempre como marca de forja en mi ser.

A Laura Juliana Ortiz y su familia, por ser inspiración, compañía y aliento. Por decidir cada día seguir recorriendo caminos juntos, entre nuestro amor de ciencias disparejas, que tanto nos acerca. Porque en los propósitos y metas, siempre estará bien una caminata de la mano, y una sonrisa bella.

A Terry, inigualable compañía de carrera y de vida, por las noches de compañía incondicional entre libros y notas. Un regalo fugaz en mi vida lleno de alegría, emoción y paz, cuya partida repentina se dio en la recta final de este proyecto.

A mis amigos y compañeros de carrera; por las risas, la paciencia y las buenas historias, Andrés Molina, Camilo Cabrera y Christian Jaimes.

A todos los profesores, cuyas enseñanzas trascienden cada día, a quienes recuerdo con cariño por guiar este proceso de aprendizaje y desarrollo, especialmente a William Pinto por sus grandiosas clases de termodinámica que ayudaron a este estudiante a confiar nuevamente y aventurarse a creer que siempre se puede.

A Juan Felipe Rueda Castellanos, por un gran trabajo en este proyecto lleno de retos y aprendizajes.

Julián Fernando Guevara Pabón

Agradecimientos

A nuestro director de proyecto William Pinto Hernández, por su apoyo y acompañamiento durante el proceso de realización de la tesis.

A los docentes que contribuyeron tanto en la parte personal como profesional con su orientación, conocimientos y formación.

A la Universidad Industrial de Santander por permitirnos la culminación de esta etapa de mi vida como miembro de esta valiosa institución.

A la escuela de ingeniería mecánica, por su acompañamiento en nuestros procesos de estudios profesionales.

Juan Felipe Rueda Castellanos & Julián Fernando Guevara Pabón

Contenido

	Pág.
1. Formulación del problema	15
2. Objetivos	18
2.1 Objetivo General	18
2.2 Objetivos Específicos.....	18
3. Justificación del Problema	18
4. Marco teórico	20
4.1 Antecedentes	20
4.1.1 Diseño de un remolque de carga orientado a países en vías de desarrollo (Álvaro Otero, Comillas – Madrid 2018).....	20
4.1.2 Diseño y evaluación del tren de potencia de un go-kart eléctrico de competencia	21
4.1.3 Diseño y construcción de un remolque con capacidad para dos motocicletas	22
4.2 Referentes	22
4.2.1 Tipos de remolques	23
4.2.1.1 Remolque Industrial.....	23
4.2.1.2 Remolque Agrícola.	24
4.2.1.3 Remolque eje central.....	25
4.2.2 Tipos de cargas.....	26
4.2.3 Propiedades de los materiales	27
4.2.4 Componentes eléctricos	28
4.2.4.1 Motor eléctrico.....	28

4.2.4.2 Baterías.	29
4.2.4.3 Controlador de potencia.....	32
4.2.4.4 Sistema de control.....	33
4.2.5 Componentes mecánicos.....	33
4.2.5.1 Transmisión de potencia.	33
4.2.5.2 Suspensión.	34
4.2.5.3 Sistema de frenos.....	36
4.2.5.4 Sistema de enganche.....	39
5. Proceso de diseño.....	39
5.1 Diseño de un remolque eléctrico que transporte cargas de hasta 300 kg y volúmenes de hasta 3 metros cúbicos, con una autonomía de 90 km.....	39
5.1.1 Sistema estructural.....	40
5.1.2 Sistema de potencia.....	47
5.1.3 Sistema de suspensión.....	55
5.1.4 Sistema de frenos.....	64
5.1.5 Sistema de enganche.....	69
5.2 Diseño de un sistema de control, que administre la entrega de potencia según la condicional de operación.....	72
5.3 Desarrollo de un manual de operaciones y un plan general de mantenimiento del remolque.....	78
5.3.1 Manual de operaciones.....	78
5.3.2 Plan general de mantenimiento.....	83
6. Conclusiones.....	89
7. Recomendaciones.....	90

Referencias Bibliográficas	92
Apéndices.....	95
Planos.....	114

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Factores de carga.....	26
Tabla 2. Comparaciones de remolques	41

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Carretilla para canastas.....	16
Figura 2. Bicicleta de carga.....	17
Figura 3. Motocarro de carga.....	17
Figura 4. Remolque de carga marca DTA.....	24
Figura 5. Remolque agrícola marca ecomaqmx	25
Figura 6. Remolque de eje central serie light de la marca MEILLER.....	25
Figura 7. Batería de ácido-plomo.....	30
Figura 8. Batería de Ion-Litio	31
Figura 9. Batería LiFePO4.....	32
Figura 10. Sistema de control en lazo cerrado.....	33
Figura 11. Reductor de motor eléctrico en corte.....	34
Figura 12. Suspensión por hojas de muelles.....	35
Figura 13. Suspensión por cilindros.....	35
Figura 14. Suspensión por muelles de resorte	36
Figura 15. Freno de Aro Caliper	37
Figura 16. Freno de disco.....	38
Figura 17. Freno de tambor.....	38
Figura 18. Referencia de perfiles en COLMENA S.A.....	45
Figura 19. Perfil del chasis.....	46
Figura 20. Esfuerzos en el chasis.....	46

Figura 21. Acoplamiento alternativa uno.....	47
Figura 22. Motor alternativa uno	48
Figura 23. Acoplamiento alternativa dos	49
Figura 24. Motor alternativa dos.....	49
Figura 25. Acoplamiento alternativa tres	50
Figura 26. Motor alternativa tres	51
Figura 27. Rango de puntuación	51
Figura 28. Puntaje de las alternativas motor.....	52
Figura 29. Ponderado de las alternativas motor.....	53
Figura 30. Controlador modelo EM-150	55
Figura 31. Montaje alternativa uno.....	56
Figura 32. Montaje alternativa dos	56
Figura 33. Montaje alternativa tres	57
Figura 34. Rango de calificación	58
Figura 35. Puntaje de las alternativas suspensión.....	59
Figura 36. Ponderado de las alternativas suspensión.....	59
Figura 37. Montaje del sistema de suspensión.....	61
Figura 38. Sistema suspensión independiente para cada rueda	61
Figura 39. Suspensión en el comercio	62
Figura 40. Buje de tijera.....	62
Figura 41. Análisis de factor de seguridad.....	63
Figura 42. Análisis de esfuerzos	64
Figura 43. Representación gráfica del freno	66

Figura 44. Cálculos de frenado	67
Figura 45. Datos del freno	67
Figura 46. Sistema de frenos en el mercado	68
Figura 47. Pastilla de frenos en el mercado	68
Figura 48. Caño sillín de Bicicleta.....	69
Figura 49. Lámina de unión	70
Figura 50. Ensamble de sistema de enganche.....	71
Figura 51. Manillar del sistema de enganche.....	72
Figura 52. Acelerador de puño.....	73
Figura 53. Diagrama del sistema de control	74
Figura 54. Sistema de control principal	75
Figura 55. Sistema en lazo abierto	75
Figura 56. Sistema de control de potencia	76
Figura 57. Tiempo de estabilización del sistema de control	77
Figura 58. Diagrama de flujo del sistema de control del remolque eléctrico	77
Figura 59. Switch convencional de encendido	80
Figura 60. Accionador de velocidad del remolque eléctrico.....	81
Figura 61. Interruptor con enclavamiento de panel convencional.....	82
Figura 62. Sistema de enclavamiento entre el remolque y la cicla.....	83
Figura 63. Vista en corte de un motor eléctrico convencional.....	84
Figura 64. Partes de una llanta en corte	87
Figura 65. Especificaciones de la llanta.....	87
Figura 66. Cuadro de costos.....	91

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Diseño de la suspensión del remolque eléctrico	95
Apéndice B. Diseño del sistema de control de potencia	102
Apéndice C. Diseño del sistema de enganche	109
Apéndice D. Cálculo de la potencia necesaria para el motor eléctrico	111

Resumen

Título: Diseño de un remolque para bicicleta impulsado con energía eléctrica para cargas utilitarias *

Autor: Juan Felipe Rueda Castellanos, Julián Fernando Guevara Pabón **

Palabras claves: Remolque, Bicicleta, Carga, Autónomo, Diseño, Mantenimiento, Eléctrico

Descripción:

Las cargas que no son lo suficientemente grandes como para cargar en un vehículo necesitan un tipo de transporte especial, debido a que estos paquetes que se desean transportar generalmente son cargados manualmente por personas o animales por lo que se necesitan la ayuda de una herramienta electromecánica para poder solventar la energía necesaria para mover los objetos en cuestión y así cuidar la salud de los que cotidianamente necesitan transportar cargas no tan grandes como para ir en un vehículo.

La implementación de este proyecto parte desde el entendimiento de esta problemática e identifica las variables necesarias para el criterio de diseño de un remolque eléctrico, desde el sistema estructural, de potencia, hasta los sistemas como la suspensión, frenado y sistema de control, para hacer un remolque eléctrico con las mejores condiciones posibles para acoplamiento con una bicicleta.

Por último, se encuentra consignado un manual de operaciones y un plan general de mantenimiento para que las personas que requieran de este tipo de remolques eléctricos puedan entender a fondo cada uno de los elementos que contiene el sistema, así como el mantenimiento, inspección y cuidados que amerita cada uno de ellos.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica Director: William Pinto Hernández D. Sc Ingeniería Mecánica

Abstract

Title: Design of an electrically powered bicycle trailer for utility loads*

Author(s): Juan Felipe Rueda Castellanos, Julián Fernando Guevara Pabón**

Key Words: Trailer, Bicycle, Load, Autonomous, Design, Maintenance, Electric

Description:

Loads that are not big enough to be loaded in a vehicle need a special type of transport, because these packages that are to be transported are generally loaded manually by people or animals, so the help of an electromechanical tool is needed to provide the necessary energy to move the objects in question and thus take care of the health of those who daily need to transport loads that are not big enough to be transported in a vehicle.

The implementation of this project starts from the understanding of this problem and identifies the necessary variables for the design criteria of an electric trailer, from the structural system, power, to systems such as suspension, braking and control system, to make an electric trailer with the best possible conditions for coupling with a bicycle.

Finally, there is an operation manual and a general maintenance plan so that people who require this type of electric trailers can thoroughly understand each of the elements contained in the system, as well as the maintenance, inspection, and care that each one of them deserves.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica Director: William Pinto Hernández D. Sc Ingeniería Mecánica

1. Formulación del problema

El transporte de cargas que no son suficientemente grandes para justificar el uso de un vehículo como un camión o en lugares donde un remolque grande no podría operar, por lo general se realiza con personas o animales. Estos grandes esfuerzos implican un deterioro en la salud por el alto riesgo de lesiones musculares, articulares además de accidentes en la manipulación manual de carga como la caída o tropiezo del trabajador que puede conllevar fracturas y lesiones por aplastamiento. Igualmente, la manipulación manual de carga implica un riesgo para terceros ya que esta puede caer fácilmente y generar lesiones graves.

Según el Consejo Colombiano de Seguridad (CCS) quienes son una asociación técnica de empresarios y profesionales especializados en la prevención de riesgos laborales, la carga máxima que debe transportar una persona es de 25 kg cuando se hace de forma habitual, y 40 kg cuando es esporádico. Además, es necesario que quien manipule la carga tome descansos frecuentes y suficientes. Asimismo, todo el grupo de trabajo debe de tener el equipamiento necesario para realizar esta actividad con una mínima seguridad. El cumplimiento a cabalidad de estos requisitos hace que una operación simple de transporte se vuelva complicada, demorada y costosa.

El transporte de carga a cuenta de la fuerza humana es muy frecuente y muchas veces subestimado dentro de la cotidianidad, un ejemplo de ello es el transporte y distribución de bebidas en lugares en donde los camiones de distribución no pueden ingresar, forzando a que los trabajadores hagan largos recorridos con los productos usando remolques como los que se muestran en las Figuras 1 y 2. Igualmente en la construcción es recurrente la necesidad de movilizar cargas en las instalaciones de una obra y esto implica, o bien usar horas hombre para

mover la carga que puede ser materiales o desechos, o bien puede requerir usar el tiempo de una máquina que simplemente no es está contemplada para tal motivo; cualquiera sea el caso, esto resulta en un desaprovechamiento del recurso. Otro ejemplo del problema es cuando contemplamos lugares donde no se quiere el ruido que un vehículo impulsado por motores a combustión genera. También en grandes plantas donde se requiere el transporte de materiales desde la bodega hasta alguna línea de producción, donde si bien se cuenta con montacargas, se esperaría que este permanezca en la bodega despachando o ingresando insumos y no desplazándose de un lugar de la planta a otro.

Figura 1.

Carretilla para canastas



Nota. Tomado de: Sobre ruedas. (s.f.) Carretilla para canastas de gaseosa

<https://sobreruedas.com.co/producto/carretilla-para-canastas-de-gaseosa/>

Figura 2.

Bicicleta de carga



Nota. Tomado de: Movable Twitter (s.f.) *Pargal bicicarga*. <https://mobile.twitter.com/pargalbicicarga>

La solución actual a esta problemática sienta sus bases en motocarros de carga como el que se observa en la Figura 3, los cuales son vehículos que operan con gasolina y, por tanto, generan emisiones de CO₂ y una alta contaminación auditiva. Además, el aumento constante de los hidrocarburos a nivel mundial, así como el mantenimiento de un motor de combustión interna representan precios en permanente ascenso. En este mismo punto se centra la tendencia de la industria a soluciones innovadoras, que ayuden a reducir costos operativos y abran la puerta a beneficios tributarios por el uso de energías limpias.

Figura 3.

Motocarro de carga



Nota. Tomado de: AYCO (s.f.) *Motocarro 200* <https://ayco.com.co/motocarro-200/>

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Diseñar un remolque para bicicleta impulsado con energía eléctrica para una capacidad de carga utilitaria de trescientos kilogramos

2.2 Objetivos Específicos

Diseñar un vehículo eléctrico tipo remolque, que permita el transporte de cargas de hasta trescientos kilogramos y volúmenes de hasta tres metros cúbicos, con una autonomía de noventa kilómetros.

Diseñar un sistema de control, que administre la entrega de potencia según la condicional de operación.

Desarrollar un manual de operación y plan general de mantenimiento del remolque.

3. Justificación del Problema

La necesidad de prescindir de los combustibles fósiles atrae y exige a la ingeniería el desarrollo de soluciones óptimas para el cumplimiento de las labores mediante máquinas que

dignifiquen la labor humana y animal, que se unan a los esfuerzos de conservación ambiental mediante la transformación de las fuentes de energía en vehículos.

En distintas áreas como la jardinería, la construcción, la industria o las mudanzas, son muy comunes los remolques para transportar material que una sola persona no podría llevar, o le haría falta muchos viajes de ida y vuelta. Es por esto por lo que en la actualidad son comunes, vehículos de tracción humana, animal y motocarros para el transporte de carga, sin embargo, estos transportes presentan varias desventajas.

Las carretillas empujadas por un hombre tienen una capacidad muy limitada en cuanto a la carga, además de que representan un esfuerzo enorme por parte del operario cuando se trata de mover grandes cantidades de material. Por otro lado, el uso de animales para esta tarea cada vez se restringe a medida que aumenta el respeto por la dignidad animal, en Colombia, la ley 319 de 2020 prohíbe el uso de nuevos vehículos de tracción animal y promueve la sustitución gradual de los ya existentes. Además de esto, los remolques motorizados (de combustión interna) representan una gran carga medioambiental y de salud humana debido a su permanente expulsión de contaminantes como el CO₂.

Estos remolques podrían ser reemplazados por un vehículo de transporte eléctrico que sería menos contaminante y con mayor capacidad de transporte de material. Además, este vehículo podría mejorar el transporte de cargas cuyas dimensiones, peso y distancia de traslado no justifiquen el transporte en vehículos de gran capacidad, que estarían siendo subutilizados.

Resulta importante destacar además que, la OMS ha encontrado que existe una relación directa y exponencial entre el nivel de desarrollo de un país y el grado de contaminación acústica que impacta a su población (1999). Emplear un remolque impulsado eléctricamente, permitiría

operar a bajos niveles de ruido y sin emisiones, lo que posibilita su utilización en interiores o en ambientes donde no se desea generar contaminación auditiva.

4. Marco teórico

4.1 Antecedentes

4.1.1 Diseño de un remolque de carga orientado a países en vías de desarrollo (Álvaro Otero, Comillas – Madrid 2018)

Este proyecto surge con una visión muy humana, describiendo las complicaciones que muchas personas en África tienen para acceder a productos de carácter vital como el agua y los alimentos, pues se identifica lo tedioso que resulta para una persona por lo general mujeres, suministrar el agua a sus hogares debido a que las fuentes hídricas a las que tienen acceso se encuentran muy lejos de sus asentamientos y deben cargar grandes bidones de agua sobre sus cabezas.

En base a la dificultad de plantear una solución que implique grandes inversiones, el proyecto se desarrolla buscando economizar, para desarrollar una solución accesible a la población objetivo, es así como el proyecto se va parametrizando en base a generar un remolque de bajo costo de construcción y fácil de ensamblar, pues se espera que el usuario esté en capacidad de ensamblar fácilmente su dispositivo.

El diseñador desarrolla su proyecto fundamentando el proceso de diseño en tres elementos fundamentales, el bastidor, el conjunto articular y el conjunto ensamblado. Para confirmar las capacidades del diseño emplea un análisis de esfuerzos mediante SolidWorks. Es muy importante destacar la sugerencia realizada por el autor, respecto a la identificación de las condiciones de operación, pues fácilmente se dan por hecho condiciones que fácilmente variarán en el uso real y un mal pronóstico de estas, conduciría a un fracaso completo del proyecto.

4.1.2 Diseño y evaluación del tren de potencia de un go-kart eléctrico de competencia

Este proyecto, creado en Colombia por Wilson Andrés Forero, un estudiante de la Universidad de los Andes se enfoca en la gestión detallada de un sistema de potencia eléctrica para un vehículo, utilizando recursos computacionales diversos. A partir de la necesidad de identificar y cumplir con los requisitos, el análisis dinámico del vehículo aborda los objetivos que se logran a través del desarrollo del sistema eléctrico. De esta manera, el proyecto aborda los requisitos y limitaciones del diseño mecánico al seleccionar e implementar adecuadamente los componentes eléctricos.

Aunque este proyecto sigue caminos diferentes, comparte un punto en común y se desarrolla con un enfoque ingenieril para establecer estrategias de análisis e investigación. En él, se recopilan numerosos detalles técnicos que son fundamentales para abordar el desarrollo potencial de este proyecto. Además, la propuesta de utilizar herramientas computacionales para simular el comportamiento del sistema en diversas condiciones de operación resulta invaluable, ya que amplía la perspectiva y permite corregir y optimizar el diseño de manera más efectiva.

4.1.3 Diseño y construcción de un remolque con capacidad para dos motocicletas

El proyecto desarrollado por Jorge López, y presentado a la Escuela Politécnica Nacional desarrolla la construcción de un remolque, que tendría la capacidad de transportar hasta cuatrocientos kilogramos, considerando los diferentes requerimientos mecánicos a los cuales estará sometida la estructura del mismo y buscando optimizar en el diseño para reducir el esfuerzo sobre sus componentes, además de criterios que argumenta como fundamentales en su trabajo, tales como la maniobrabilidad, la funcionalidad, y la seguridad de transporte.

López, permite observar en su trabajo un desarrollo minucioso en el análisis de su estructura desde el estudio de la ciencia de materiales. Desarrolla esto como premisa, para garantizar la seguridad de su diseño. Otro punto para resaltar en este proyecto es la variedad de alternativas que el autor propone para cada uno de sus componentes, y la valiosa resolución que hace a sus opciones, para garantizar la congruencia entre sus requerimientos de diseño y las alternativas seleccionadas.

El proyecto presentado por López resulta enriquecedor por su trabajo investigativo y por el desarrollo metodológico del mismo, para este proyecto resulta muy enriquecedor contar con un trabajo que sienta un importante precedente en el desarrollo del bastidor, componente fundamental para materializar este proyecto.

4.2 Referentes

De un remolque, se espera un vehículo de carga que es complementario a otro en tanto que el segundo maximiza la capacidad del primero, ya sea permitiendo volúmenes mayores de carga,

mantener separada la carga del vehículo remolcador o aumentando la capacidad máxima de carga del primero, claramente sin afectar las capacidades máximas que el fabricante de este estipule en sus manuales de uso. De esta forma se espera que un remolque cuente con un chasis, ruedas y superficie de carga. A continuación, se destacarán las opciones de selección, y los criterios técnicos necesarios para dar con los elementos que satisfagan los requerimientos de diseño.

En el mercado, existen remolques que tienen un sistema independiente de frenado para no descargar su peso y el de la carga por completo en remolcador. Pero lo que no se espera de un remolque, es que tenga un tren motriz capaz de impulsar su carga bajo el control de un remolcador que prescindirá del esfuerzo que implicaría de otra manera llevar esta carga. Así entonces para desarrollar el diseño de este remolque se requiere identificar requerimientos y fundamentar soluciones, bajo el criterio técnico.

4.2.1 Tipos de remolques

En el mercado, la oferta de remolques se divide generalmente en cuatro categorías principales: remolques de vivienda, de carga, soportes sin rueda y especiales. La categoría especial se dedica a satisfacer necesidades específicas de los clientes, por lo tanto, a menudo se desarrollan combinaciones entre las tres categorías anteriores. A continuación, se presentan las características de los principales modelos de remolque.

4.2.1.1 Remolque Industrial. Remolques que se caracterizan por una plataforma apoyada sobre dos omás ejes, con ruedas pequeñas normalmente solidas. Tienen la capacidad de soportar

grandes cargas y presentan una altura baja respecto al piso. Están diseñados para recorrer distancias cortas sobre terrenos no exigentes, como asfalto o concreto.

Figura 4.

Remolque de carga marca DTA.



Nota. Tomado de: Rissa (s.f.) *Remolques industriales* <http://rissa.com.mx/productos/remolques-industriales/index.html>

4.2.1.2 Remolque Agrícola. Estos remolques se construyen con el propósito de realizar tareas específicas, lo cual genera notables diferencias entre ellos dentro de la misma categoría. Están diseñados para ser remolcados por vehículos agrícolas como tractores. En cuanto a sus características generales, suelen ser de gran tamaño, cuentan con ruedas grandes y presentan una altura considerable con respecto al suelo, lo que les permite transitar por terrenos no preparados.

Figura 5.

Remolque agrícola marca ecomaqmx



Nota. Tomado de: Ecomaq (s.f.) *Remolques agrícola e industrial*
<https://www.ecomaq.mx/products/remolque-agricola-e-industrial-12th1-agroxolo>

4.2.13 Remolque eje central. La característica principal de este tipo de remolque es la ubicación de sus ejes cerca del centro de gravedad. Esto permite que solo se transmita una fuerza estática vertical mínima al remolcador, es decir, que la carga descansa principalmente sobre las ruedas. Sin embargo, esta configuración impide que el dispositivo de enganche se desplace verticalmente con respecto al remolque.

Figura 6.

Remolque de eje central serie light de la marca MEILLER



Nota. Tomado de: Meiller (s.f.) *Remolque de eje central*
<https://www.meiller.com/es/productos/remolque-de-eje-central/>

4.2.2 Tipos de cargas

Según el modo de aplicación y el estado de movimiento, las cargas se organizan en clases. Para determinar la naturaleza de estas en un diseño, previamente debe estar definida una configuración general del sistema, siendo esto el cálculo cinemático de los elementos, determinando momentos y fuerzas presentes con su magnitud y dirección.

Con lo anterior resulta claro que abran cargas constantes y otras variables, que entre los diferentes elementos del diseño abran elementos con un comportamiento estacionario y otros dinámicos. Por tanto, diferentes autores consideran que el caso más general para diseños reales son sistemas en movimiento con cargas variables.

El diseño de un remolque eléctrico necesita unas bases teóricas para su correcto desarrollo. Dentro de estas encontramos las teorías clásicas de la resistencia de materiales. Se puede considerar que un sistema de este tipo solo requiera un análisis de cargas estáticas.

Los procedimientos tradicionales de resistencia de materiales sobre elementos sometidos a cargas estáticas ofrecen una muy buena aproximación de los esfuerzos y las deformaciones en un punto evaluado. Durante el desarrollo del diseño mecánico la naturaleza e incidencia de las cargas sobre los elementos se tienen en cuentas mediante factores de carga, algunos de estos son presentados a continuación.

Tabla 1.

Factores de carga

Factores de Carga	
Cargas permanentes(Pe)	Se consideran permanentes las cargas que son inherentes al sistema y por tanto estarán presentes en todo momento durante la vida útil del

Factores de Carga	
	dispositivo, estas pueden ser el peso del bastidor y de los demás componentes.
Carga de Seguridad	Es una carga calculada, superior a la carga máxima de operación con la finalidad de prevenir la falla por sobrecarga, lo cual deriva en una falla catastrófica en el sistema y puede representar riesgos a la integridad de personas.
Cargas estáticas	Cargas que actúan estando en reposo, por tanto, no cambian su posición ni distribución, son estáticas también cargas que varían lentamente es decir tienen un estado inercial despreciable.
Cargas dinámicas	Se refiere a cargas que varían de forma considerable, de forma que su estado inercial resulta considerable. Su magnitud y ubicación cambia.
Cargas de impacto (Ci)	Se considera que sobre una estructura hay una carga de impacto, cuando el tiempo de aplicación es muy corto es decir se da de forma repentina. Estas cargas son potencialmente destructivas sobre los materiales por la gran energía que se libera en los componentes.
Carga puntual	También llamadas cargas concentradas, son cargas que actúan sobre un área muy pequeña o un punto muy concreto, se consideran una simplificación práctica cuando el área de aplicación es suficientemente pequeña, pues en la práctica no se observa en forma estricta esta situación.
Carga distribuida	Se refiere a una carga que actúa sobre un tramo, por tanto, recibe también el nombre de carga repartida. La distribución de esta puede o no, ser uniforme a lo largo del tramo de aplicación y es una representación más adecuada a la forma en que las cargas actúan sobre los cuerpos.

4.2.3 Propiedades de los materiales

Los materiales en ingeniería son un punto fundamental, para satisfacer los parámetros de diseño. Y su selección tiene implicaciones profundas que acompañan el desarrollo de este, pues la comprensión de sus propiedades son factores que determinan la viabilidad de un diseño desde aspectos técnicos, estéticos y financieros.

Los materiales tienen propiedades particulares, de acuerdo con su naturaleza: metales, plásticos, compuestos, maderas, entre otros. Estas propiedades se estudian en detalle y se usan para caracterizar los materiales y facilitar la predicción de su comportamiento bajo diferentes condiciones de operación.

4.2.4 Componentes eléctricos

4.2.4.1 Motor eléctrico. El motor eléctrico es un componente fundamental en el desarrollo de este proyecto, para una correcta selección de este, es importante comprender los requerimientos del diseño para encontrar el ajuste correcto a las diferentes prestaciones que las diferentes clases de motores en el mercado ofrecen. A continuación, se presentan las características más importantes de cada uno de los motores eléctricos:

- **Motor Asíncrono o de inducción:** La característica fundamental de este motor es que su rotor, no gira a la misma velocidad del campo magnético generado por el estator, este tipo de motores comúnmente empleado en vehículos eléctricos, ofrecen un coste reducido, poca vibración además de tener una confiabilidad alta.
- **Motor Síncrono de imanes permanentes:** Estos motores tienen una relación peso-rendimiento muy deseable, en estos motores el rotor gira a una velocidad constante la cual coincide con la del campo magnético generado por el estator. Si bien pueden ser de flujo radial o axial, es este último el que más se emplea por la posibilidad de integrar en la rueda del vehículo. Otra característica importante de estos motores es la facilidad del control.
- **Motor de reluctancia conmutada o variable:** Motores robustos, que entregan un par motor alto a expensas de la potencia. Su precio no es elevado y se consiguen con facilidad en el

mercado. Carece de escobillas e imanes, por otra parte, la corriente pasa por las bobinas generando el campo magnético giratorio que mueve el rotor.

- Sin escobillas de imanes permanentes: Como característica diferenciadora este motor funciona con corriente continua, y es el favorito por los fabricantes en los vehículos híbridos. Posee un conjunto de imanes permanentes ensamblados en el rotor alimentados secuencialmente, por las fases del estator. En contra de estos motores esta su precio elevado y una potencia reducida, que es sopesada por ser libre de mantenimiento, además de ser silenciosos y robustos.

4.2.4.2 Baterías. Las baterías, también llamadas acumuladores eléctricos se valen de celdas químicas que transforman energía química en corriente eléctrica. Este dispositivo es un componente fundamental para el diseño del remolque en tanto que alimentara a todo el sistema de potencia y eléctrico, estableciendo en su correcta selección satisfacer las metas de autonomía, las limitantes de tiempo de recarga y el peso del vehículo. Si bien se presentan en diferentes tecnologías, poseen parámetros de selección fundamentales comunes a todas las opciones en el mercado, estas son:

- Tensión
- Energía
- Constante de carga/descarga
- Intensidad de corriente
- Resistencia
- Efecto memoria
- Capacidad de carga
- Masa

- Carga eléctrica
- Rendimiento

Existen dos tipos de baterías: la de ácido-plomo que dura unas 500 cargas y de litio de iones con una duración de 1000 cargas.

A continuación, se presentan tres tipos de tecnologías de baterías, junto a sus características y una imagen de referencia.

- **Batería Ácido-Plomo:** Muy utilizadas en la industria, es una tecnología con origen en el siglo XIX desde cuando no han sufrido mayores alteraciones es su diseño. Tienen un bajo coste y son muy usadas para satisfacer los requerimientos de arranque, iluminación y suministro para vehículos que integran motores a combustión. Su principal desventaja es su gran peso, el excesivo tiempo de carga y la alta toxicidad de sus materiales.

Figura 7.

Batería de ácido-plomo



Nota. Tomado de: Wikipedia Enciclopedia Libre (s.f.) *Batería de ácido – plomo*
https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_plomo_y_%C3%A1cido

- **Batería de Ion-Litio:** Siendo una tecnología reciente, su composición permite obtener altas energías específicas, alta eficiencia y logra eliminar el efecto memoria que juega muy en contra de antiguas baterías. Además, son libres de mantenimiento y su impacto ambiental es un poco más reducido frente a las antiguas baterías plomo ácido.

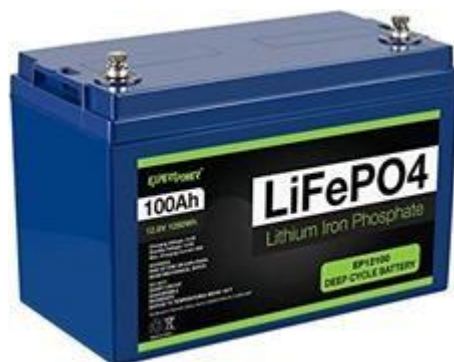
Figura 8.

Batería de Ion-Litio



Nota. Tomado de: Chegg (s.f.) *Bateria Ion Litio* [chegg.com/homework-help/questions-and-answers/p-63-astronaut-bruce-mccandless-ii-took-first-untethered-walk-space-february-7-1984-using-q32287259](https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/p-63-astronaut-bruce-mccandless-ii-took-first-untethered-walk-space-february-7-1984-using-q32287259)

- **Batería Li-Fe-PO₄:** Es una derivación de la tecnología de Ion-Litio, pero en este caso se eliminó el cobalto de sus componentes, lo que resulta en una mayor estabilidad y seguridad. Además, su ciclo de vida es más largo y entregan mayor potencia. Pero esto se ve empañado con su alto coste y una disminución de la densidad energética.

Figura 9.*Batería LiFePO4*

Nota. Tomado de: Electro Daddy (s.f.) baterías Life <https://www.electrodaddy.com/baterias-lifepo4/>

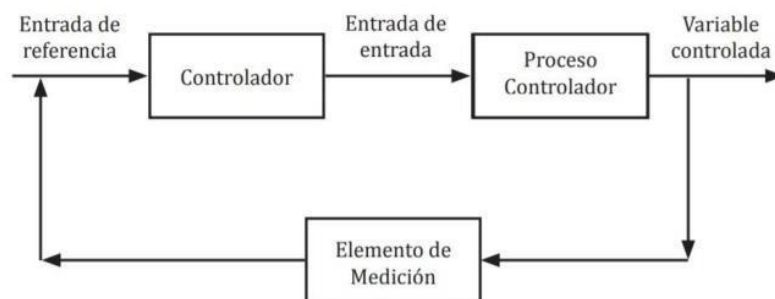
4.2.4.3 Controlador de potencia. Dispositivo que controla el flujo de energía eléctrica que será suministrado desde las baterías para alimentar al o a los motores, con esto se controla la velocidad, aceleración y dirección. El correcto funcionamiento de este dispositivo permitirá un uso cómodo y seguro del remolque, este conectado a un sistema de control entregará lo justo para que el remolque mueva la carga sin sobre exigir al operario que de otro modo no podría poner en marcha la carga.

Por lo general estos dispositivos funcionan como inversores transformando la energía que entrega la batería en forma de corriente continua en la corriente alterna que requieren los motores eléctricos comúnmente utilizados, modificando los valores de frecuencia, amplitud y fase. Esto se logra mediante la conmutación de semiconductores controlados por las señales enviadas por el controlador.

4.2.4.4 Sistema de control. Un sistema de control ideal debe garantizar estabilidad y, adicionalmente, ser lo suficientemente vigoroso para hacer frente a las perturbaciones y errores que se pueden presentar en los modelos. Además de esto, debe ser sumamente eficiente y sencillo de implementar. (...) En el sistema de control cerrado se indica una acción de control realimentada para reducir el error del sistema (Carrillo, 2011).

Figura 10.

Sistema de control en lazo cerrado



Nota. Tomado de: Fondo Editorial (s.f.) *Sistema de control en lazo cerrado*

http://150.185.9.18/fondo_editorial/images/PDF/CUPUL/SISTEMA%20DE%20CONTRO

[L%20%20%201.pdf](http://150.185.9.18/fondo_editorial/images/PDF/CUPUL/SISTEMA%20DE%20CONTRO)

4.2.5 Componentes mecánicos

4.2.5.1 Transmisión de potencia. Dentro de los componentes que componen la transmisión de potencia encontramos los reductores de velocidad que generalmente vienen acoplados a los motores eléctricos.

Los reductores tienen la capacidad de aumentar o disminuir la transmisión de velocidad del eje de salida del motor eléctrico (eje motriz) al eje conducido, esto quiere decir, que el reductor funciona en estos casos como un variador de par y velocidad para los motores eléctricos.

Figura 11.

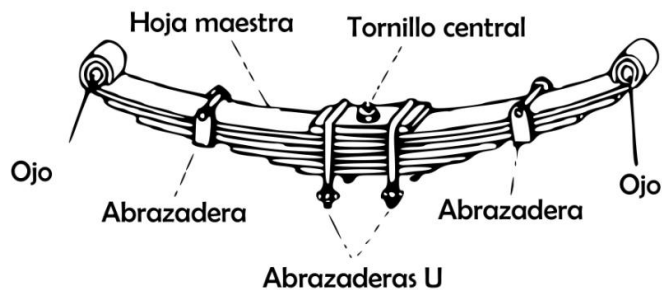
Reductor de motor eléctrico en corte



Nota. Tomado de: Slide Share (s.f.) *Motor reductores y motores de DC*
<https://es.slideshare.net/SarahiEspericuentaGamez/motorreductores-y-motores-de-dc>

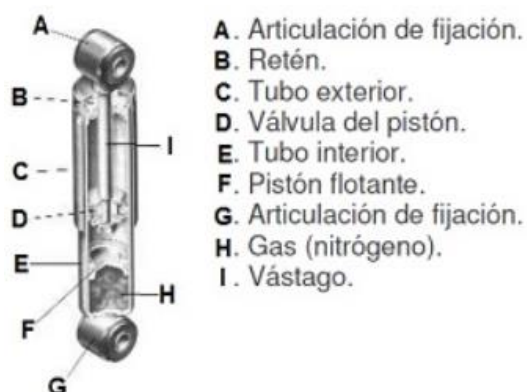
4.2.5.2 Suspensión. La suspensión para los vehículos es esencialmente importante, tanto para el buen manejo del sistema, almacenando y absorbiendo energía, como para la comodidad del sistema para acoplarse a distintas variedades de terrenos.

La suspensión por muelles de hojas (ballesta) se compone por varias hojas de lámina de acero de diferente largo cada una, unidas por un tornillo central tipo capuchino y bridas en U. Su forma (elíptica, semi elíptica, transversal) puede variar de acuerdo con su funcionalidad con el bastidor. Generalmente son usados para cargas pesadas.

Figura 12.*Suspensión por hojas de muelles*

Nota. Tomado de: Grupo TG (s.f.) *Suspensión de ballesta* <https://grupotg.mx/boletin/suspension-de-ballesta>

La suspensión por cilindros funciona por medio de fluidos oleo neumáticos (aceite hidráulica generalmente) que por medio de los pasos calibrados dentro de las cámaras se gradúa el nivel de flexibilidad y rigidez que debe tener el amortiguador.

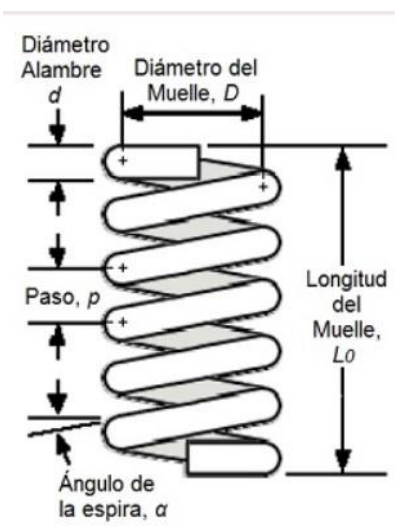
Figura 13.*Suspensión por cilindros*

Nota. Tomado de: Ingemecanica (s.f.) *Suspensión por cilindros* <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.html>

Finalmente, como sistema de suspensión tenemos los resortes de muelle, fabricados generalmente de acero (alambres de acero) su función principal como la de cualquier tipo de suspensión es la de contener la energía causada por los golpes o impactos recibidos por las llantas y disminuir considerablemente esta energía, evitando daños tanto en las llantas como en el bastidor.

Figura 14.

Suspensión por muelles de resorte



Nota. Tomado de: Ingemecanica (s.f.) *Suspensión por muelles de resorte*
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn129.html>

4.2.5.3 Sistema de frenos. Existen varios sistemas de frenos, nos enfocaremos únicamente en los posibles usos que se le pueden dar a un remolque eléctrico para bicicleta, entre estos nos encontramos con tres grupos de frenos: Aro, disco y tambor.

Los frenos de aro se caracterizan por encontrarse fácilmente en el mercado, son muy utilizados para bicicletas tanto de ruta como todoterreno, estos frenos se accionan directamente sobre el aro de las ruedas de las llantas. Entre estos tipos de frenos encontramos que los más usados

son los Caliper, Cantilever y V-Brake, subcategorías de frenos de aro por su disposición en la llanta y componentes internos que hacen que se clasifiquen de diferente manera.

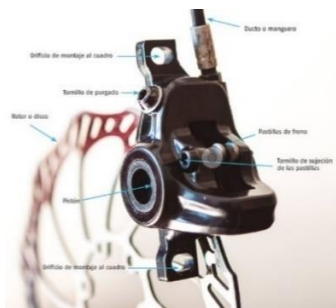
Figura 15.

Freno de Aro Caliper



Nota. Tomado de: <https://sitiofulldeportes.wordpress.com/2016/09/22/los-tipos-de-frenos-para-una-bicicleta/>

Los frenos de disco tienen una característica muy especial, y es que su capacidad para soportar el lodo, las lluvias contra la efectividad de frenado son muy positivas, es por esto por lo que han tenido una gran comercialización para bicicletas todo terreno. Su funcionamiento principalmente consta de un rotor o disco conectado al eje de la rueda por medio de tornillos. Este disco viene con un sistema parecido a los frenos de aro con dos pastillas de freno presionando ambas caras del disco de freno. Los rotores de freno vienen diseñados de diferentes formas geométricas.

Figura 16.*Freno de disco*

Nota. Tomado de: Biciclub (s.f.) *Frenos a disco para bicicletas* <https://biciclub.com/frenos-a-disco-para-bicicletas-todo-lo-que-hay-que-saber-sobre-su-funcionamiento-y-sus-partes/>

Finalmente, tenemos los frenos de tambor, que son los menos usados comercialmente, debido a su potencia de frenado, mantenibilidad y su diseño pesado. Su funcionamiento consta de dos zapatas unidas por una rodaja de barril en un extremo y en el otro con un resorte, estas zapatas se encuentran en el interior del tambor y al accionarse ejercen fuerza sobre él por medio de las bandas de freno.

Figura 17.*Freno de tambor*

Nota. Tomado de: Sitio full deportes (2016) *Tipos de frenos para bicicletas* <https://sitiofulldeportes.wordpress.com/2016/09/22/los-tipos-de-frenos-para-una-bicicleta/>

4.2.5.4 Sistema de enganche

El sistema de acoplamiento entre la bicicleta y el remolque consta de una diversa posibilidades de herramientas y elementos que se pueden usar al momento idear el sistema perfecto para cada remolque. Este sistema, que será estudiado a detalle más adelante, también consta de la posición en la que se vaya a acoplar a la bicicleta, en el mástil, en la silla, en los tornillos que sobresalen de la rueda trasera, entre otros.

Generalmente, estos sistemas vienen con elementos como abrazaderas, pines, tornillos, espárragos, rodajas o ejes de sujeción y se necesita una adecuación extra a la bicicleta para que su funcionamiento sea el adecuado.

5. Proceso de diseño

5.1 Diseño de un remolque eléctrico que transporte cargas de hasta 300 kg y volúmenes de hasta 3 metros cúbicos, con una autonomía de 90 km

Para el proceso de diseño del remolque eléctrico, se parten de ideas planteadas a partir de bocetos o dibujos planteados inicialmente para su estructura, para esto es importante dividir cada uno de los elementos del remolque en secciones importantes y seleccionar cada uno de los componentes de acuerdo con los objetivos planteados, los criterios de diseño y estandarizar de acuerdo con el mercado. También es importante cumplir con las satisfacciones generales para el usuario que vaya a utilizar el remolque eléctrico que son: facilidad de manejo, sistema estructural ligero, estabilidad, seguridad y confort.

De acuerdo con esto el diseño del remolque se dividirá en las siguientes secciones:

- Sistema estructural.
- Sistema de potencia.
- Sistema de suspensión.
- Sistema de frenos.
- Sistema de enganche.

En cada uno de estos sistemas vendrá explicado cada uno de los componentes esenciales en el sistema, la manera en que se van a escoger y la estandarización en el mercado, así como el desglose general del proceso de diseño y los criterios que se escogieron según los objetivos específicos a cumplir.

5.1.1 Sistema estructural

Soportados en sus elementos, la estructura integra a todos los subsistemas que conforman el vehículo. Siendo este el elemento que soportara los esfuerzos mecánicos estáticos y dinámicos consecuentes a la operación, de este elemento se requiere la rigidez y resistencia suficiente para una operación segura y duradera, resistiendo las cargas inducidas en el cargue, descargue y desplazamiento de la carga; la operación crítica para este elemento es cuando se carga la máxima capacidad prevista del remolque es decir 300kg, se requiere también que la estructura ofrezca una superficie de cargue suficiente para poder transportar volúmenes de carga de hasta 3 dispuesto de manera razonable en la superficie de cargue.

En la estructura de un sistema móvil, es objetivo fundamental lograr la resistencia requerida con el menor peso posible manteniendo la moderación en los costos de fabricación, por tanto, el

equilibrio de estos factores (resistencia-costo-peso) resulta indispensable en, la selección de materiales y en la arquitectura base del sistema.

Entendiendo por arquitectura, las diferentes formas en que se puede disponer de los elementos que integran la estructura para cumplir una misma función. Es importante recurrir a la tabla 2 y a la sección de tipos de bastidores de este documento donde se puede apreciar de forma general que existen conceptos generalistas de los que puede ser un remolque para una u otra función. De acuerdo con el planteamiento de este proyecto, hay características necesarias en los conceptos de cada uno, pero muchas de sus características resultan no deseables. Entonces surge la posibilidad de desarrollar un remolque de propósito especial, en que se acoplen las características deseadas de cada uno.

Tabla 2.

Comparaciones de remolques

Remolque Industrial	Remolque Agrícola	Remolque eje Central
Características Deseables		
- Versatilidad en el tipo de cargas que puede transportar.	- Capacidad de transitar largas distancias. - No necesita un terreno muy preparado.	- La carga es soportada principalmente en un solo eje, ideal para remolque de tres ruedas. - Son de bajo peso (principalmente en los de un solo eje, con o sin rueda de apoyo delantera)
Características No Deseables		
- Cortas distancias de desplazamiento. - Requiere de superficies no exigentes.	- Tiene propósitos muy específicos. - Tienen una altura respecto al suelo grande.	- Parte de la carga llega a ser soportada por el remolcador. - El desplazamiento del dispositivo de

Remolque Industrial	Remolque Agrícola	Remolque eje Central
- Superficie de carga muy baja altura.	- Son pesados.	enganche se ve reducido respecto al remolque.
- Su estructura es robusta y pesada.		

Determinadas las características sobresalientes y no deseables en cada tipo, se determina que según los requerimientos, emplear un remolque de eje central permite reducir el peso de la estructura, pero se requiere emplear una rueda de apoyo pues no es deseable que se transmita carga a través del dispositivo de enganche, en tanto a la superficie de carga se busca obtener la versatilidad del remolque industrial para lo cual se empleara la estrategia de diseño enfocando en la facilidad de carga y descarga, referente a esto se establece que las dimensiones del área de carga, deben ser suficientes para cargar una estiba.

Las estibas, son armazones generalmente fabricados en madera que facilitan el empaquetado, transporte y protección de carga. Sus dimensiones varían según la región, sobresaliendo las estandarizadas por la norma ISO 3676 donde se destaca el estándar europeo (1200x800mm) y americano (1200x1000mm) además se describen otros ocho tipos más; para fin de este proyecto se emplea como modelo el estándar americano, para Colombia el estándar se encuentra bajo la norma NTC-ISO 8611 o NTC4680.

Considerando que las ruedas pueden restringir las condiciones operativas del remolque, observando que en el caso de los remolques industriales donde se usan generalmente ruedas pequeñas y sólidas, requieren transitar por terrenos planos y bien preparados. Mientras que en los remolques agrícolas se usan ruedas grandes con cámara de aire que permiten transitar por terrenos dispares y no preparados. Pero para el fin práctico de este diseño en que, si bien no se esperan superficies de acabados impecables, tampoco se considera para uso en terrenos complejos como los que se encontrarían en el sector agrícola y por tanto resultaría sobre dimensionado equipar

ruedas muy grandes para terrenos difíciles, por tanto, se emplea neumáticos de labrado plano o tradicional, con un radio de rin y ancho de cara normalizado.

La arquitectura del sistema estructural depende del sistema que resulte más práctico para cumplir con los propósitos, a continuación, los tipos de bastidores usados habitualmente en la industria se presentan en una tabla con una breve descripción.

Tipos de Bastidores

Bastidor Independiente

En columna “X”:

Consecuente a su nombre, estos bastidores presentan una reducción prominente en la parte central de sus largueros, por lo cual su figura recuerda a una “X” este diseño es contemplado para sistemas donde resulta importante contrarrestar esfuerzos ocasionados por torsión, como los encontraríamos en un vehículo todoterreno.

Perimétrico:

En esta configuración, se emplean largueros separados entre sí por una distancia cercana al ancho total de la superficie de carga, construyendo junto con los travesaños que se ubican en los extremos posterior y anterior un “marco” cercano al perímetro del sistema. Un bastidor de este tipo forma una estructura con buena respuesta a esfuerzos de torsión. Un aspecto positivo de esta geometría es que, al apoyarse en los extremos transversales, se obtiene mayor estabilidad.

Bastidor de Plataforma

En la arquitectura de estas estructuras, se prescinde el uso de largueros y travesaños. En este diseño, debido al proceso de construcción la plataforma es suficientemente resistente para soportar todos los elementos que conforman el sistema. Es un método que reduce significativamente el peso al integrar la plataforma y la estructura, en un solo elemento. Al acoplar

varias chapas metálicas que han sido conformadas en matrices y que luego se integran formando una única pieza. El resultado de este método es una estructura rígida, resistente a todo tipo de esfuerzos. Mas, sin embargo, pese a los factores positivos su fabricación en compleja requiere maquinaria especializada, por lo que no es recomendable económicamente para pequeñas producciones

- Bastidor Tubular

Un bastidor tubular se basa en el desarrollo de un armazón, empleando elementos tubulares de sección circular, redonda u ovalada; soldados entre sí de forma que resulte una estructura ligera y esbelta, parecida a una jaula o reja. Si bien este diseño ofrece significativos ahorros en peso, pueden resultar estructuras muy intrincadas que aumentan significativamente el costo, además de un proceso de diseño y manufactura más complejo.

- Bastidor de largueros Longitudinales

Fácilmente reconocible como el bastidor por excelencia para vehículos de carga, presentan una geometría sencilla, que consta de dos elementos longitudinales que reciben el nombre de largueros y elementos perpendiculares llamados travesaños. Esta estructura recuerda a una escalera o una gran “H” este diseño resulta en un bastidor que destaca por una gran rigidez. Los detalles constructivos de este tipo de bastidor, varía según los propósitos de la estructura, los materiales que se emplearán en su construcción, e incluso la forma en que se unirán las partes de la estructura.

Este diseño, también se usa en algunos vehículos que no son de carga. Ante los veneficios de algunas de las alternativas mencionadas, esta alternativa es cada vez más inusual en diseños diferentes a los vehículos utilitarios como furgones, pick up, camiones y remolques.

De los tipos de bastidores mencionados anteriormente se puede inferir que el bastidor tubular y de plataforma o autoportante, no son alternativas reales, para el desarrollo de esta

propuesta de diseño, en tanto que la complejidad de manufactura no compensa sus atributos. Entendiendo que en el primero, no se ajusta de forma natural al propósito de diseño, pues requiere desarrollarse sobre un volumen que se encierra entre la estructura, y esto no resultaría practica para desarrollar labores de carga. En el caso de plataforma, el desarrollo de las herramientas para desarrollar una única, o incluso pocas unidades del modelo resultaría costoso e impráctico.

Se desarrolla un bastidor perimétrico, compuesto por perfiles rectangulares ISO 50x30x2.5 mm que componen los largueros y perfiles cuadrados ISO 20x20x2 mm para los travesaños. La disposición de los elementos se determina para facilitar el proceso de manufactura, reducir el peso final del bastidor por el material empleado en su construcción y la reducción de piezas necesarias para acoplar los demás elementos del sistema, como la suspensión.

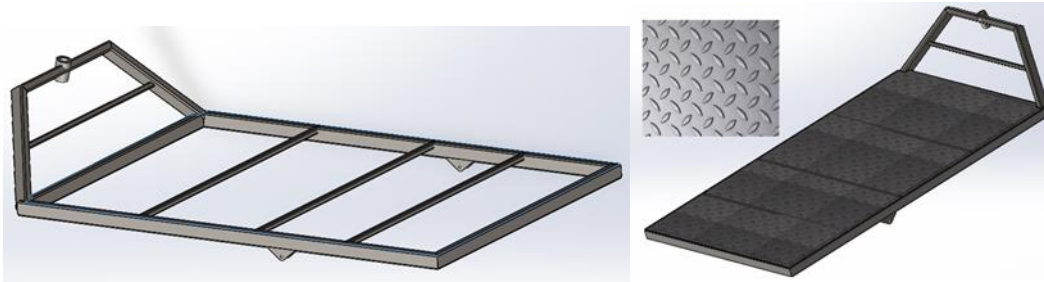
Figura 18.

Referencia de perfiles en COLMENA S.A

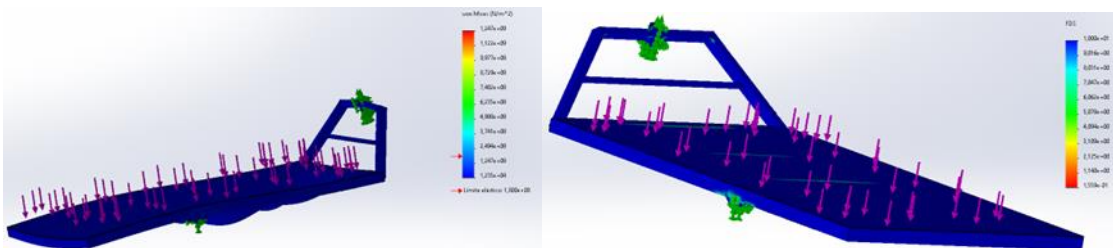
CARACTERÍSTICAS Y DENOMINACIÓN				PROPIEDADES ESTÁTICAS									
Referencia	Espesor pared	PESO	ÁREA	EJE X - X			EJE Y - Y			TORSIÓN			
				Momento inercia	Módulo elástico	Radio de giro	Momento inercia	Módulo elástico	Radio de Giro	Módulo Plástico		Momento inercia	Módulo elástico
mm	e	Negro	A	I _x	S _x	r _x	I _y	S _y	r _y	Z _x	Z _y	J	B
	mm	Kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³
50 x 13	1,50	1,47	1,73	4,54	1,81	1,61	0,50	0,77	0,54	2,46	0,90	1,60	1,45
	1,50	1,87	2,24	7,54	3,01	1,83	3,42	2,28	1,23	3,70	2,60	7,60	3,83
50 x 30	2,00	2,45	2,93	9,54	3,81	1,80	4,29	2,86	1,21	4,74	3,33	9,77	4,84
	2,50	3,02	3,59	11,30	4,52	1,77	5,05	3,37	1,19	5,70	3,98	11,74	5,72

Nota. Tomado de: COLMENA SA “Ficha técnica perfil estructural rectangular negro y galvanizado” documento de libre consulta, que reposa en la página web

El desarrollar un modelo perimétrico permite facilitar la unión entre los amortiguadores, la tijera y el chasis. De igual forma, se logra desarrollar un diseño con menor altura al piso que conlleva un centro de masa bajo y por ende mayor estabilidad. Lo que, en conjunto con las propiedades propias del bastidor perimétrico, traerá características deseadas al sistema.

Figura 19.*Perfil del chasis*

La superficie de carga se fabrica con lamina de aluminio de superficie diamantada de 2.5mm de espesor.

Figura 20.*Esfuerzos en el chasis*

La simulación del modelo, bajo una carga de 400 kg permite observar que los valores de tensiones por Von-Mises se encuentran lejos de los límites de plasticidad de los elementos, de $3.25 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. De igual forma, se observa un factor de seguridad muy alto (mayor a 10) en la mayoría de los elementos, pero no procede un proceso de rediseño porque se requiere una estructura rígida.

5.1.2 Sistema de potencia

Para nuestro sistema de potencia, junto al sistema de control, el sistema motriz y las baterías, serán los responsables de ejercer la fuerza necesaria para mover y transportar la carga del remolque de manera eléctrica, esto a diferencia de los demás remolques comerciales para bicicleta, será el pilar diferenciador.

Sistema motriz

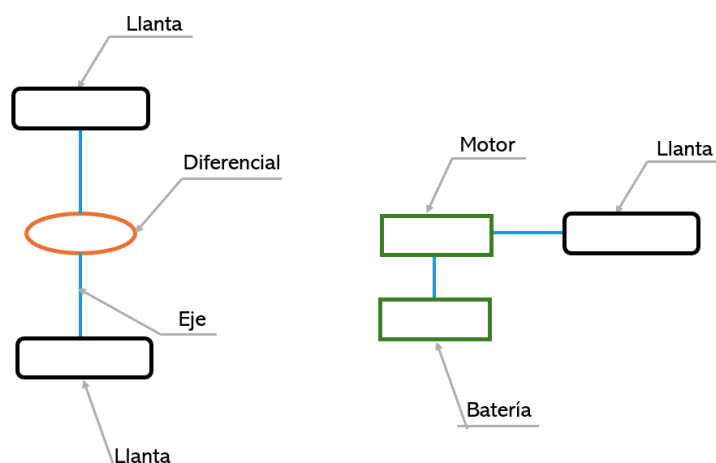
Para el sistema motriz, después de un estudio exhaustivo, se dispone de tres alternativas para el sistema de transmisión de potencia.

Alternativa uno

La primera alternativa consta de un motor eléctrico centrado en la parte delantera del chasis y unido a la llanta delantera del remolque, conectado a su vez con la batería. Junto a esta alternativa, se tiene también un mecanismo diferencial en el eje, como se muestra en la figura. Esto se hace con el fin de facilitar las curvas del remolque y tener una buena estabilidad al girar.

Figura 21.

Acoplamiento alternativa uno



En esta alternativa se escoge un motor eléctrico de tipo axial para motocicleta (Scooter Hub) sin escobillas de 3000 [W] que cumple con los requerimientos del remolque eléctrico.

Figura 22.

Motor alternativa uno



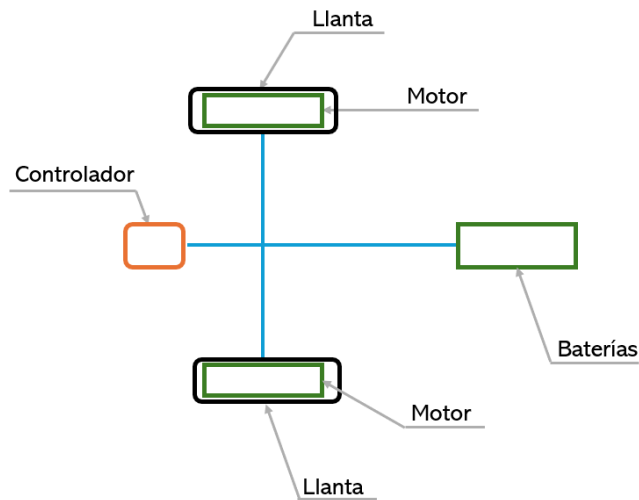
Nota. Tomado de: Mercado Libre (s.f.) Scooter hub motor eléctrico

<https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1171058402-3000w-scooter-hub-motor-electrico-fuerte-potencia-impermeabl->

[_JM#position=3&search_layout=stack&type=item&tracking_id=735994cc-9172-4d44-8ea1-7a2a162ec434](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1171058402-3000w-scooter-hub-motor-electrico-fuerte-potencia-impermeabl-JM#position=3&search_layout=stack&type=item&tracking_id=735994cc-9172-4d44-8ea1-7a2a162ec434)

Alternativa dos

La siguiente opción de sistema motriz es un sistema bimotor en la parte trasera del remolque, con un motor en cada rueda trasera, anclados a un par de baterías para cada motor y a su vez conectados a un controlador para poder variar velocidad y potencia de manera precisa, es por esto por lo que en esta alternativa no es necesario ningún tipo de diferencial en los ejes de las ruedas, por lo que las llantas pueden estar conectadas de manera independiente en el chasis.

Figura 23.*Acoplamiento alternativa dos*

Para esta alternativa, el tipo de motor que se escoge es el motor de cubo eléctrico (Brushless gearless CC Hub motor) para motocicleta de 3000 [W] que cumple con los requerimientos del remolque eléctrico.

Figura 24.*Motor alternativa dos*

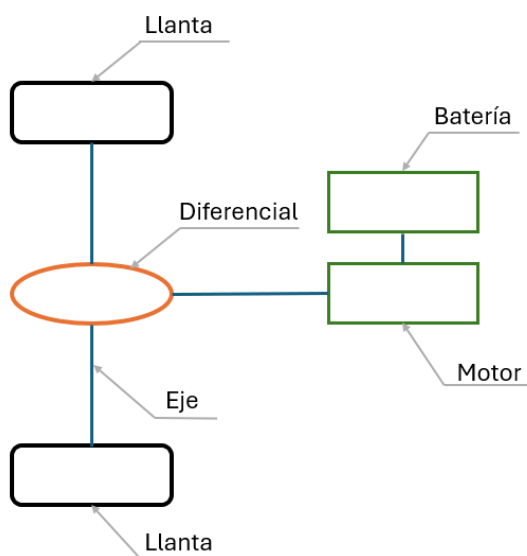
Nota. Tomado de: mazon (s.f.) *Mococileta controlador sinoidal*

[https://www.amazon.com.mx/motocicleta-controlador-sinusoidal-bicicletas-](https://www.amazon.com.mx/motocicleta-controlador-sinusoidal-bicicletas-motocicletas/dp/B0CQMRXHHM?th=1)

[motocicletas/dp/B0CQMRXHHM?th=1](https://www.amazon.com.mx/motocicleta-controlador-sinusoidal-bicicletas-motocicletas/dp/B0CQMRXHHM?th=1)

Alternativa tres

La última alternativa para el sistema motriz es un sistema acoplado entre el diferencial y el motor, es un sistema que integra la potencia en las llantas traseras. El motor va acoplado al diferencial y por medio del entrega la potencia al eje, a su vez el sistema diferencial otorga la estabilidad al girar el remolque.

Figura 25.*Acoplamiento alternativa tres*

Para el estudio de esta alternativa, el sistema de potencia que se escoge es un sistema con un motor acoplado al diferencial, como lo es el caso de los motores eléctricos acoplados a los Go-Kart, en este caso se escoge un motor de 3000W@3500RPM, el cual cumple con los requerimientos para el remolque eléctrico.

Figura 26.

Motor alternativa tres



Nota. Tomado de: Aliexpress (s.f.) *Motor* <https://es.aliexpress.com/i/1005005301493838.html>

Selección del sistema de potencia

Después del análisis de las tres alternativas, se procede a realizar la selección del sistema de potencia analizando los puntos clave para el sistema motriz, cabe aclarar que, para este punto de selección, no se revisará los parámetros de velocidad y par motor, ya que, en cada alternativa, los motores seleccionados cumplen con los requisitos mecánicos del remolque eléctrico.

Para iniciar con la parametrización de las alternativas, es necesario tener en cuenta la siguiente puntuación:

Figura 27.

Rango de puntuación

Estimación	Rango
Deficiente	de 0 a 1,25
Aceptable	de 1,25 a 2,5
Bueno	de 2,5 a 3,7
Excelente	de 3,7 a 5

Los parámetros para puntuar el sistema de potencia son:

- Complejidad: Nivel de dificultad de acoplamiento en el sistema y accesorios y complementos necesarios para el sistema.
- Economía: Accesibilidad en el mercado, disponibilidad y costo de fabricación.
- Dimensión y peso: Adaptabilidad a los criterios de diseño y peso del sistema.
- Mantenibilidad: Factor de confiabilidad y durabilidad.

A continuación, se muestra cada uno de estos factores con su evaluación en cada una de las alternativas presentadas anteriormente.

Figura 28.

Puntaje de las alternativas motor

Parametros	Alternativa 1	Puntaje	Alternativa 2	Puntaje	Alternativa 3	Puntaje
Complejidad	Sistema alterno con dos acoplamientos diferentes, diseño de eje con diferencial simple	3,5	Con facil acoplamiento al sistema, todos sus accesorios vienen acoplados para un ensamblaje sencillo	5	sistema acoplado con todos sus accesorios, por tanto tiene facilidad de acoplamiento, diseño de eje con diferencial en doble sentido	4,5
Economía	Buen alcance en el mercado, con disponibilidad cada uno de sus accesorios	4	Viene en un auge en el mercado, con facil acceso a precios y disponibilidad en la fabricacion	4,5	Alcance bueno en el mercado, con disposicion de accesibilidad y fabricacion	3,5
Dimension y peso	Robusto con un peso distribuido y aproximado de 20 Kg	4	Con gran adaptabilidad al sistema, peso distribuido en las llantas traseras de aproximadamente 5 kg	4,5	Sistema robusto con un peso de 30 Kg aproximadamente en el eje trasero del remolque	4
Mantenibilidad	Alta confiabilidad, con una mantenibilidad alta y mantenimientos a bajo costo	4,5	Alta confiabilidad, con una buena mantenibilidad pero con prevenciones en el mantenimiento del controlador	4	Buena confiabilidad de mantenibilidad, con tiempos largos entre mantenimientos	5

Nota: Los valores de las diferentes alternativas fueron asignados por los autores

Seguido a esto, se tiene el puntaje de cada una de las alternativas, junto con el nivel ponderado de cada parámetro según la importancia dentro del sistema de potencia y los criterios de diseño para el remolque eléctrico, esto con el fin de elegir la mejor alternativa posible.

Figura 29.

Ponderado de las alternativas motor

Parametros/Ponderación		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		Puntaje	Ponderado	Puntaje	Ponderado	Puntaje	Ponderado
Complejidad	25%	3,5	0,875	5	1,25	4,5	1,125
Economía	30%	4	1,2	4,5	1,35	3,5	1,05
Dimensión y peso	35%	4	1,4	4,5	1,575	4	1,4
Mantenibilidad	10%	4,5	0,45	4	0,4	5	0,5
Puntaje total	100%	16	3,925	18	4,575	17	4,075

Nota: Los valores de las diferentes alternativas fueron asignados por los autores

Finalmente, se obtiene como resultado que la mejor alternativa es la numero dos para el sistema motriz del remolque eléctrico.

Cabe aclarar que las conclusiones a esta propuesta y los criterios de diseño fueron escogidos de acuerdo con el tipo de bastidor, peso aproximado a cargar y el criterio de un remolque de tres ruedas, así mismo de acuerdo con los cálculos para la potencia necesaria del motor, que se encuentran consignados en el apéndice D de este documento.

En conclusión, el sistema motriz tendrá las siguientes características:

- Numero de motores: 2
- Tipo de motor: Motor de Cubo DC sin escobillas
- Potencia del motor: 3000 [W]
- Velocidad Nominal: 900 RPM

- Reductor de velocidad 9:1
- Peso de cada motor: 2 [Kg]
- Peso aproximado del controlador: 2 [Kg]
- Tamaño del motor: 14X3,5 [Pulgadas]
- Par motor: 350 [N*m]
- Velocidad máxima: 90 [km/h]

Sistema de energía

De acuerdo con la alternativa escogida, el sistema de energía constara de dos puntos: la batería y controlador. La batería que se usará según los referentes planteados será la batería tipo Ion-Litio, ya que es la mejor tecnología actualmente para los motores eléctricos. Dependiendo con el tipo de controlador se escogerá que tipo de voltaje tendrá la respectiva batería, por ejemplo, para un controlador de modelo EM-150 tiene un voltaje de 48V a 72V, con una corriente CC máxima de 150A, esto dependiendo de la autonomía máxima que se vaya a implementar en kilómetros, en este caso, una batería de Ion-Litio de 72V, un controlador EM-150 y con un motor QS, la autonomía del remolque sería de 150 [Km] aproximadamente, sin ayuda del motor por medio del pedaleo. Es importante aclarar, que la autonomía también dependerá de factores como la calidad de las vías, estilo de conducción y el peso que tendrá el remolque.

Figura 30.

Controlador modelo EM-150



Nota. Tomado de: Aliexpress (s.f.) *Controlador modelo EM-150*

<https://es.aliexpress.com/i/4000801183232.html>

5.1.3 Sistema de suspensión

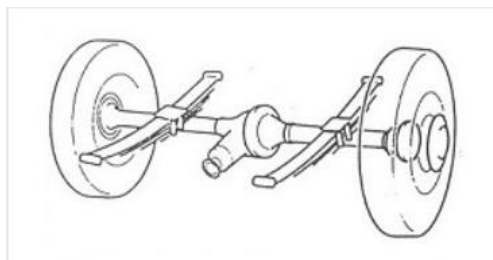
Después de realizar un estudio detallado de las posibles alternativas de los sistemas de suspensión y con la información plasmada en los antecedentes, así como del sistema estructural escogido, se presentan las siguientes propuestas de suspensión:

Alternativa uno

La primera alternativa consta de un sistema de suspensión tipo ballesta en hojas de muelle. Esta suspensión consta de una hojas de muelle acopladas al tren trasero del remolque. Son dos muelles de hoja ubicados a cada lado de las ruedas por las partes internas del bastidor como se muestra en la figura que se presenta a continuación.

Figura 31.

Montaje alternativa uno



Nota. Tomado de: Ingemecanica (s.f.) *Montaje*

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.html>

Alternativa dos

La siguiente alternativa es de un sistema de resortes helicoidales de muelle. Consta de dos resortes de muelle fijados en el bastidor del remolque y acoplados al eje de las llantas. La ubicación de cada uno de los resortes debe ser aproximadamente a lo que se encuentra en la siguiente figura.

Figura 32.

Montaje alternativa dos



Nota. Tomado de: Taller actual (s.f.) *La suspensión la amortiguación y sus componentes*

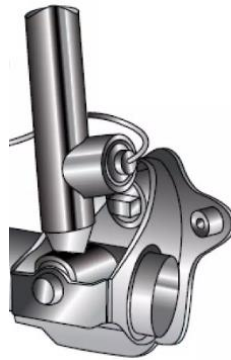
<https://talleractual.com/tecnica/suspension-y-direccion/1754-la-suspension-la-amortiguacion-y-sus-componentes>

Alternativa tres

La última alternativa es de suspensión por cilindros. Consta de dos cilindros ubicados a cada lado de las llantas acoplados entre el bastidor y el eje de cada llanta como se muestra en la figura presentada a continuación.

Figura 33.

Montaje alternativa tres



Nota. Tomado de: Slide Share (s.f.) *Montaje* <https://es.slideshare.net/Fran1176/cfs-gim10-11865990>

Selección del sistema de suspensión

Después del análisis de las tres alternativas, se realiza el proceso de selección de la mejor alternativa analizando diferentes puntos clave para el remolque eléctrico.

Para iniciar con el proceso de diseño, es importante parametrizar las alternativas, para esto, es importante tener en cuenta la siguiente puntuación.

Figura 34.*Rango de calificación*

Estimación	Rango
Deficiente	de 0 a 2,5
Aceptable	de 2,5 a 5
Bueno	de 5 a 7,5
Excelente	de 7,5 a 10

Los criterios a seleccionar el sistema de suspensión son:

- Complejidad: nivel de dificultad de acoplamiento en el sistema.
- Economía: nivel de costo de fabricación y accesibilidad en el mercado.
- Dimensión: capacidad de adaptarse a los criterios de diseño y peso del sistema.
- Mantenibilidad: Factor de confiabilidad y durabilidad.

A continuación, se muestra cada uno de estos factores con su evaluación en cada una de las alternativas presentadas anteriormente.

Figura 35.*Puntaje de las alternativas suspensión*

Parametros	Alternativa 1	Puntaje	Alternativa 2	Puntaje	Alternativa 3	Puntaje
Complejidad	Sistema robusto con complicaciones en el acoplamiento	5	Sistema ligero y compacto con facilidad de acoplamiento	8	Ligero, compacto, con facil acoplamiento pero con restricciones en las fuerzas que puede soportar	9
Economía	Con gran alcance en el mercado y facilidad en la fabricación de las hojas de muelle	6	Gran apogeo en el mercado, con un mediano costo de fabricación	9	Con disponibilidad en el mercado y con bajo costo de fabricación	10
Dimension	Muy robusto y espacioso, con grandes implicaciones en las dimensiones finales del remolque	7	Sistema con la capacidad de adaptarse a cambios y con buena adaptabilidad a los criterios de diseño del remolque	10	Sistema compacto, ligero y flexible a los cambios en la dimensiones del remolque	6
Mantenibilidad	Alta confiabilidad, con tiempos entre mantenimientos largo	10	Buena confiabilidad, con tiempos entre mantenimientos medio	8	Confiabilidad media, con bajos tiempos entre mantenimientos	8

Nota: Los valores de las diferentes alternativas fueron asignados por los autores

Finalmente se presenta la tabla con los parámetros y su puntaje, junto con el nivel de importancia (ponderación) frente a las necesidades del diseño del remolque eléctrico, con el fin de elegir la mejor alternativa.

Figura 36.*Ponderado de las alternativas suspensión*

Parametros/Ponderación		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		Puntaje	Ponderado	Puntaje	Ponderado	Puntaje	Ponderado
Complejidad	25%	5	1,25	8	2	9	2,25
Economía	30%	6	1,8	9	2,7	10	3
Dimensión	35%	7	2,45	10	3,5	6	2,1
Mantenibilidad	10%	10	1	8	0,8	8	0,8
Puntaje total	100%	28	6,5	35	9	33	8,15

Nota: La ponderación de las diferentes alternativas fueron asignados por los autores

Según los resultados de la ponderación, se escoge la mejor alternativa que es la número dos como sistema de suspensión para el remolque eléctrico.

Es importante aclarar que las conclusiones a esta propuesta y a los criterios de diseños fueron escogidos de acuerdo con el tipo de bastidor escogido, junto al criterio de diseño de un remolque de tres ruedas, ya que de esta manera se garantiza mayor estabilidad y seguridad en las cargas presentes en el sistema.

En conclusión, cada resorte a compresión de la suspensión del remolque eléctrico tendrá las siguientes características:

- Numero de resortes: 2.
- Resorte encuadrado y amolado, fabricado en ASTM 232 y granallado.
- Cumple con un ciclo de vida infinito y un factor de seguridad $N = 1,907$.
- Diámetro del alambre del resorte $d = 7,5 [mm]$.
- Diámetro de la espira del muelle $D = 90 [mm]$.
- Numero de espiras activas del muelle $N_a = 10$.
- Angulo del resorte $\lambda = 4,25^\circ$.
- Constante del resorte $K = 4,1883 \left[\frac{Nt}{mm} \right]$.
- Altura total del resorte $h_l = 225 [mm]$.

Los cálculos y criterios de diseño para el sistema de suspensión se encuentran presentes en el apéndice A y el diseño del sistema completo se encuentra en el desarrollo del documento.

La implementación de sistemas independientes para cada rueda trasera resulta en mayor estabilidad del remolque, consecuentemente seguridad para el usuario y la carga. El sistema de suspensión consta de tres elementos; soportes que unen los elementos al bastidor, la tijera y un amortiguador, además de otros elementos de acople.

Figura 39.*Suspensión en el comercio*

Nota. Tomado de: Amazon (s.f.) *Suspensión en el comercio*

[https://www.amazon.com/stores/page/03351746-2E8C-4AFB-B92A-](https://www.amazon.com/stores/page/03351746-2E8C-4AFB-B92A-C61B6DBADAA1?ingress=0&visitId=b0abcb20-af15-4b96-b8ed-4ebcbd57eae3)

[C61B6DBADAA1?ingress=0&visitId=b0abcb20-af15-4b96-b8ed-4ebcbd57eae3](https://www.amazon.com/stores/page/03351746-2E8C-4AFB-B92A-C61B6DBADAA1?ingress=0&visitId=b0abcb20-af15-4b96-b8ed-4ebcbd57eae3)

La tijera se sostiene acoplada al soporte de la estructura mediante un buje con cavidad interior para eje de 12mm, usado comúnmente en cuatrimotos, Go-karts, y maquinaria agrícola.

Figura 40.*Buje de tijera*

Nota. Tomado de: Mercado libre (s.f.) *Buje de tijera* [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1378062043-casquillos-de-metal-para-brazos-giratorios-traseros-de-12-mm-)

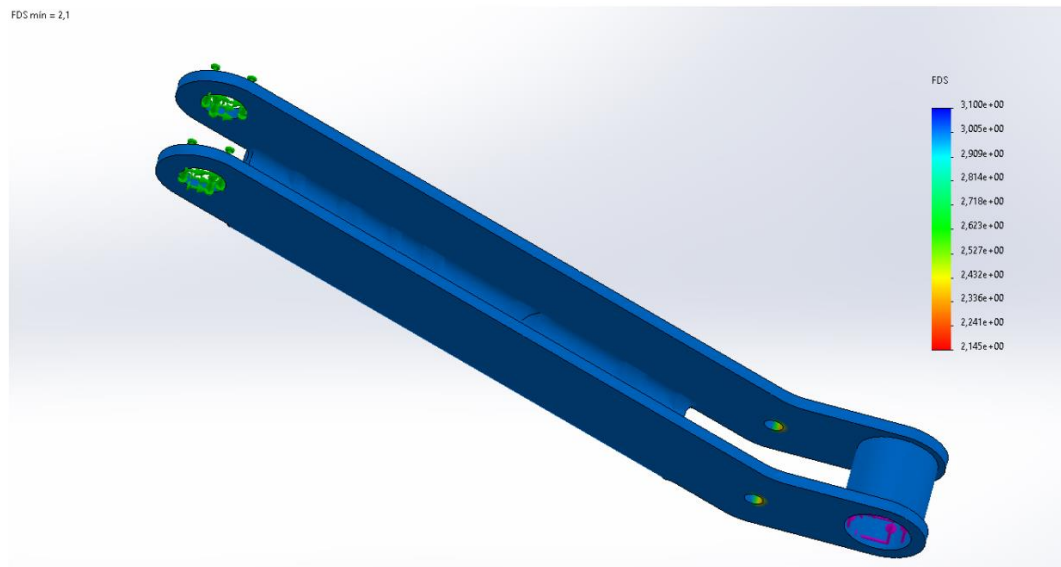
[_JM#position=44&search_layout=stack&type=item&tracking_id=f1fbd6f3-32b8-46d7-9bb7-](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1378062043-casquillos-de-metal-para-brazos-giratorios-traseros-de-12-mm-)

[570054934a20](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1378062043-casquillos-de-metal-para-brazos-giratorios-traseros-de-12-mm-)

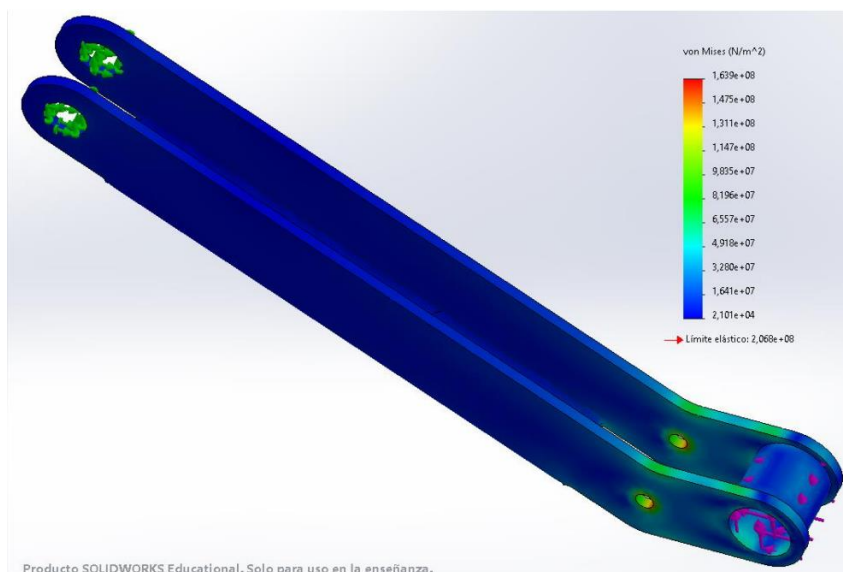
En los apéndices, los ejes de tijera y de acople de las ruedas. El amortiguador se acopla mediante el sistema incluido en el producto (pasador de 8mm).

Figura 41.

Análisis de factor de seguridad



El análisis del modelo CAD de la tijera, permite identificar un factor de seguridad suficientemente (FDS=2.1 como mínimo simulando un sistema sobrecargado fuera de especificaciones) se considera que el elemento es resistente, y por los análisis de deformación, es considerado suficientemente rígido.

Figura 42.*Análisis de esfuerzos*

5.1.4 Sistema de frenos

El desarrollo de una unidad de freno específica para este diseño no es práctico porque el mercado ofrece soluciones desarrolladas por compañías especializadas en sistemas de frenado, los componentes en su geometría no interfieren con el diseño, más que satisfacer los puntos de sujeción de medida estándar las compañías emplean en sus diseños.

A partir de la información desarrollada anteriormente, se establece que un freno de disco resulta en la solución más práctica como sistema de freno, esto porque su menor peso, respecto a sistemas como el freno de campana y su mayor efectividad contra frenos de herradura, resultan características óptimas para el diseño. Además, para tener en cuenta que, por la ubicación de los motores en las ruedas traseras, resultaría imposible ubicar un freno de campana.

El uso de elementos de freno de compañías garantiza la seguridad en un sistema crítico para la seguridad operativa del remolque y garantiza la mantenibilidad del sistema, pues sus repuestos se encontrarán disponibles en el mercado y no como elementos de producción única o bajo pedido, lo que resulta en sobrecostes innecesarios.

Para seleccionar la unidad de frenado, se desarrolla analíticamente los requerimientos de acuerdo con el análisis cinético del sistema.

Considerando que la energía cinética máxima del remolque será cuando este se encuentre en condición de sobrecarga y a máxima velocidad, de acuerdo con

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (1)$$

donde $m = 450kg$, $v = 8.4 \frac{m}{s}$

Entonces $E_k = 15876J$, para detener el remolque es necesario entonces una aceleración dada por:

$$V_f = V_i + a \cdot t \quad (2)$$

Donde t es distancia de frenado $t = 2s$

entonces: $a = -4.165 \frac{m}{s^2}$

Calculando la fuerza de frenado mediante:

$$F = m \cdot a \quad (3)$$

Entonces $F = -1874.25 N$

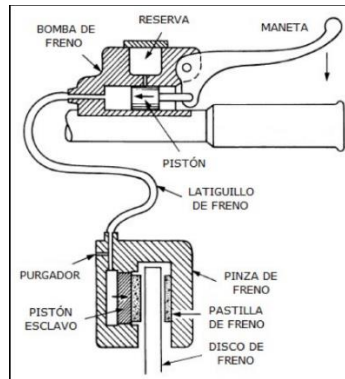
La distancia de frenado es de 8.3 m

Para establecer el dimensionamiento del sistema de freno se propone el desarrollo analítico propuesto por Autodesk, empleado en su software “Inventor” para el cálculo básico de frenos.

Estas ecuaciones son de público conocimiento y no son propiedad intelectual de Autodesk, es una recopilación de libre uso.

Figura 43.

Representación gráfica del freno



Nota. Tomado de: EPS formacion (s.f.) *Como funciona sistema freno hidráulico*
<https://epsformacion.com/blog/como-funciona-sistema-freno-hidraulico/>

Se estima que una persona puede ejercer una fuerza de 27 Newtons al cerrar su mano, sin incomodidad y por eso se usará esa mitad como fuerza aplicada sobre la maneta en la activación del freno, también se tendrá en cuenta que pistón de la bomba de freno (activada al cerrar la mano) tiene un diámetro de 18mm. Con lo que una persona fácilmente puede cargar el sistema hidráulico con presiones superiores a los 300 PSI.

Figura 44.*Cálculos de frenado*

<p>Calculos Dinamicos</p> $v_f = v_i + a \cdot t$ $x_f - x_i = v_i \cdot t + 1 / 2 \cdot a \cdot t^2$ $F_{frenado} = m \cdot a$ $E_k = 1 / 2 \cdot m \cdot v_i^2$ $t = 2 \text{ [s]} \text{ Valor supuesto}$ $x_i = 0 \text{ [m]}$ $v_i = 8,33 \text{ [m/s]} \text{ Valor superior a limite operativo}$ $v_f = 0 \text{ [m/s]}$ $m = 450 \text{ [kg]} \text{ Valor maxima carga}$ $P = \frac{E_k}{t}$ $P_f = \frac{P}{2} \cdot 1,2 \text{ Potencia requerida en cada freno, teniendo en cuenta}$ <p>un factor de seguridad 1.2 y que la carga se distribuye uniformemente en las dos ruedas traseras</p> $\omega = \frac{v_i}{r}$ $r = 0,254 \text{ [m]} \text{ Radio de la rueda de 20 in}$ $T_{or} = \frac{P_f}{\omega} \text{ Torque que debe generar el freno}$	<p>calculos freno</p> $T_{or} = 0,5 \cdot D_e \cdot F_r$ $D_e = 2 / 3 \cdot \left[\frac{D^3 - D_o^3}{D^2 - D_o^2} \right] \text{ Diametro equivalente}$ $D_o = 0,1 \text{ Diametro interno}$ $D = 0,19 \text{ Diametro externo}$ $F_r = \mu \cdot F_n \text{ Fuerza Rozamiento}$ $\mu = 0,6$ <p>Coefficiente de friccion acero-asbesto trenzado en seco (Alfredo Parada)</p> $F_n = F_{in} \text{ Fuerza normal que apieta el disco}$ $P_{res} = \frac{F_n}{2 \cdot b \cdot L} \text{ Presion sobre el disco}$ <p>Dimesniones pastilla de freno</p> $b = 0,04$ $L = 0,08$
---	--

Usando los valores de un sistema de freno disponible en el mercado se observa que el sistema puede satisfacer los requerimientos del sistema.

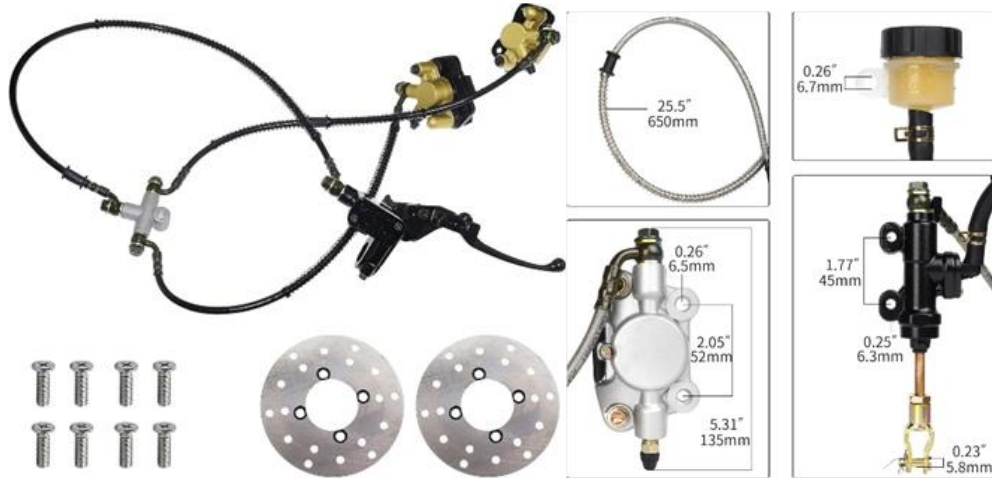
Figura 45.*Datos del freno*

$a = -4,165 \text{ [m/s}^2\text{]}$	$b = 0,05 \text{ [m]}$	$D = 0,19 \text{ [m]}$	$D_e = 0,1497 \text{ [m]}$	$D_o = 0,1 \text{ [m]}$	$E_k = 15613 \text{ [J]}$
$F_{frenado} = -1874 \text{ [N]}$	$F_{in} = 3181 \text{ [N]}$	$F_n = 3181 \text{ [N]}$	$F_r = 1909 \text{ [N]}$	$L = 0,08 \text{ [m]}$	$m = 450 \text{ [kg]}$
$\mu = 0,6$	$\omega = 32,8 \text{ [Rad/s]}$	$P = 7806 \text{ [N/m}^2\text{]}$	$P_f = 4684 \text{ [N/m}^2\text{]}$	$P_{res} = 397630 \text{ [N/m}^2\text{]}$	$r = 0,254 \text{ [m]}$
$t = 2 \text{ [s]}$	$T_{or} = 142,8 \text{ [N/m]}$	$v_f = 0 \text{ [m/s]}$	$v_i = 8,33 \text{ [m/s]}$	$x_f = 8,33 \text{ [m]}$	$x_i = 0 \text{ [m]}$

El sistema adoptado se toma de un vehículo tipo Buggy el cual tiene una masa de 600 kg y alcanza velocidades de hasta 80 km/h.

Figura 46.

Sistema de frenos en el mercado



Nota. Tomado de: Mercado Libre (s.f.) *Kit freno disco* https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-962005521-kit-freno-de-disco-atv-125cc-250cc-go-kart-buggy-motocicleta-_JM

Figura 47.

Pastilla de frenos en el mercado



Nota. Tomado de: Mercado libre (s.f.) *Kit freno disco* https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-962005521-kit-freno-de-disco-atv-125cc-250cc-go-kart-buggy-motocicleta-_JM

5.1.5 Sistema de enganche

El objetivo principal de este sistema es servir de acople entre la bicicleta y el remolque eléctrico, asegurando a su vez movilidad, estabilidad y soporte. Por esta razón, el sistema de enganche debe tener libertad de movimientos de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, asimismo, tener la resistencia a la tracción suficiente para aguantar las fuerzas que rigen el movimiento del remolque y la cicla y que no se rompa el enganche durante el movimiento.

Principalmente se escoge el lugar de acoplamiento en la cicla, el cual es el caño del sillín de la bicicleta, como se muestra a continuación, estos caños normalmente tienen un promedio de diámetro exterior de 3 centímetros.

Figura 48.

Caño sillín de Bicicleta

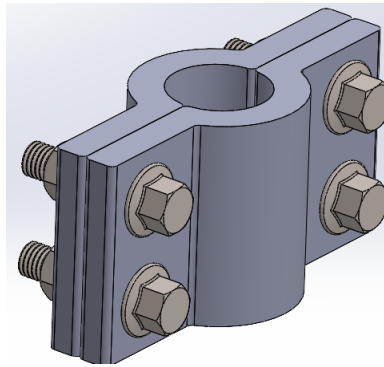


Nota. Tomado de: Walmart (s.f.) *Bicicleta asiento poste aluminio aleacia*
<https://www.walmart.com.mx/ip/ciclismo/30-4x450mm-bicicleta-asiento-poste-aluminio-aleacia-n-asiento-tubo-tono-plata-unique-bargains-tija-sillan/00074315123050>

Para hacer este acoplamiento, es necesario una lámina de acero que venga acoplada tanto a la unión del sistema de enganche, como a la bicicleta, por tanto, el diseño de esta lamina viene de la siguiente manera.

Figura 49.

Lámina de unión

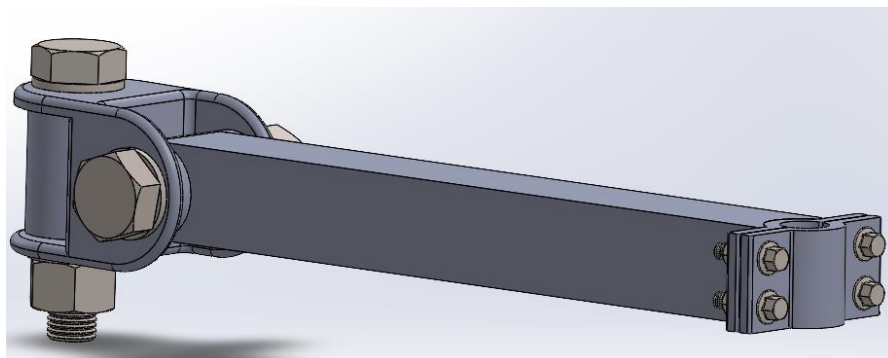


Como se puede apreciar en la figura 41, la unión de las láminas viene con un hueco graduable de diámetro de 3 centímetros, atornillado con cuatro tornillos bridados con arandelas incorporadas de M10X1.5X40 de acero, unidos con tuercas y arandelas incorporadas de M10X1.5 fabricadas igualmente de acero, ambas con un grado de material de 4.8 (aleación media de carbono).

Una de estas laminas, va soldado a una barra de acero de perfil cuadrado hueco, donde al otro extremo lleva un cilindro para poder conectarse a la unión principal del sistema de enganche, tal como se muestra a continuación.

Figura 50.

Ensamble de sistema de enganche



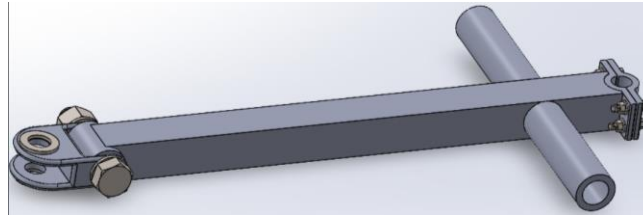
Como se puede apreciar en la Figura 42, la unión principal también viene con dos espárragos con arandela de M30X3.5X60 y sus respectivas tuercas con arandela de M30X3.5. En los apéndices y en el desarrollo del documento se verán reflejadas las respectivas uniones del sistema de enganche con el remolque.

Finalmente, se especifica el tipo de acero que se usa para este sistema de enganche que es el acero SAE 4140 (tanto para las uniones como para los tornillos, tuercas y arandelas). Esto debido a su versatilidad en el uso ingenieril y a su gran capacidad de resistencia a la tracción.

Dentro del sistema de enganche, también se analiza la posibilidad de llevar el remolque eléctrico con un usuario movilizándose a pie, por lo que se le incluye al sistema dos manillares donde puedan llevar el sistema de enganche que va conectado al bastidor del remolque eléctrico.

Figura 51.

Manillar del sistema de enganche



El diseño del sistema de enganche y la ficha técnica del material se encuentran presentes en el apéndice C y el diseño del sistema completo se encuentran consignados en el desarrollo del documento.

5.2 Diseño de un sistema de control, que administre la entrega de potencia según la condicional de operación

Para el diseño de sistema de control, se parte de la idea de que el controlador de potencia del motor eléctrico se va a controlar por medio del acelerador del remolque eléctrico, el cual va a venir en el manillar de la cicla. El acelerador será tipo puño como se muestra a continuación.

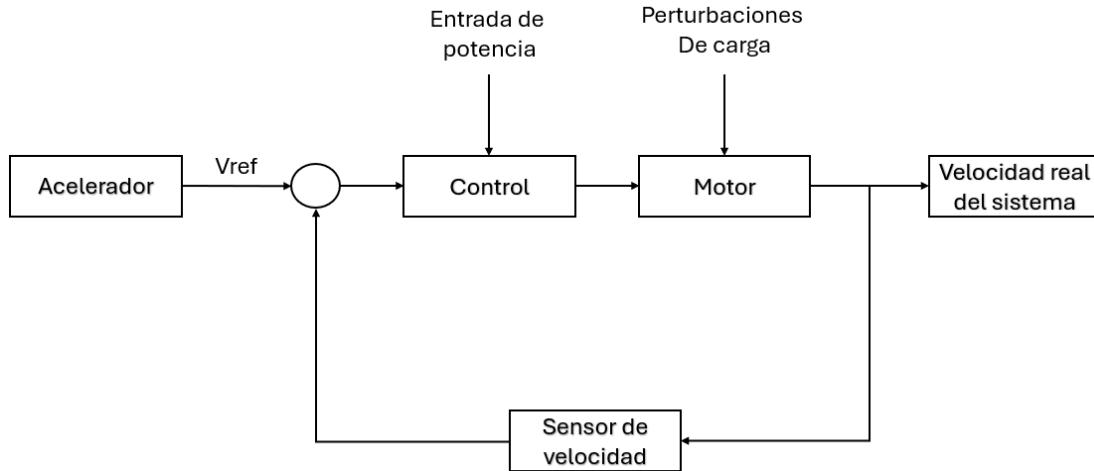
Figura 52.

Acelerador de puño



Nota. Tomado de: Atv Concepts (s.f.) *Extensión de acelerador para cuatrimoto importado*
https://www.atvconcepts.com/Extension-De-Acelerador-Para-Cuatrimoto-Importado,315_2

Este acelerador de guaya será el inicio de nuestro proceso de control, el cual enviará las señales al sistema para una velocidad de referencia, que será la que se desea que este el remolque, cabe aclarar que la velocidad máxima del sistema será de 30 [km/h]. Seguidamente, pasará al sistema de control, el cual mirará cuanta fuerza necesita el motor para poder solventar la velocidad requerida, el motor enviará la potencia requerida según el sistema de control y las posibles perturbaciones de carga (como carga total, estado de la vía, etc). Finalmente, esta velocidad real del sistema que es nuestro propósito retornará para controlar la diferencia entre la velocidad de referencia y la velocidad real del sistema la cual tendrá su respectivo sensor de velocidad.

Figura 53.*Diagrama del sistema de control*

En base a esto, tenemos que el sistema posee la siguiente ecuación elemental de movimiento:

$$F - F_R = m * a \quad (4)$$

Donde:

F: fuerza necesaria para mover el sistema.

Fr: fuerza de rozamiento entre llanta-pavimento.

m: masa del sistema remolque-cicla.

a: aceleración del sistema.

Transformaremos la ecuación en base a la variable dependiente (x) y sus derivadas:

$$F - \mu \dot{x} = m * \ddot{x} \quad (5)$$

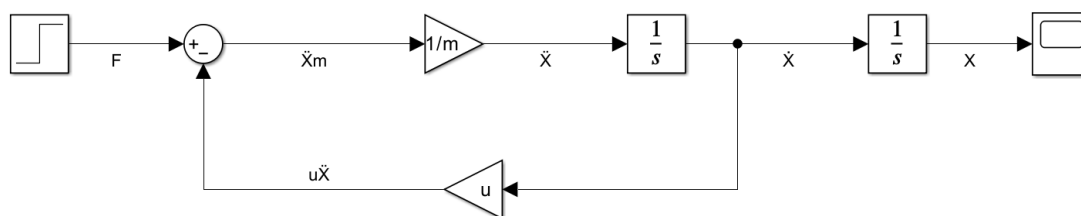
Donde:

μ : coeficiente de fricción entre llanta y pavimento.

Esta ecuación transformada en un bloque de sistema de control con integradores queda de la siguiente manera:

Figura 54.

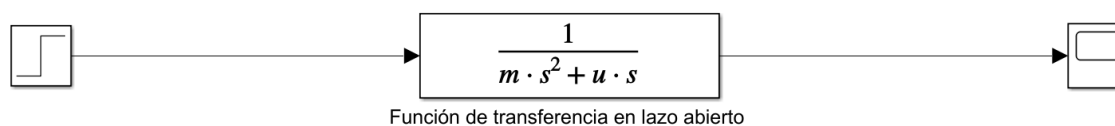
Sistema de control principal



Por medio del método de reducción de diagramas de bloques obtenemos:

Figura 55.

Sistema en lazo abierto



Este es un sistema en lazo abierto que se debe controlar debido a que es un sistema sin relación entre la salida y la entrada de las variables (F y x), además que no posee precisión ni estabilidad, por lo que se va a diseñar un compensador LGR con retroalimentación unitaria tal que los polos dominantes sean:

$$s_d = -3 \pm 2\sqrt{3}j \quad (6)$$

Llamaremos a la función de transferencia de lazo abierto que se debe controlar $G(s)$, donde:

m : peso del remolque + capacidad máxima del remolque + peso del ciclista – cicla

$$m = 100 + 300 + 100 = 500[\text{kg}] \quad (7)$$

$$\mu = 0.8$$

Por lo que:

$$G(s) = \frac{1}{500 \cdot s^2 + 0,8 \cdot s} \quad (8)$$

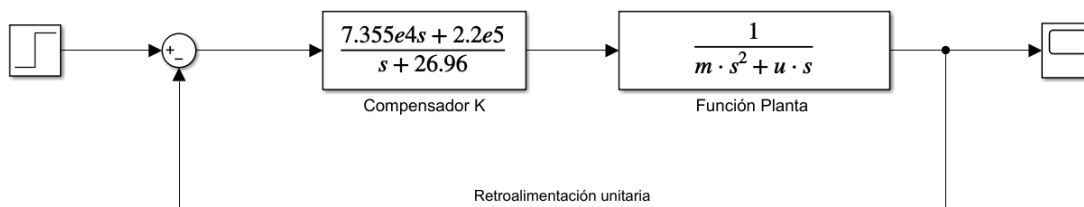
Finalmente, se obtiene que el sistema de control tiene un controlador con la siguiente función de transferencia (ver procedimiento completo en Apéndice B):

$$K(s) = \frac{7.355 \times 10^4 \cdot s + 2.2 \times 10^5}{s + 26.96} \quad (9)$$

En conclusión, el sistema de control de que administra la entrega de potencia según la condición de operación será:

Figura 56.

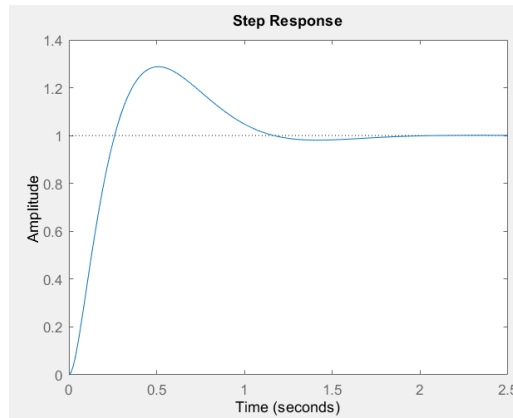
Sistema de control de potencia



A continuación, se mostrará la gráfica del tiempo de respuesta del compensador K para estabilizarse, donde se puede mostrar que el tiempo de estabilización del compensador es aproximadamente de 2 segundos y tiene una amplitud máxima de aproximadamente 1.3.

Figura 57.

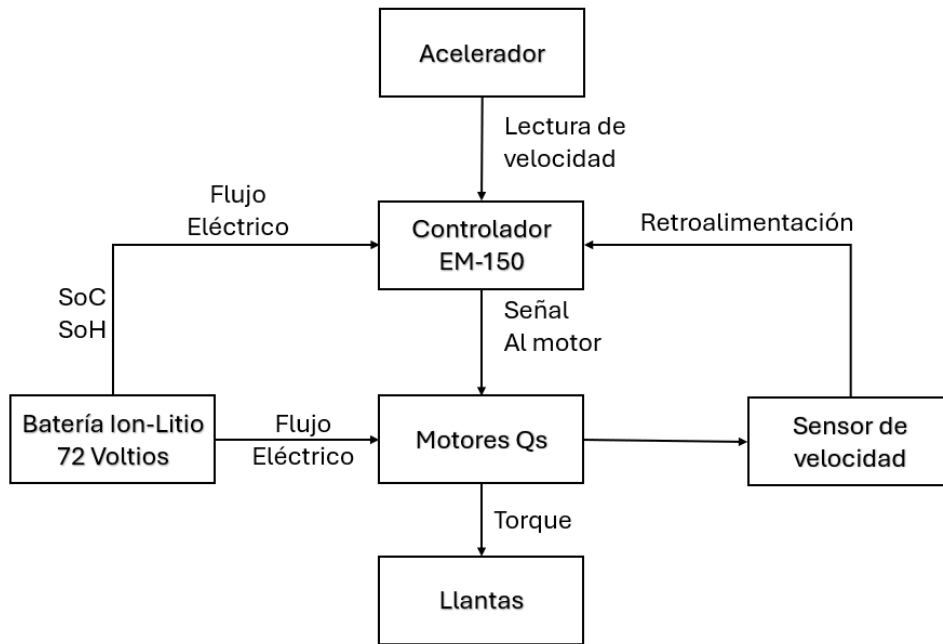
Tiempo de estabilización del sistema de control



Finalmente, se tiene el sistema de control tendrá la configuración de la siguiente manera:

Figura 58.

Diagrama de flujo del sistema de control del remolque eléctrico



Donde inicialmente tenemos el acelerador de puño mencionado anteriormente, que será nuestro sensor inicial para la señal de entrada al requerimiento de la velocidad, donde será controlado por el usuario (el setup lo ajusta el usuario). Seguidamente, la lectura de velocidad entra a nuestro controlador EM-150 (ver figura 26). El controlador envía su señal a los motores para enviar la potencia requerida a las llantas. Adicional a esto de los motores sale una retroalimentación por medio del sensor de velocidad al controlador para que así se pueda leer la velocidad real del sistema. Finalmente tenemos nuestra batería de 72 Voltios que enviará energía a los motores y al controlador, además de enviarle una señal de información del estado de la energía de la batería (SoC) y de la vida útil de la batería (SoH).

5.3 Desarrollo de un manual de operaciones y un plan general de mantenimiento del remolque

A continuación, se presenta los correspondientes ítems para el manual de operaciones y el plan general de mantenimiento, los cuales son esenciales para poder encender, arrancar y controlar el remolque, y a sí mismo, poder mantenerlo en buen estado.

5.3.1 Manual de operaciones

A continuación, se presenta la información clave para darle uso al remolque eléctrico:

Introducción

Un remolque es un vehículo de transporte de carga, en este caso, cuenta con un motor propio para poder impulsar al vehículo remolcador (la cicla), la cual viene anclada a un sistema de enganche y diferentes tipos de conexiones entre sí.

En el manual de operaciones y la sección de plan general de mantenimiento encontraremos todos los elementos necesarios para poder darle uso, cuidado, prevenciones y recomendaciones al remolque eléctrico y sus elementos principales.

Conexión a la cicla

La conexión a la cicla viene dada por dos fases, la parte eléctrica y la conexión al sistema de enganche.

La parte eléctrica viene compuesta por tres fases importantes: Freno, acelerador y switch de encendido.

Encendido

La conexión del cableado de encendido viene dada por un switch de encendido alámbrico que viene en instalación entre el motor del remolque y el switch que va a ir pegado al manubrio de la cicla. A continuación, se muestra el tipo de interruptor que se debe usar para el encendido del motor del remolque eléctrico.

Figura 59.

Switch convencional de encendido



Nota. Tomado de: Walmart (s.f.) *Switch convencional de encendido*
<https://www.walmart.com.mx/ip/juegos-recreativos/sidaley-interruptor-de-arranque-de-motocicleta-scooter-bicicletas-electricas-interruptores-de-encendido-boton-de-control-reparacion-accesorios-para-motos-sidaley-vi018048-00b/00933288974246>

Controlador de velocidad

El controlador de velocidad del motor eléctrico viene compuesto por un velocímetro convencional de cuatrimoto, su funcionamiento consta de apretar el interruptor en sentido antihorario. El controlador de velocidad puede ser puesto de manera inalámbrica (que tiene un funcionamiento similar a los cambios de bicicleta inalámbricos) o por medio de conexiones alámbricas, como se muestra a continuación.

Figura 60.

Accionador de velocidad del remolque eléctrico



Nota. Tomado de: Mercado libre (s.f.) *Acelerador de pulgar para cuatrimoto*
<https://listado.mercadolibre.com.co/acelerador-de-pulgar-para-cuatrimoto>

Controlador de frenado

El freno va a tener una conexión inalámbrica en el manillar según se muestra en la sección del sistema de frenado en la figura 36, que se activará en sentido horario para poder frenar, cerca de él, tendrá un interruptor con enclavamiento para poder accionar un tipo de freno de mano en el remolque cuando sea necesario.

Figura 61.

Interruptor con enclavamiento de panel convencional



Nota. Tomado de Electrónica Embajadores (s.f.) *Interruptor con enclavamiento de panel convencional*

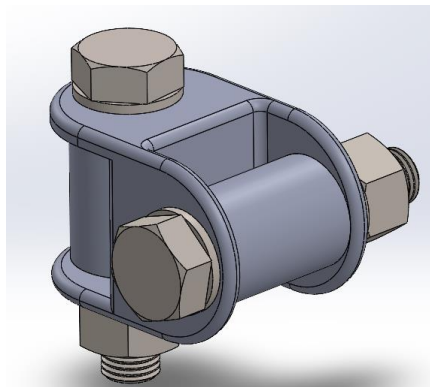
<https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/IT4A14VE/interruptores-conmutadores-pulsadores/pulsadores-de-panel/pulsador-panel-con-enclavamiento-interruptor-verde/>

Sistema de enganche

El sistema de enganche es el dispositivo mecánico que se debe instalar en la cicla para poder conectar entre el mismo y el remolque eléctrico, su conexión es por medio de dos tornillos de acero como se muestra a continuación.

Figura 62.

Sistema de enclavamiento entre el remolque y la cicla



Finalmente, tenemos la parte de apagado, para esto, se recomienda seguir los siguientes pasos: poner el remolque en freno estacionario y apagar el motor eléctrico.

Si por algún motivo se desea desconectar completamente el remolque eléctrico de la cicla, se recomienda primero retirar todos los componentes eléctricos de la cicla, y seguidamente, quitar el sistema de enganche.

5.3.2 Plan general de mantenimiento

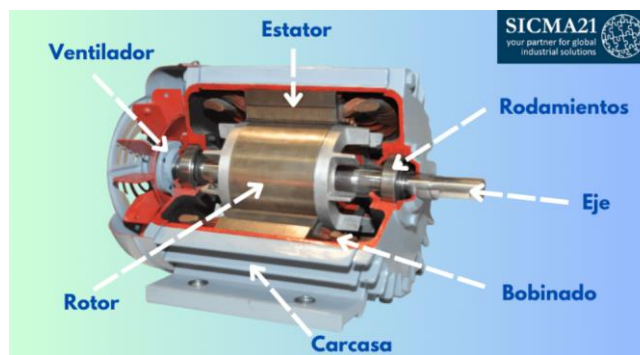
En esta sección, se darán las instrucciones necesarias para poder ayudar a mantener los accesorios, componentes y sistemas en general en el remolque eléctrico. Acá se consignará todo lo necesario para que el usuario pueda tener las correctas precauciones, inspecciones y advertencias de manera proactiva para garantizar el correcto del vehículo, así como todas las herramientas necesarias para mantener el equipo.

Motor eléctrico

El motor eléctrico consta de varias piezas esenciales para la conversión de energía eléctrica a mecánica, entre ellos está el estator, la bobinas internas y los rotores, así como de puntos importantes a considerar como lo son el eje de salida y los rodamientos. Para el caso de los motores de cubo (Motores Qs), también es importante la unidad de engranajes que lleva integrado dentro del sistema.

Figura 63.

Vista en corte de un motor eléctrico convencional



Nota. Tomado de: Sicma 21 (s.f.) *Cuales son las partes de un motor eléctrico de uso industrial*

[https://www.sicma21.com/mantenimiento-de-un-motor-](https://www.sicma21.com/mantenimiento-de-un-motor-electrico/#Cuales_son_las_partes_de_un_motor_electrico_de_uso_industrial)

[electrico/#Cuales_son_las_partes_de_un_motor_electrico_de_uso_industrial](https://www.sicma21.com/mantenimiento-de-un-motor-electrico/#Cuales_son_las_partes_de_un_motor_electrico_de_uso_industrial)

Para el caso de los motores eléctricos, es importante tener un buen nivel de lubricación en los rodamientos, ya que estos tienen un nivel de vida útil aproximado de 20,000 a 50,000 horas de trabajo, por lo que, tener una inspección pertinente del nivel de lubricante es importante en los rodamientos. En el caso de los motores de cubo, también es importante revisar el nivel de lubricación del juego de engranajes que lleva internamente. Finalmente, en cuanto a los accesorios

que usan lubricación, también es importante hacer una buena inspección de desgaste. Tener en cuenta, en el momento de lubricar cualquier accesorio del motor, tener total precaución con las tarjeta de control y las bobinas.

Por último, tener en cuenta que los motores eléctricos tienen que estar en constante limpieza para evitar ruidos extraños en el motor y también pueden ser causantes de vibraciones indebidas en los motores.

Batería

Las baterías recomendadas en este documento son las Ion-Litio, es importante aclarar que estas baterías no tienen como tal un mantenimiento, pero si tienen un cuidado especial para que su vida útil pueda mantenerse lo más largo posible, entre estos están:

- Evitar que la carga de la batería baje más del 15% y cargar únicamente con el cargador que viene suministrado por el proveedor, cargarlo con otro cargador puede dañar la batería y hasta ocasionar un incendio. No desconectar hasta que se complete su carga al máximo (100%).

- Asegurarse de guardar muy bien la batería en el porta baterías del chasis hecho especialmente para conservarse en un sitio fresco y evitar el calor, esto debido a que este tipo de baterías son sensibles a la humedad, calor y altas temperaturas. También, mantener las baterías en su envoltorio de fábrica.

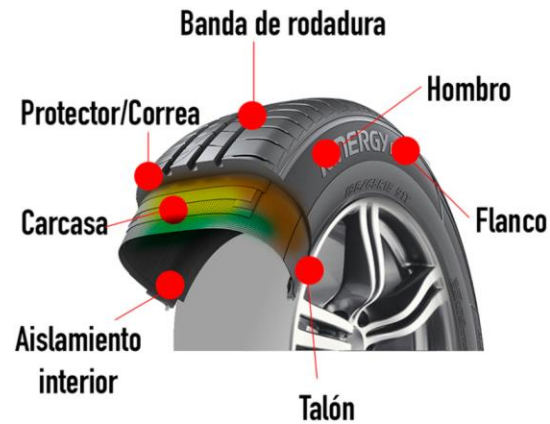
- Es de suma importancia también tener precauciones con los líquidos que pueden tener este tipo de baterías, no ingerir ni poner en contacto con la piel o los ojos, en tales casos ponerse en contacto con un médico de manera inmediata. Tampoco calentar, perforar o triturar las baterías, ya que pueden provocar fugas de los líquidos o generar un incendio o explosión.

Ruedas

En las llantas es muy importante tenerlas en constante inspección, para esto es importante seguir las siguientes recomendaciones:

-Mantener una buena presión de en las llantas: esto logra un mejor desempeño en la rodadura del vehículo, ayudando a la parte motriz a dirigir el vehículo con una mayor eficiencia. Para esta recomendación se puede medir en frío con un medidor de llantas la presión que tienen, en algunas llantas se puede determinar diariamente de manera manual la presión de la llantas, pero algunos diseños de llantas no dejan percibir la rigidez de la presión interna de la rueda, en caso de cualquier fuga de aire, hacer la reparación con un técnico montallantas para la reparación pertinente.

-Revisar el desgaste de las llantas: una llanta desgastada es una llanta en estado liso, por lo que en vías húmedas puede ocasionar un accidente, además de que las llantas desgastadas son susceptibles de penetración y se pueden pinchar muy fácilmente. Cabe aclarar que la profundidad recomendada para reemplazar una llanta es que la banda tenga una profundidad de 1.6 [mm]. Finalmente, se recomienda leer las especificaciones de las llantas dadas por los fabricantes, donde generalmente se muestra a continuación, la especificación de esta llanta es rin 20.

Figura 64.*Partes de una llanta en corte*

Nota. Tomado de: Neumáticos Km 0 (s.f.) *Estructura de un neumático*
<https://www.neumaticoskm0.com/estructura-de-un-neumatico/>

Figura 65.*Especificaciones de la llanta*

Nota. Tomado de: Neumarket (s.f.) *como leer tus llantas* <https://www.neumarket.com/blog/como-leer-tus-llantas/>

Frenos

Los frenos de disco requieren de un mantenimiento muy simple, el usuario del remolque eléctrico solamente deberá mantener limpios tanto las llantas como los frenos de disco para evitar cualquier impedimento limpio al momento de frenar o algún sonido extraño al aplicar los frenos.

Por último, se debe comprobar el desgaste de las pastillas de freno y revisar el espesor de estas, si no cumple con las especificaciones del fabricante se deben cambiar inmediatamente. Así mismo se debe comprobar el espesor del disco de freno con el espesor mínimo especificado por el fabricante, de haber sobrepasado el mínimo se debe cambiar inmediatamente. Cualquier ruido extraño o “chillidos” que se sientan al frenar, se debe enviar a revisión los frenos con un técnico especializado en frenos.

-Suspensión

La suspensión por resortes presenta mantenimientos netamente correctivos, para determinar si se deben cambiar los resortes de suspensión son si la pintura se desprende, hay presencia de corrosión, tiene fisuras el resorte o si el chasis se encuentra a desnivel.

-Sistemas de conexión

Los sistemas eléctricos vienen conectados por diferentes cables a lo largo del remolque, es importante que estos cables no se entrecrucen, ya que harían contacto y pueden ocasionar un corto circuito o un mal funcionamiento de los sistemas, por lo que es muy importante revisar el cableado de las diferentes conexiones, si hay algún cable entre cortado es importante recubrirlo con cinta aislante mientras se hace el cambio completo del cable. Revisar las pajas o conexiones y hacerle limpieza mensualmente con líquido limpia contactos, también es importante revisar todas las conexiones y amarrarlas bien en el remolque para que no queden sueltas.

El sistema de enganche también es importante hacerle una inspección visual mensual, revisar que los tornillos no hayan sufrido en las roscas, al igual que las uniones, y que los perfiles de acero no hayan sufrido problemas de poros ni corrosión.

6. Conclusiones

A partir de los análisis hechos y estudiados en este proyecto, se concluye que el diseño del remolque efectivamente puede cargar un peso de 300 [kg] con un motor de autonomía de 150 [km] a una velocidad máxima de 30 [km/h], todo esto sin ayuda física del usuario del remolque.

En cuanto al sistema estructural, se pudo concluir tanto los materiales como la estructura escogidas pueden soportar los pesos dados en el criterio del diseño, dándonos un factor de seguridad alto de 10.0 según los análisis de esfuerzos hechos en SolidWorks. En cuanto al soporte de las llantas, también se puede apreciar un buen factor de seguridad de 2.1 con los soportes en forma de tijera con la suspensión, resulta una buena forma de sostener tanto las ruedas como el sistema de suspensión.

Finalmente, se concluye que el plan general de mantenimiento y manual de operaciones es una buena forma de darle al usuario las instrucciones necesarias y precisas para poder instalar, mantener, inspeccionar y tener los cuidados necesarios en los sistemas del remolque eléctrico y a su vez, poder conocer todos los elementos importantes y de cuidado.

7. Recomendaciones

Se recomienda para el proceso de construcción del remolque eléctrico, revisar muy bien los puntos de esfuerzos máximos en la estructura (chasis y soporte de tijera), con el fin de asegurar de una manera segura todo el sistema estructural. A su vez, revisar muy bien los materiales que se van a usar, ya que en el proceso de selección del sistema estructural se seleccionó el tipo de acero recomendado, esto con el fin que supla los criterios de diseño dados al inicio de este proyecto de grado.

También se recomienda, al momento de seleccionar los motores que se le van a poner al sistema, asegurarse que cumplan con los requerimientos consignados en el desarrollo del documento. De igual manera, hacerlo con la selección de frenos y suspensión, esto debido a que los cálculos y selecciones se hicieron de acuerdo con las alternativas escogidas y, por tanto, tienen especificaciones claras. La batería puede ser de cualquier otro tipo a la Ion-Litio, con tal que supla las necesidades del voltaje requerido por el motor y el controlador, de igual manera, seguir los mantenimientos recomendados para la batería seleccionada.

Finalmente, es importante tener en cuenta que, para la construcción de este proyecto, es posible hacer una aproximación de los costos de compra, fabricación y ensamblaje del remolque eléctrico. Para propósitos de estudio, se hizo el siguiente análisis de costos para futuras construcciones del remolque eléctrico que se presenta a continuación. Cabe aclarar que los precios pueden variar de acuerdo con los proveedores o distribuidores donde se consigan los elementos.

Figura 66.*Cuadro de costos*

Elemento	Vendedor	cantidad	Costo unitario	Total
perfil acero 50x30 / 6m	Homecenter	2	\$ 106.900,00	\$ 213.800,00
Paquete 4 bujes	mercadolibre	1	\$ 55.113,00	\$ 55.113,00
perfil acero 20x20 / 6m	Homecenter	1	\$ 36.900,00	\$ 36.900,00
Motor Electrico	Amazon	2	\$ 235.000,00	\$ 470.000,00
Sistema de freno	Amazon- Pro Bat	1	\$ 196.000,00	\$ 196.000,00
Acero ejes 1 metro	Mercado Libre	1	\$ 75.000,00	\$ 75.000,00
Amortiguador	Amazon- PPR	2	\$ 70.491,00	\$ 140.982,00
Tuberia	Mercado Local	3	\$ 45.000,00	\$ 135.000,00
Placa aluminio	Mercado Local	1	\$ 375.000,00	\$ 375.000,00
Rodamiento	Mercado local	2	\$ 15.000,00	\$ 30.000,00
Placa acero tijera	Mercado local	1	\$ 250.000,00	\$ 250.000,00
Fabricacion sistema de enganche	Costo Aprx	1	\$ 150.000,00	\$ 150.000,00
Bateria	Costo Aprx	1	\$ 3.000.000,00	\$ 3.000.000,00
Anticorrosivo [Galón]	Homecenter	1	\$ 139.900,00	\$ 139.900,00
Pintura esmalte [Galón]	Homecenter	1	\$ 143.900,00	\$ 143.900,00
Mano de obra y consumibles de soldadura	Taller	2	\$ 500.000,00	\$ 1.000.000,00
Controlador EM-150	aliexpress	1	\$ 753.300,00	\$ 753.300,00
Tornilleria	Mercado local	10	\$ 5.000,00	\$ 50.000,00
Ruedas (rin aluminio + neumatico)	Mercado libre	2	\$ 230.000,00	\$ 460.000,00
Accionador de velocidad	Mercado libre	1	\$ 70.000,00	\$ 70.000,00
Switch Encendido	Electo componentes	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Cableado, juntas, bridas	Electo componentes	6	\$ 10.000,00	\$ 60.000,00
Cargador Bateria	mercadolibre	1	\$ 253.000,00	\$ 253.000,00
Subtotal				\$ 8.077.895,00
Imprevistos 10%				\$ 807.789,50
TOTAL				\$ 8.885.684,50

Referencias Bibliográficas

- Budynas, R., & Nisbett, J. K. (2008). *Mechanical engineering design*. Nueva York, Estados Unidos: McGrawHill
- Cabrera, A., & Calle, C. (septiembre de 2016). *Selección del motor eléctrico, controlador y batería para el vehículo formula SAE de la Universidad Politécnica Salesiana*.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12753/1/UPS-CT006618.pdf>
- Caraguay, C., & Caraguay, S. (2015). *Diseño y construcción del sistema de suspensión de un vehículo monoplaza para la competencia Formula Student* (Tesis de pregrado).
Universidad politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, España.
- Castellano, M. O. (2022). *Apuntes de elementos de máquinas*. San Francisco, Argentina, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional
- Chacartegui, V. (2017) *Diseño y desarrollo de la suspensión trasera de una motocicleta para la competición motostudent 15-16* (Tesis de pregrado). Universidad de Cantabria. Santander, España
- Chudakov, D. A. (1977). *Fundamentos de la teoría y el cálculo de tractores y automóviles*. URSS: Editorial Mir.
- Cía. General de Aceros. *Acero grado ingeniería. Aceros aleados. AISI/SAE 4140*.
https://www.cga.com.co/wp-content/uploads/2020/07/Ficha_T%C3%A9cnica_Aceros_Grado_Ingenier%C3%ADa_4140.pdf
- Colmena S.A. (s.f.) *Ficha técnica perfil estructural rectangular negro y galvanizado*

- Dutta, P. (2017) *Design and analysis of three wheeled vehicle chassis* (Tesis de pregrado). Academia de ciencias de la india, Bangalore, India.
- Forero, W. A. (s.f.) *Diseño y evaluación del tren de potencia de un go-kart eléctrico de competencia*. Proyecto de grado. Universidad de los Andes.
- Goodyear. (s.f.) *Guía de cuidado y mantenimiento de las llantas*.
<https://www.goodyear.com.co/mantenimiento-llantas>
- Hamrock, B., Jacobson, B., & Schmid, S. (2000). *Elementos De Máquinas*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V
- Katsuhito Ogata. (s.f.) *Ingeniería de Control*.
- López et al. (2007). *Determinación experimental de la distancia de frenado de un automóvil*. Universidad Católica Popular de Risaralda, Pereira, Risaralda.
- López, J. (s.f.) *Diseño y construcción de un remolque con capacidad para dos motocicletas*. Proyecto de grado. Escuela Politécnica Nacional.
- López, J., y Maya, P. (2012) *Diseño, implementación y construcción de un prototipomotorizado biplaza de 3 ruedas, con propulsión desde su única rueda trasera, partiendo del motor y transmisión de una moto convencional* (Tesis de pregrado). Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Otero, A. Comillas – Madrid (2018). *Diseño de un remolque de carga orientado a países en vías de desarrollo*. Proyecto de grado.
- Parada, A. (1990). *Fatiga*.
- Robert L. Mott. (1996). *Resistencia de materiales aplicada*.
- Robert L. Mott. (s.f.) *Diseño de elementos de máquinas*.
- Robert I. Norton. (2011). *Diseño de máquinas*.

Shigley y Uicker. (2001). *Teoría de Máquinas y Mecanismos*.

Apéndices

Apéndice A. Diseño de la suspensión del remolque eléctrico

Para los cálculos del diseño del resorte se tiene un remolque eléctrico con una carga máxima de hasta 300 [Kgf], a disposición del estudio, el remolque debe desplazarse por un terreno empedrado donde las distancias en promedio de cada piedra son de 20 [cm]. El vehículo se desplaza a una velocidad de 25 [km/h] y el impacto de cada piedra genera un incremento de la carga en un 20%.

Se considera un peso del remolque eléctrico de 100 [Kgf].

Se asume que el tren trasero del remolque soporta 2/3 de la carga total y cada resorte soporta el 30% de la carga respectiva.

Criterios de diseño

- Resortes encuadrados y amolados
- Fabricación del alambre en AISI 6150 (ASTM 232), acero ideal para muelles y resortes
- Factor de seguridad mayor de 1,5 ($N > 1,5$)
- Cálculos del resorte para ciclos de vida infinita
- Los resortes de la suspensión trabajaran a compresión
- Carga soportada por el tren trasero del remolque:

$$P_{min} = \frac{2}{3}(300 + 100) = 266,66 \text{ [Kgf]}; \quad \text{Carga soportada en terreno liso} \quad (10)$$

$$P_{max} = \frac{2}{3}(400 + 80) = 320 \text{ [Kgf]}; \quad \text{Carga soportada en terreno empedrado} \quad (11)$$

- Carga sobre cada resorte:

Son dos resortes que soportan el bastidor y el tren trasero del remolque:

$$P_{min} = \frac{30\%}{2} (266,66) = 40 \text{ [Kgf]} = 392,4 \text{ [N]}; \tag{12}$$

$$P_{max} = \frac{30\%}{2} (320) = 48 \text{ [Kgf]} = 470,88 \text{ [N]}; \tag{13}$$

De la tabla 10.4 del libro de Diseño de Shanglely, Novena edición se obtiene que:

$$m = 0,168$$

$$A_p = 2005 \text{ [MPa]}$$

$$d = 0,8 - 11,1 \text{ [mm]}$$

$$S_{ut} = \frac{A_p}{d^m} \tag{14}$$

Tabla 10-4

Constantes A y m de $S_{ut} = A/d^m$ para estimar la resistencia de tensión mínima de alambres para fabricar resortes comunes.
(Fuente: De *Design Handbook*, 1987, p. 19. Cortesía de Associated Spring.)

Material	ASTM núm.	Exponente m	Diámetro, pulg.	A, kpsi · pulg ^m	Diámetro, mm	A, Mpa · mm ^m	Costo relativo del alambre
Alambre de piano ¹	A228	0.145	0.004-0.256	201	0.10-6.5	2 211	2.6
Alambre T y R en aceite ²	A229	0.187	0.020-0.500	147	0.5-12.7	1 855	1.3
Alambre estirado duro ³	A227	0.190	0.028-0.500	140	0.7-12.7	1 783	1.0
Alambre al cromo-vanadio ⁴	A232	0.168	0.032-0.437	169	0.8-11.1	2 005	3.1
Alambre al cromo-silicio ⁵	A401	0.108	0.063-0.375	202	1.6-9.5	1 974	4.0
Alambre inoxidable 302 ⁶	A313	0.146	0.013-0.10	169	0.3-2.5	1 867	7.6-11
		0.263	0.10-0.20	128	2.5-5	2 065	
		0.478	0.20-0.40	90	5-10	2 911	
Alambre de bronce fosforado ⁷	B159	0	0.004-0.022	145	0.1-0.6	1 000	8.0
		0.028	0.022-0.075	121	0.6-2	913	
		0.064	0.075-0.30	110	2-7.5	932	

¹ La superficie es lisa, sin defectos y tiene un acabado brillante y lustroso.
² Tiene escamas ligeras debido al tratamiento térmico, que se deben remover antes del galvanizado.
³ La superficie es lisa y brillante sin marcas visibles.
⁴ Alambre revenido de calidad aeronáutica; también se obtiene recoocido.
⁵ Revenido a Rockwell C49; pero se puede obtener sin revenido.
⁶ Acero inoxidable tipo 302.
⁷ Temple CA510.

De la tabla 10.5 del libro de Diseño de Shanglely, Novena edición se obtiene que:

$$E = 203,4 \text{ [GPa]}$$

$$G = 77,2 \text{ [GPa]} = 77200 \text{ [MPa]}$$

Tabla 10-5

Propiedades mecánicas de algunos alambres para resorte (continuación)

Material	Limite elástico, porcentaje de S_{ut} , tensión, torsión		Diámetro d , pulg	E		G	
				Mpsi	GPa	Mpsi	GPa
Templado en aceite A239	85-90	45-50		28.5	196.5	11.2	77.2
Resorte de válvula A230	85-90	50-60		29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo-vanadio A231	88-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
A232	88-93			29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo-silicio A401	85-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
Acero inoxidable							
A313*	65-75	45-55		28	193	10	69.0
17-7PH	75-80	55-60		29.5	208.4	11	75.8
414	65-70	42-55		29	200	11.2	77.2
420	65-75	45-55		29	200	11.2	77.2
431	72-76	50-55		30	206	11.5	79.3
Bronce fosforado B159	75-80	45-50		15	103.4	6	41.4
Cobre al berilio B197	70	50		17	117.2	6.5	44.8
	75	50-55		19	131	7.3	50.3
Aleación inconel X-750	65-70	40-45		31	213.7	11.2	77.2

* También incluye 302, 304 y 316.

Nota: Vea la tabla 10-6, que contiene los valores de diseño del esfuerzo de torsión permisible.

Se asume un diámetro de alambre de resorte de 7,5 [mm], por lo que $d = 7,5$ [mm]

$$C = \frac{D}{d} ; \text{ se asume un } C = 12 \quad (15)$$

Entonces $D = 90$ [mm] según la ecuación (15)

De la ecuación (14) obtenemos entonces:

$$S_{ut} = \frac{2005}{7.5^{0.168}} = 1429.236 \text{ [MPa]}$$

$$S_{ys} = 0,4 * S_{ut} = 571,695 \text{ [MPa]} \quad (16)$$

Hallaremos el coeficiente de corrección de Wahl de la tensión de valor:

$$K_w = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0,615}{C} = 1,12 \quad (17)$$

Hallaremos la tensión tangencial en el alambre del muelle:

$$\tau_{max} = \frac{8 * P_{max} * D * K_w}{\pi * d^3} \quad (18)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (18) obtenemos que $\tau_{max} = 286,502$ [Mpa]. Un valor menor a S_{ys} ($\tau_{max} < S_{ys}$). Esto nos asegura que el resorte no fallará por cizallamiento.

$$\tau_{min} = \frac{8 * P_{min} * D * K_w}{\pi * d^3} \quad (19)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (19) obtenemos que $\tau_{min} = 238,751$ [Mpa]

- Por medio de la ecuación de Soderberg hallaremos el factor de seguridad del resorte:

$$\frac{1}{N} = \frac{\tau_m}{S_{ys}} + K_{fs} \frac{\tau_a}{S_{es}} \quad (20)$$

Por medio de las repuestas de la ecuación (18) y (19) obtenemos que:

$$\tau_m = \frac{\tau_{min} + \tau_{max}}{2} = 262,626 [Mpa] \quad (21)$$

$$\tau_a = \frac{\tau_{min} - \tau_{max}}{2} = 23,875 [Mpa] \quad (22)$$

Hallaremos el factor de corrección de seguridad:

$$K_{fs} = \frac{K_w}{K_s} \quad (23)$$

$$K_s = 1 + \frac{0,615}{c} = 1 + \frac{0,615}{12} = 1,051 \quad (24)$$

De las respuestas de las ecuaciones (17) y (24) obtenemos que $K_{fs} = 1,065$

Tenemos que:

$$S_{es} = K_t * K_c * S'_{es} \quad (25)$$

Donde:

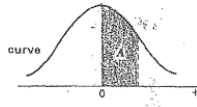
- K_t es el factor de temperatura, por lo que se encuentra a temperatura ambiental el resorte $K_t = 1$
- K_c es el factor de confiabilidad. Se asume una confiabilidad del 97,6%

$$\Delta = 0,976 - 0,5 = 0,476 \quad (26)$$

Del libro de Fatiga de Alfredo Parada Tabla A-14 se obtiene según delta que $Z_r = 1,98$

Table A-14 AREAS UNDER THE STANDARD NORMAL DISTRIBUTION CURVE

$A = \int_0^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt$



z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0754
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2258	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2518	0.2549
0.7	0.2580	0.2612	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2996	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3979	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4506	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857

Obtenemos entonces:

$$K_c = 1 - 0,08Z_r = 0,8416 \tag{27}$$

- $S_{es} = 465 [MPa]$ Valor definido para resortes granallados

Por lo que obtenemos de la ecuación (16) que:

$$S_{es} = 391,344 [MPa]$$

Ya teniendo los valores de los resultados a las ecuaciones se puede determinar el factor de seguridad del resorte por medio de la Ecuación de Soderberg (20):

Se obtiene que $N = 1,907$

Hallaremos la deformación del resorte debida al peso:

$$\delta_w = \frac{8 \cdot N_a \cdot P_{max} \cdot C^3}{G \cdot d} \tag{28}$$

Se asume un numero de espiras de $N_t = 12$ y para resortes encuadrados y amolados tenemos que:

$$N_t = N_a + 2 \tag{29}$$

Por lo que $N_a = 10$ y los demás valores para resolver la ecuación (28) ya se encuentran hallados anteriormente, por lo que tenemos que:

$$\delta_w = 112,42 [mm]$$

Hallaremos la altura total (h_l). Tenemos que la deformación solida es:

$$\delta_s = 1,2 * \delta_w = 135 [mm] \quad (30)$$

Y la altura solida:

$$h_s = N_t * d = 90 [mm] \quad (31)$$

Entonces:

$$h_l = h_s + \delta_s = 225 [mm] \quad (32)$$

El paso de la espira del resorte es:

$$P = \frac{\delta_s}{N_a} + d = 21 [mm] \quad (33)$$

Angulo del resorte:

$$\tan(\lambda) = \frac{P}{\pi * D} \quad (34)$$

Obtenemos que $\lambda = 4,25^\circ$, no sobrepasa los 12° , por lo que no sufrirá daños por torsión.

La constante del resorte será entonces:

$$K = \frac{G * d^4}{8 * N_a * D^3} = 4,1883 \left[\frac{Nt}{mm} \right] \quad (35)$$

Finalmente hallaremos la frecuencia natural del resorte que estará en un extremo fijo y en el otro libre, por lo que la ecuación pertinente es:

$$f_n = \frac{d}{2 * N_a * D^2} \sqrt{\frac{G * 1000}{2 * \rho}} \quad (36)$$

$$\text{Donde } \rho = 7,85 * 10^{-6} \left[\frac{N}{mm^3} \right]$$

$$\text{Obtenemos una frecuencia natural: } f_n = 102,66 \left[\frac{ciclos}{s} \right]$$

La frecuencia del terreno en estudio es:

$$f = \frac{25 \left[\frac{km}{h} \right] * \frac{1000 [m]}{1 [km]} * \frac{1 [h]}{3600 [s]}}{20 [cm] * \frac{1 [m]}{100 [cm]}} = 34,72 \left[\frac{ciclos}{s} \right]$$

La frecuencia natural del terreno tiene que estar por fuera del rango de $\pm 10\% f_n$. En este caso lo está, por lo que el resorte no fallará por efectos de resonancia.

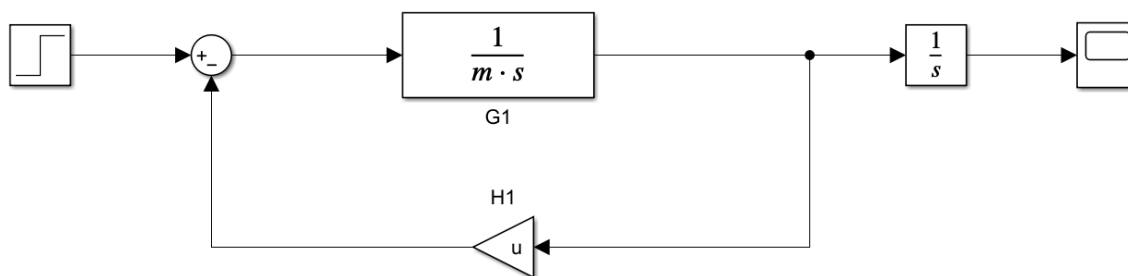
Apéndice B. Diseño del sistema de control de potencia

Reducción por método de bloques

Por medio del diagrama de bloques de la ilustración 1, iniciamos nuestra reducción de bloques multiplicando la ganancia $1/m$ por el integrador $1/s$, obteniendo:

Ilustración 1

Primera reducción de bloques



Tenemos por reducción de bloques que:

$$T1(s) = \frac{G1}{1+G1*H1} \quad (37)$$

Donde:

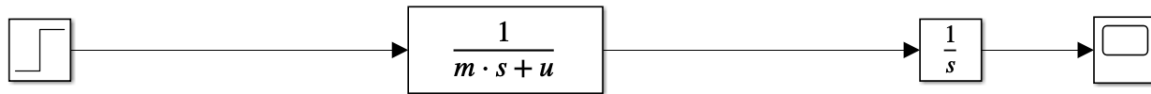
$$-G1 = \frac{1}{m*s} \quad (38)$$

$$-H1 = \mu \quad (39)$$

Teniendo entonces la siguiente reducción de bloques:

Ilustración 2

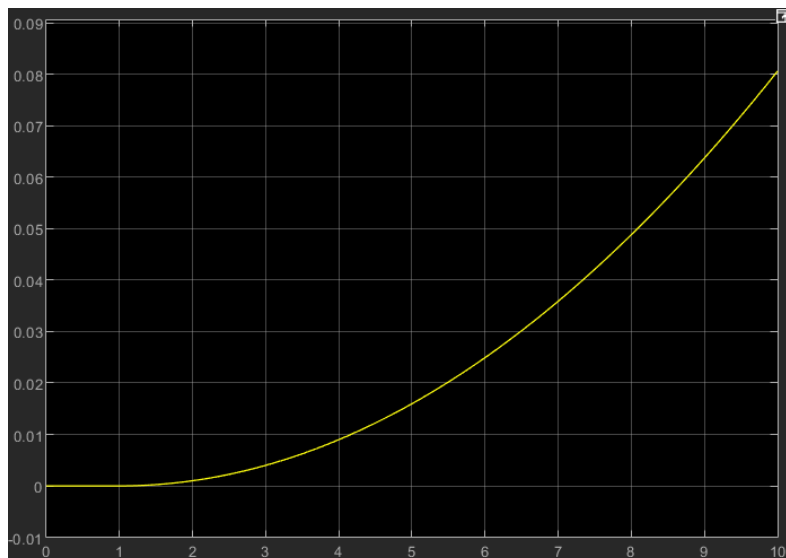
Segunda reducción de bloques



Finalmente multiplicamos el integrador restante obteniendo el sistema de control en lazo abierto de la ilustración 2. De acuerdo con esto, analizamos que tipo de sistema de control se puede realizar de acuerdo con la función y su grafica presentada a continuación.

Ilustración 3

Gráfica del sistema en lazo abierto



Consecuente a la gráfica, se usará un compensador en adelante y no un controlador debido a que no posee un comportamiento en “s”.

- Compensador en adelanto:

$$K = Kc * \frac{s+zc}{s+pc} \quad (40)$$

Donde:

$$- Pc = zc + xp \quad (41)$$

$$- zc = 3$$

$$- xp = \frac{2\sqrt{3}}{\tan(\theta)\varphi} \quad (42)$$

Para encontrar el ángulo θ , tenemos que:

$$- \theta = 90^\circ - \varphi \quad (43)$$

$$- \varphi = G(s) * H(s) / sd$$

Donde:

$$- G(s): \text{ es la ecuación (8) medida en la ecuación (43)}$$

$$- H(s): \text{ es la retroalimentación unitaria (su valor es 1)}$$

Tenemos que:

$$- \varphi = 98,2283^\circ; \theta = 8,2283^\circ; xp = 23,9553; Pc = 26,9553$$

$$- \frac{1}{kc} = (G(s) * H(s)) / sd * \left(\frac{s+zc}{s+pc} \right) \quad (44)$$

Por lo que $kc = 7,3349 \times 10^4$. Cambiando los valores obtenidos y poniéndolos en la ecuación (40), obtenemos la ecuación (9), la cual será nuestro compensador K.

Para obtener $\mu = 0.8$ se usó un valor estimado de acuerdo con la siguiente tabla.

Ilustración 4

Tabla de coeficientes de fricción en diferentes vehículos

PAVIMENTO \ VEHÍCULOS	RÍGIDO		FLEXIBLE		POROSO		LECHADAS		SELLOS	
	Seco	Mojado	Seco	Mojado	Seco	Mojado	Seco	Mojado	Seco	Mojado
B1, B2 	0.85	0.45	0.85	0.50	0.85	0.45	0.90	0.55	0.90	0.45
C2, C3, C4 	0.80	0.50	0.80	0.50	0.75	0.45	0.80	0.50	0.85	0.50
T2S2, T3-S2 	0.80	0.45	0.85	0.45	0.85	0.40	0.80	0.55	0.75	0.45
T3-S2-R2, T3-S2-R4 	0.80	0.50	0.85	0.45	0.85	0.40	0.85	0.45	0.80	0.40

Fuente: <https://blog.vise.com.mx/sabes-que-el-coeficiente-de-friccion-es-el-coeficiente-de-friccion>

Códigos de la Ventana de comandos de Matlab

```
>> m=500, u=0.8, s=tf('s'), sd=-3+2*sqrt(3)*j,G=1/(m*s^2+u*s)
```

m =

500

u =

0.8000

s =

s

Continuous-time transfer function.

Model Properties

sd =

-3.0000 + 3.4641i

G =

1

500 s² + 0.8 s

Continuous-time transfer function.

Model Properties

>> T=feedback(G,1)

T =

1

500 s² + 0.8 s + 1

Continuous-time transfer function.

Model Properties

>> phi=angle(1/(m*sd^2+u*sd))*180/pi,

theta=phi-90, xp=2*sqrt(3)/tan(theta*pi/180), zc=3, pc=zc+xp,

Y=abs((sd+3)/((m*sd^2+u*sd)*(sd+pc))), kc=1/Y,

K=kc*(s+3)/(s+pc), L=K*G

phi =

98.2283

theta =

8.2283

xp =

23.9553

zc =

3

pc =

26.9553

Y =

1.3633e-05

kc =

7.3349e+04

K =

7.335e04 s + 2.2e05

s + 26.96

Continuous-time transfer function.

Model Properties

L =

7.335e04 s + 2.2e05

500 s^3 + 1.348e04 s^2 + 21.56 s

Continuous-time transfer function.

Model Properties

>> A=feedback(L,1)

A =

$$7.335e04 s + 2.2e05$$

$$500 s^3 + 1.348e04 s^2 + 7.337e04 s + 2.2e05$$

Continuous-time transfer function.

Model Properties

>> step(A)

Apéndice C. Diseño del sistema de enganche

A continuación, se presenta la ficha técnica de este acero suministrado por la empresa CIA General de Aceros S.A.

Ilustración 5

Ficha técnica del acero SAE 4140



AISI / SAE: 4140


Composición química (%)			
C	0.33 - 0.43	Cr	0.80 - 1.10
Mn	0.75 - 1.00	Mo	0.15 - 0.25
Si	0.15 - 0.35	S	0.040 Máx
P	0.035 Máx.		

Dureza de suministro 28 - 32 HRC.

Fuente: [https://www.cga.com.co/wp-](https://www.cga.com.co/wp-content/uploads/2020/07/Ficha_T%C3%A9cnica_Aceros_Grado_Ingenier%C3%ADa_4140.pdf)

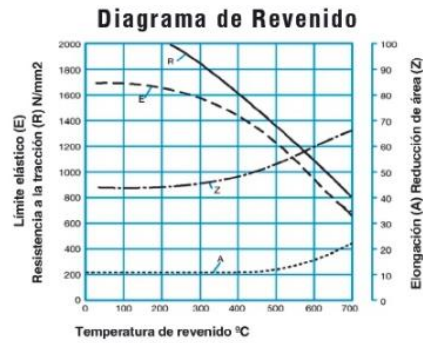
[content/uploads/2020/07/Ficha_T%C3%A9cnica_Aceros_Grado_Ingenier%C3%ADa_4140.pdf](https://www.cga.com.co/wp-content/uploads/2020/07/Ficha_T%C3%A9cnica_Aceros_Grado_Ingenier%C3%ADa_4140.pdf)

Ilustración 6

Ficha técnica del acero SAE 4140

Estado de Suministro	Resistencia tracción kg/mm ²	Límite elástico kg/mm ²	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza brinell HB
Laminado en Caliente	60/70	40	22	50	210/240
Calibrado	70/80	60	14	40	240/260
Bonificado	88/100	75	14	47	260/320

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850/1100	Ceniza o arena
Temple	830/850	Aceite
Normalizado	850/870	Aire
Recocido	680/720	Horno
Revenido	500/650	Aire



* Tener presente que los tratamientos térmicos modifican las propiedades mecánicas de origen del material.

Fuente: [https://www.cga.com.co/wp-](https://www.cga.com.co/wp-content/uploads/2020/07/Ficha_T%C3%A9cnica_Aceros_Grado_Ingenier%C3%ADa_4140.pdf)

[content/uploads/2020/07/Ficha_T%C3%A9cnica_Aceros_Grado_Ingenier%C3%ADa_4140.pdf](https://www.cga.com.co/wp-content/uploads/2020/07/Ficha_T%C3%A9cnica_Aceros_Grado_Ingenier%C3%ADa_4140.pdf)

Apéndice D. Cálculo de la potencia necesaria para el motor eléctrico

Se calcula la potencia necesaria del motor para mover el remolque con peso neto de 500 kg, tanto en un terreno plano, como en uno con una inclinación de 20°. Para esto se partirá con un delta de velocidad de 0 a 25 km/h (velocidad máxima del remolque eléctrico) en un tiempo de 10 segundos.

1. Terreno Plano

$$m = \text{peso del remolque} + \text{peso del bastidor} + \text{peso de cicla-ciclista} = 500 \text{ kg} \quad (45)$$

$$V_i = 0 \text{ m/s}$$

$$V_f = 6.944 \text{ m/s}$$

$$t = 10 \text{ s}$$

$$V_f = V_i + a * t \quad (46)$$

$$a = 0,6944 \text{ m/s}^2$$

Se realiza el cálculo de las fuerzas resistentes al movimiento del remolque:

$$F = F_r + F_w + F_a \quad (47)$$

Donde:

F= Fuerza de resistencia

F_r=Fuerza de rodadura

F_w=Fuerza aerodinámica

F_a= Fuerza de aceleración

$$F_r = m * g * U_r * \cos(\theta) \quad (48)$$

$$F_r = 63,765 \text{ N}$$

$$F_a = m \cdot a \quad (49)$$

$$F_a = 347,2 \text{ N}$$

$$F = 410,965$$

F_w no es considerada por lo que la velocidad del vehículo no excede los 25 km/h, por lo que la fuerza aerodinámica puede ser despreciable

Para el cálculo de torque y potencia mínimo para el sistema se tiene en cuenta una eficiencia de motor eléctrico del 95% y una llanta de rin de 14”.

$$T = F \cdot R_{\text{rueda}} / \text{eficiencia} \quad (50)$$

$$R_{\text{rueda}} = 0.254 \text{ m}$$

$$T = 109,88 \text{ Nm}$$

$$P = F \cdot V_f \quad (51)$$

$$P = 2853,74 \text{ N} \cdot \text{m/s}$$

2. Terreno con 20°

El Segundo estudio se hará con un delta de velocidad de 0 a 5.4 km/h en un tiempo de 10 segundos, esto con la suposición de un terreno con pendiente de 20° y la carga al máximo en el remolque eléctrico

$$m = 500 \text{ kg}$$

$$V_i = 0 \text{ m/s}$$

$$V_f = 1.5 \text{ m/s}$$

$$t = 10 \text{ s}$$

$$\theta = 20^\circ$$

$$V_f = V_i + a \cdot t$$

$$a = 0,15 \text{ m/s}^2$$

Se realiza el cálculo de las fuerzas resistentes al movimiento del remolque:

$$F=Fr+Fw+Fa$$

Donde:

F= Fuerza de resistencia

Fr=Fuerza de rodadura

Fw=Fuerza aerodinámica

Fa= Fuerza de aceleración

$$Fr=m*g*Ur*cos(theta)$$

$$Fr=59,919 \text{ N}$$

$$Fa= m*g*sen(theta)$$

$$Fa= 1677,60 \text{ N}$$

$$F=1737,519 \text{ N}$$

Fw no es considerada por lo que la velocidad del vehículo no excede los 25 km/h, por lo que la fuerza aerodinámica puede ser despreciable

Para el cálculo de torque y potencia mínimo para el sistema se tiene en cuenta una eficiencia de motor eléctrico del 95% y una llanta de rin de 20".

$$T=F*Rrueda / eficiencia$$

$$Rrueda=0.254 \text{ m}$$

$$T=464,55 \text{ Nm}$$

$$P= F*Vf$$

$$P=2606.28 \text{ N*m/s}$$

- Finalmente, calcularemos los RPM necesarios de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{\text{Potencia [Hp]}}{\text{Torque [kg*m]}} * 716.2 \quad (52)$$

Para esto, se calcula los RPM de acuerdo con la máxima potencia requerida y el torque máximo requerido según los cálculos hechos anteriormente:

$$P_{m\acute{a}x} = 2853.74 \left[N * \frac{m}{s} \right] = 3.8269 [HP]$$

$$T_{m\acute{a}x} = 464.55 [N * m] = 47.37 [Kg * m]$$

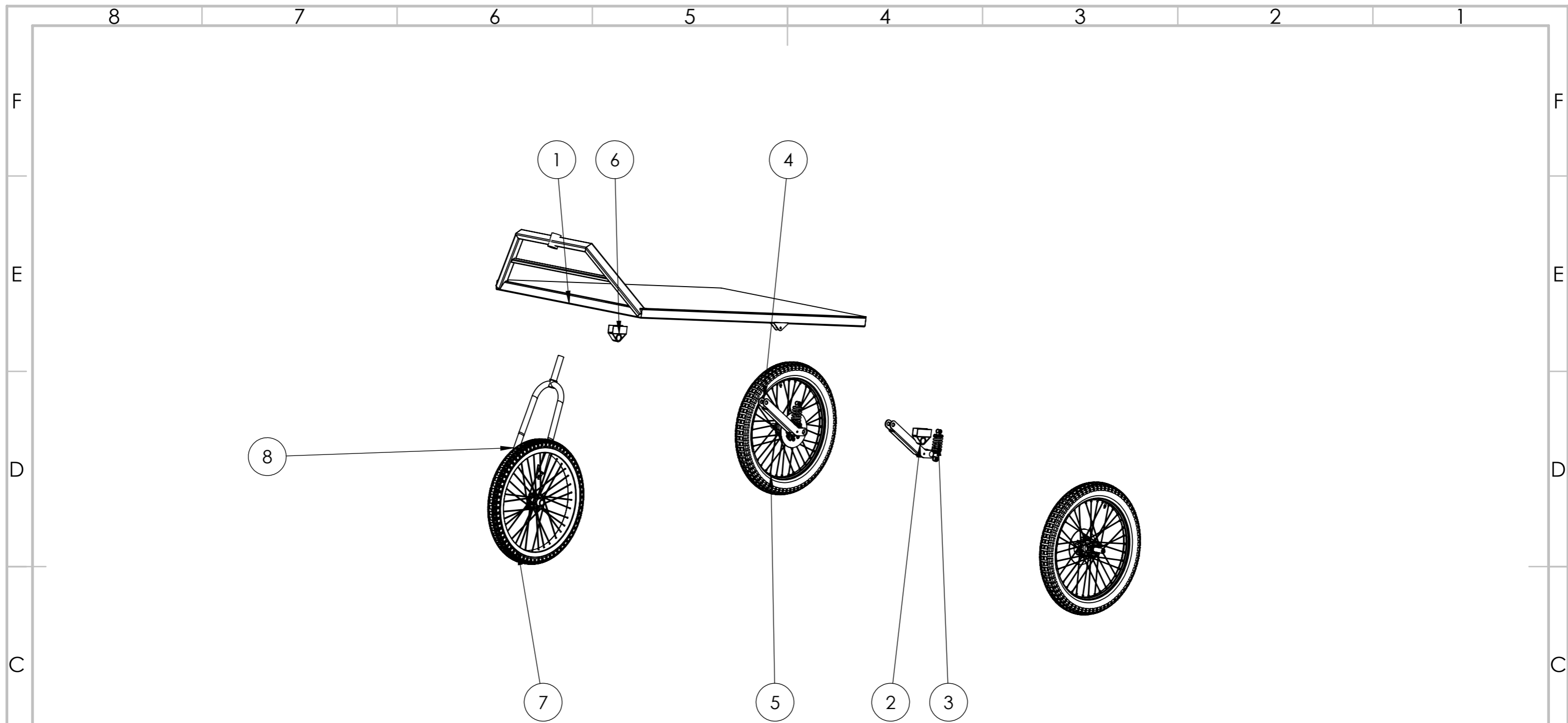
Con un torque de 47.37 Kg*m y un torque de 4 HP y según la ecuación (52), obtenemos unas RPM de:

$$\eta = 61 [RPM]$$

Como conclusiones a los cálculos tenemos que se puede usar un motor eléctrico junto a un reductor de velocidad que arroje en su eje de salida las siguientes características:

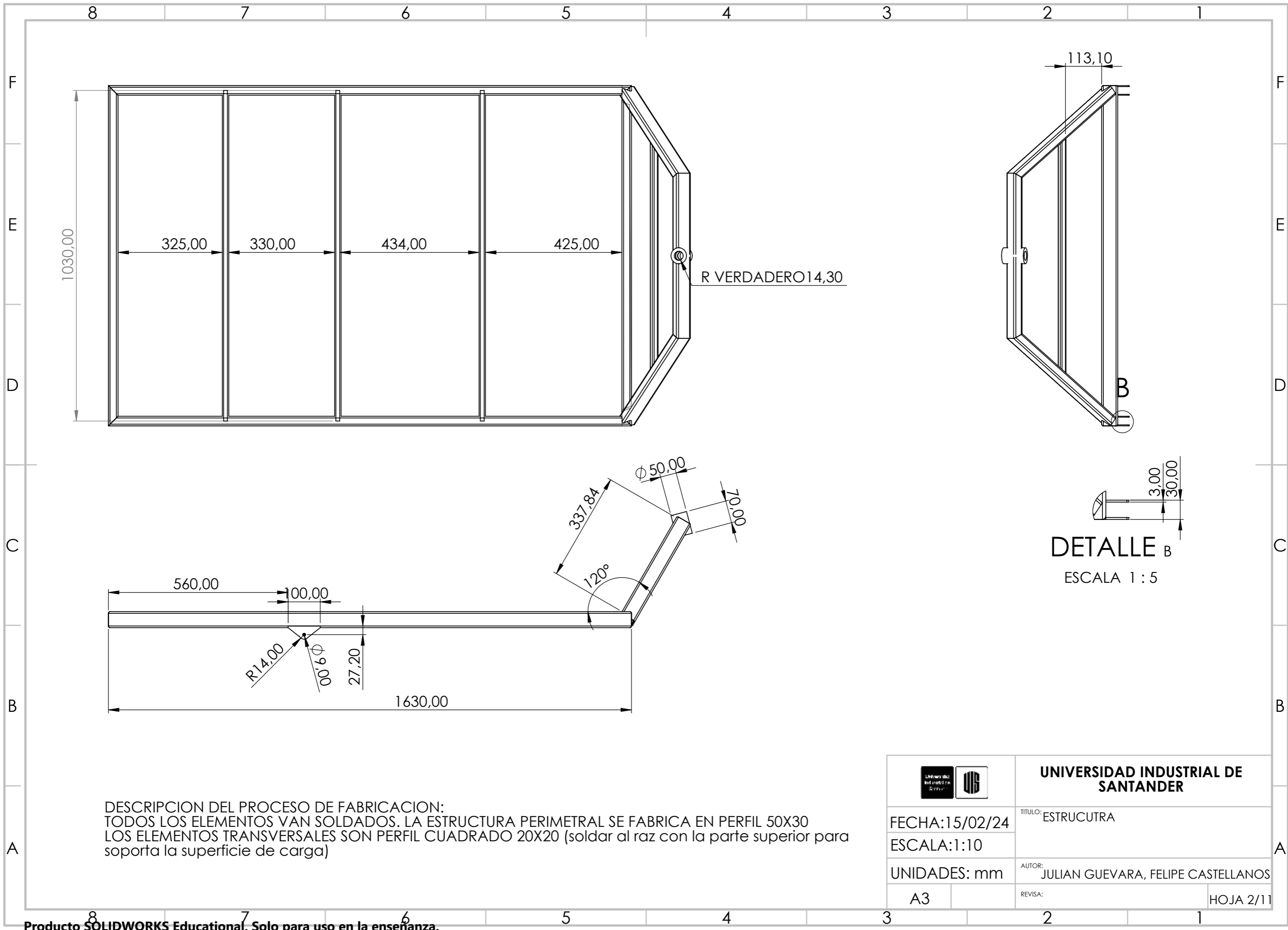
- Potencia requerida: 4 [hp]
- RPM: 100 [RPM]
- Torque: 465 [Nm]

Planos



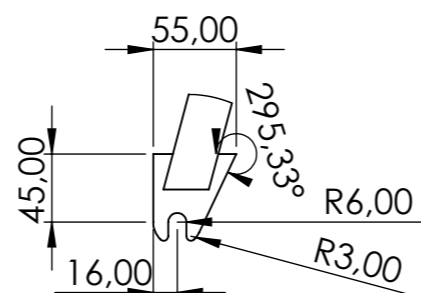
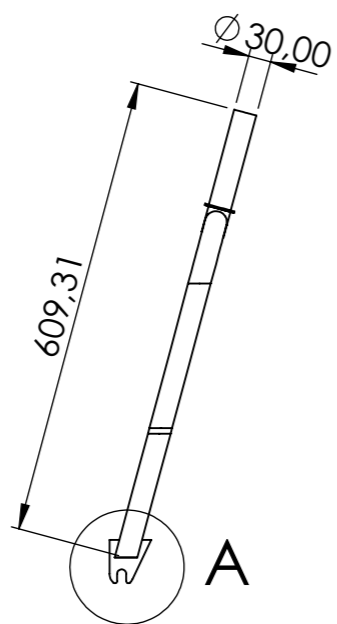
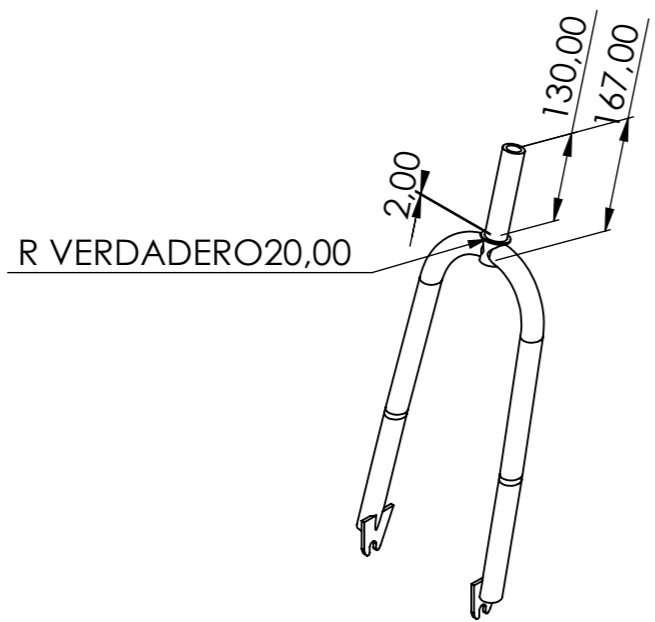
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Chasis		1
2	soporte suspension		1
3	Amortiguador 150 mm	Amortiguador de muelle, 150 mm distancia entre anclajes, muelle de 70 mm de longitud	2
4	tijera		2
5	Rueda Trasera	Front wheel assembly for trials motorcycle	2
6	soporte amortiguador		1
7	Llanta delantera		1
8	Horquilla		1

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 15/02/24 ESCALA: 1:20		TITULO: EXPLOSIONADO SISTEMA ESTRUCTURAL	
UNIDADES: mm		AUTOR: JULIAN GUEVARA, FELIPE CASTELLANOS	
A3		REVIS: HOJA 1/11	



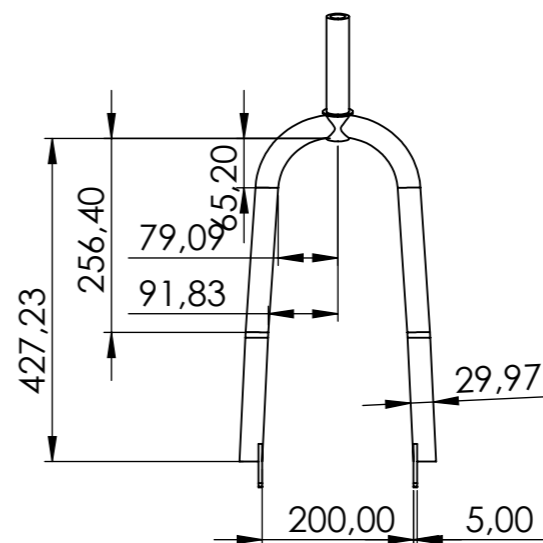
DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION:
 TODOS LOS ELEMENTOS VAN SOLDADOS. LA ESTRUCTURA PERIMETRAL SE FABRICA EN PERFIL 50X30
 LOS ELEMENTOS TRANSVERSALES SON PERFIL CUADRADO 20X20 (soldar al raz con la parte superior para
 soporta la superficie de carga)

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 15/02/24 ESCALA: 1:10		TITULO: ESTRUCTURA	
UNIDADES: mm		AUTOR: JULIAN GUEVARA, FELIPE CASTELLANOS	
A3		REVIS: HOJA 2/11	

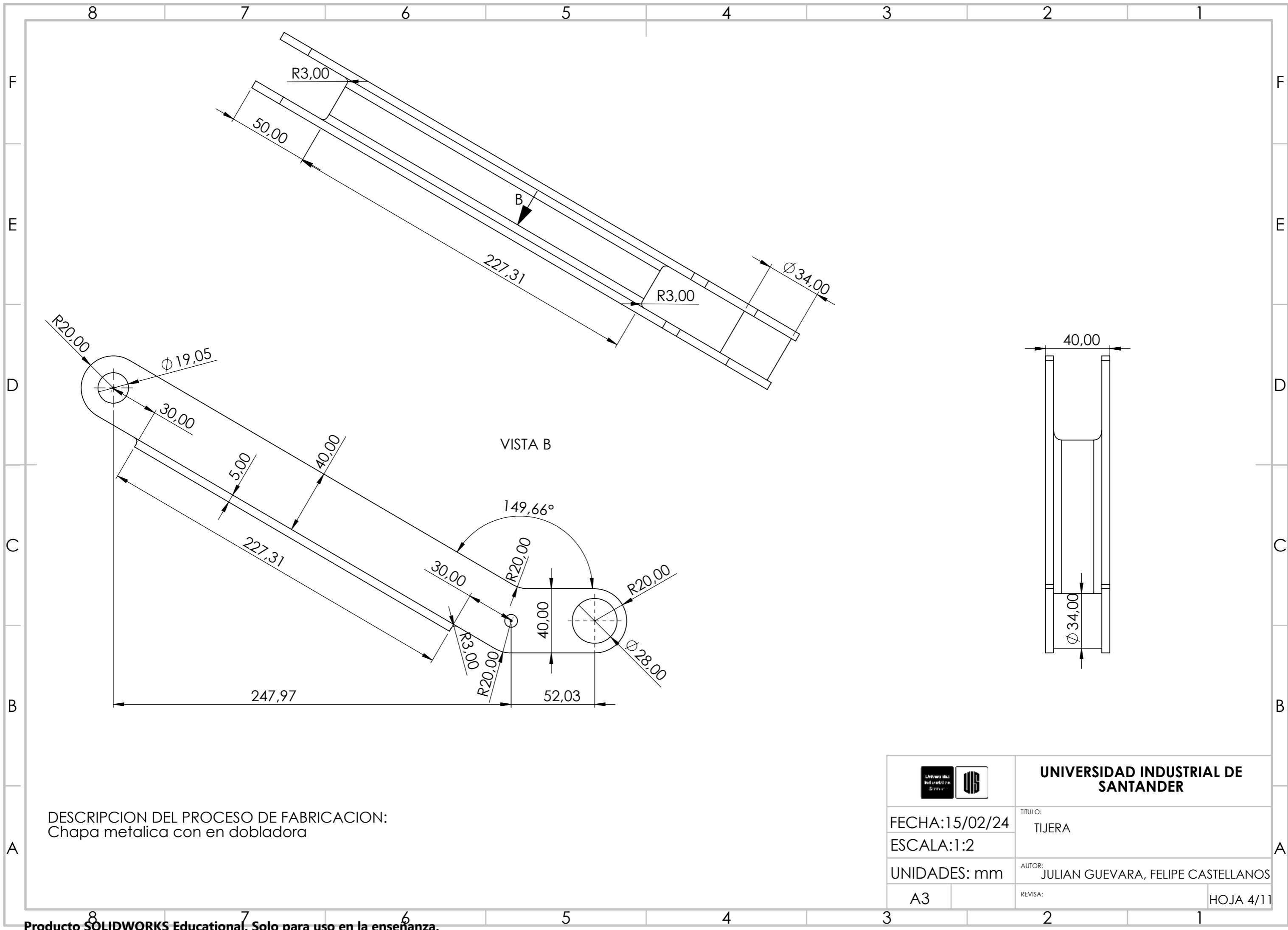


DETALLE A

ESCALA 1 : 5

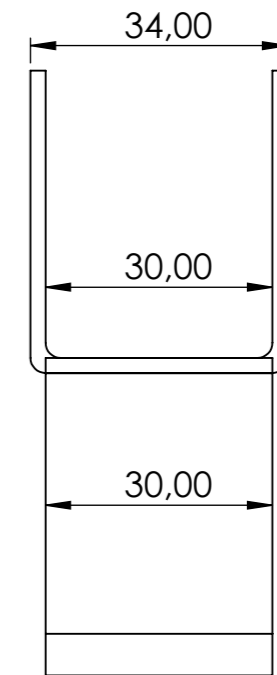
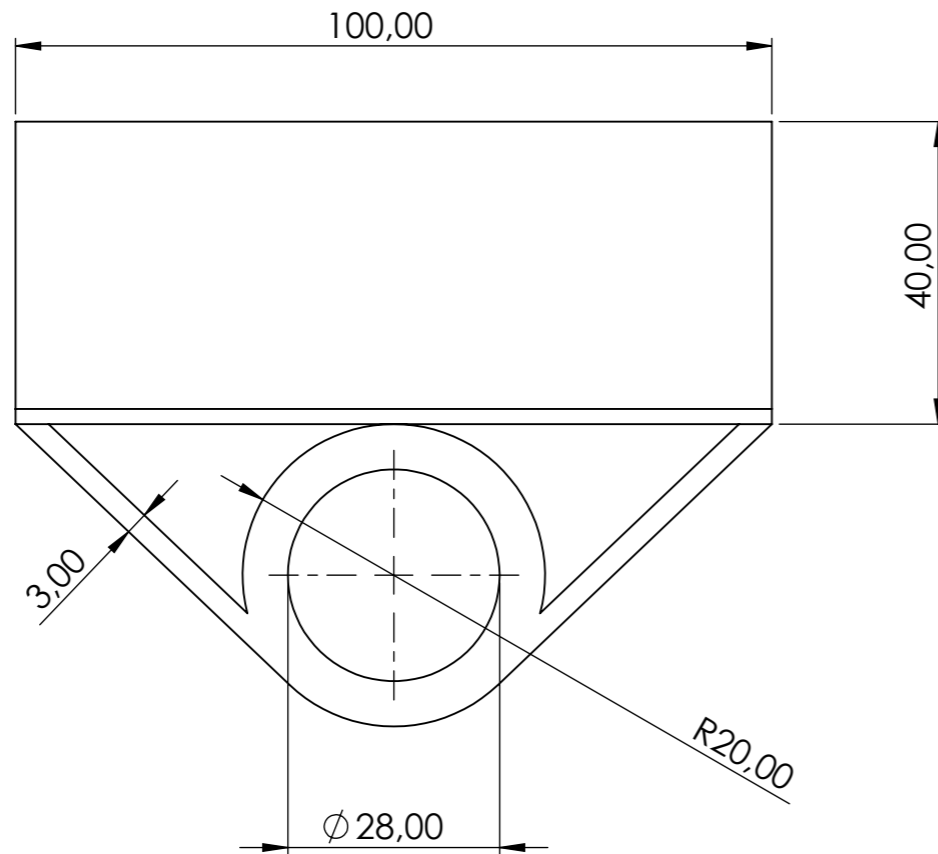
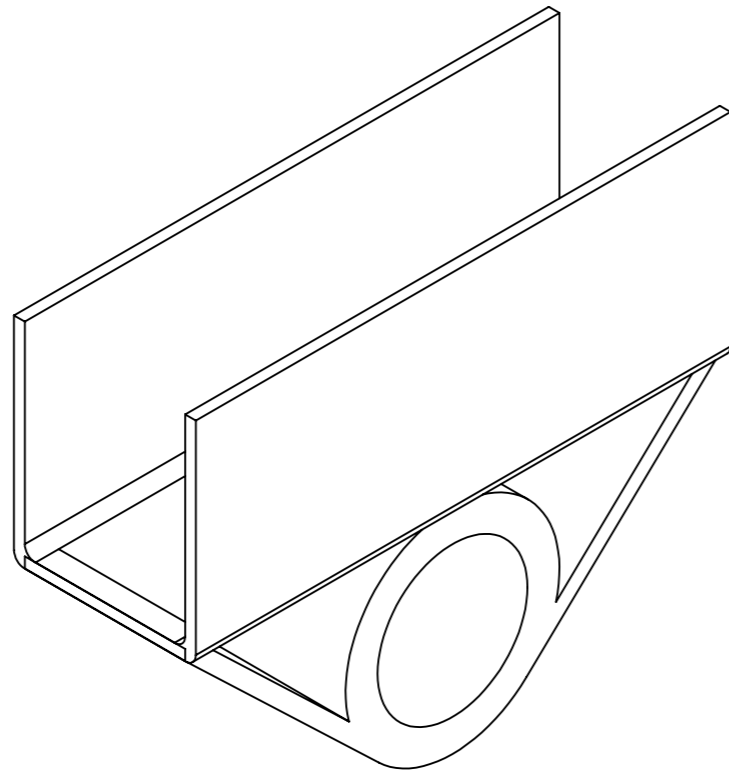


		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 15/02/24		TITULO: HORQUILLA	
ESCALA: 1:10		AUTOR: JULIAN GUEVARA, FELIPE CASTELLANOS	
UNIDADES: mm		REVISIA:	
A3		HOJA 3/11	



DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION:
Chapa metalica con en dobladora

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 15/02/24 ESCALA: 1:2		TITULO: TIJERA	
UNIDADES: mm		AUTOR: JULIAN GUEVARA, FELIPE CASTELLANOS	
A3		REVIS:	HOJA 4/11



DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION:
 USAR CHAPA METALICA, LAS LAMINAS QUE SUJETAN EL ARO SON TANGENTES A ESTE.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 15/02/24

TITULO: SOPORTE DE LA TIJERA

ESCALA: 1:1

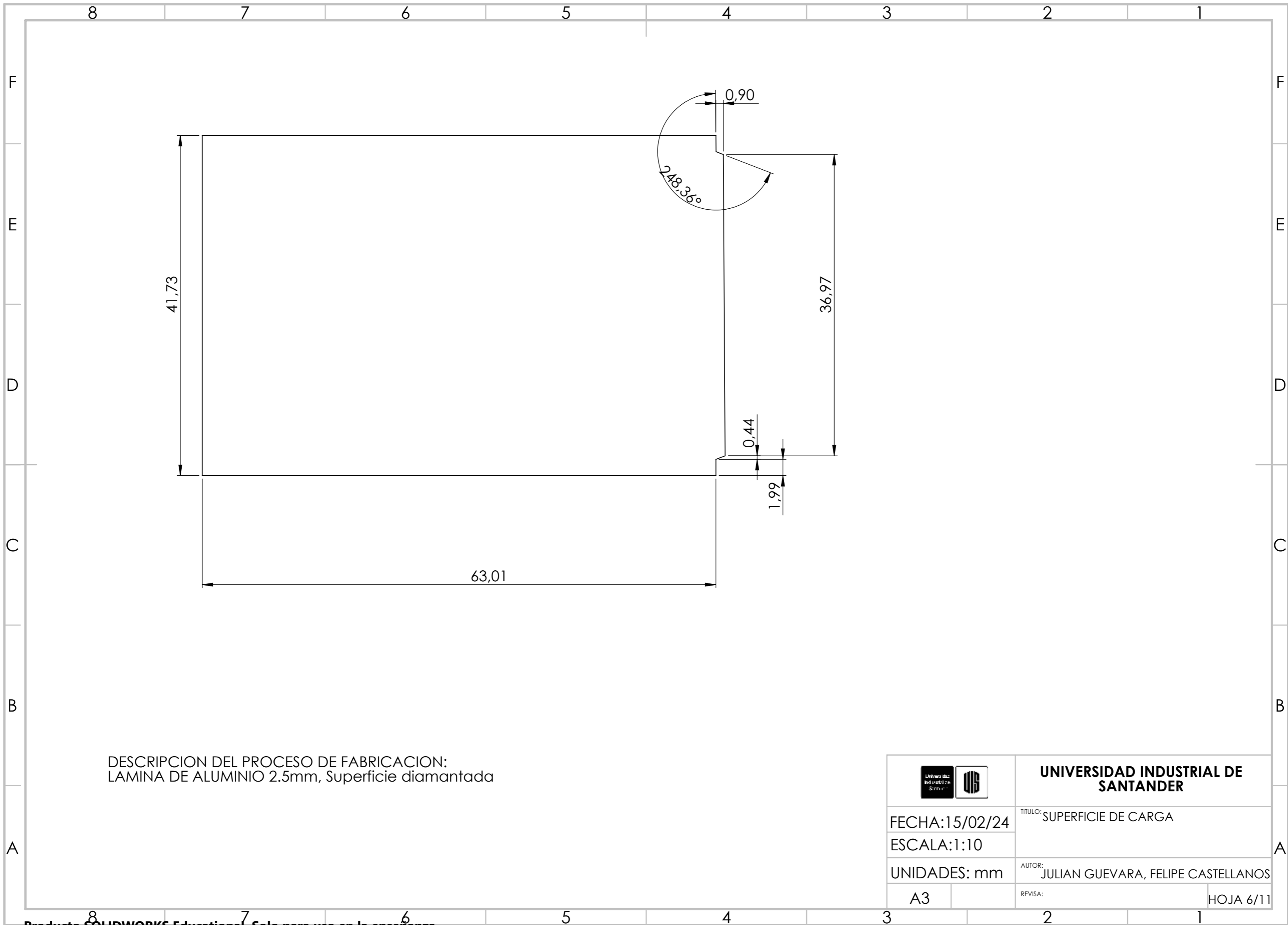
UNIDADES: mm

AUTOR: JULIAN GUEVARA, FELIPE CASTELLANOS

A3

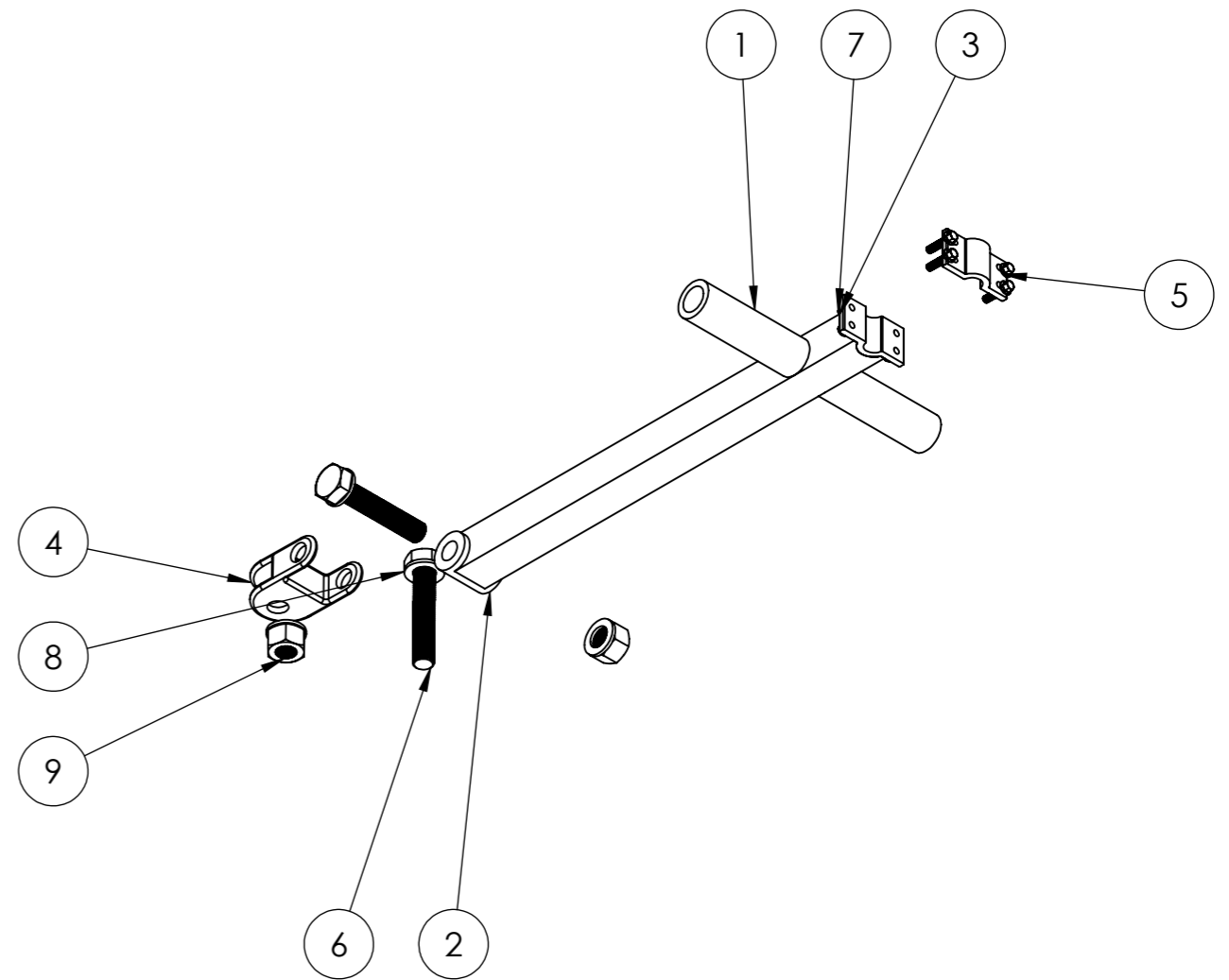
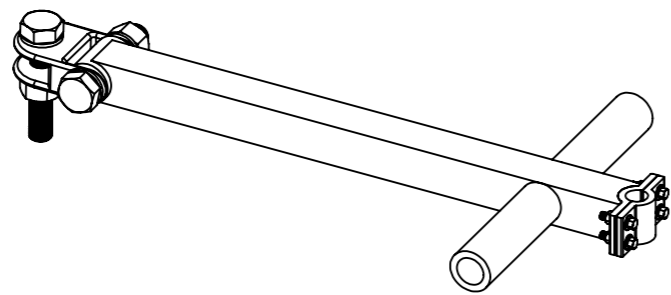
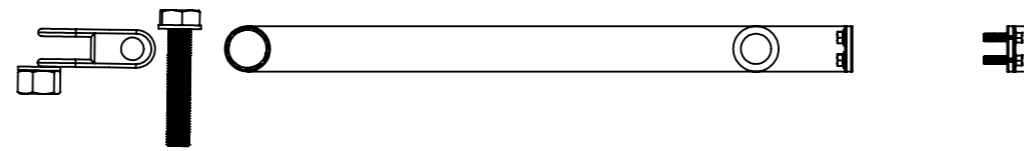
REVISIA:

HOJA 5/11



DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION:
LAMINA DE ALUMINIO 2.5mm, Superficie diamantada

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 15/02/24 ESCALA: 1:10		TITULO: SUPERFICIE DE CARGA	
UNIDADES: mm		AUTOR: JULIAN GUEVARA, FELIPE CASTELLANOS	
A3		REVISIA: HOJA 6/11	

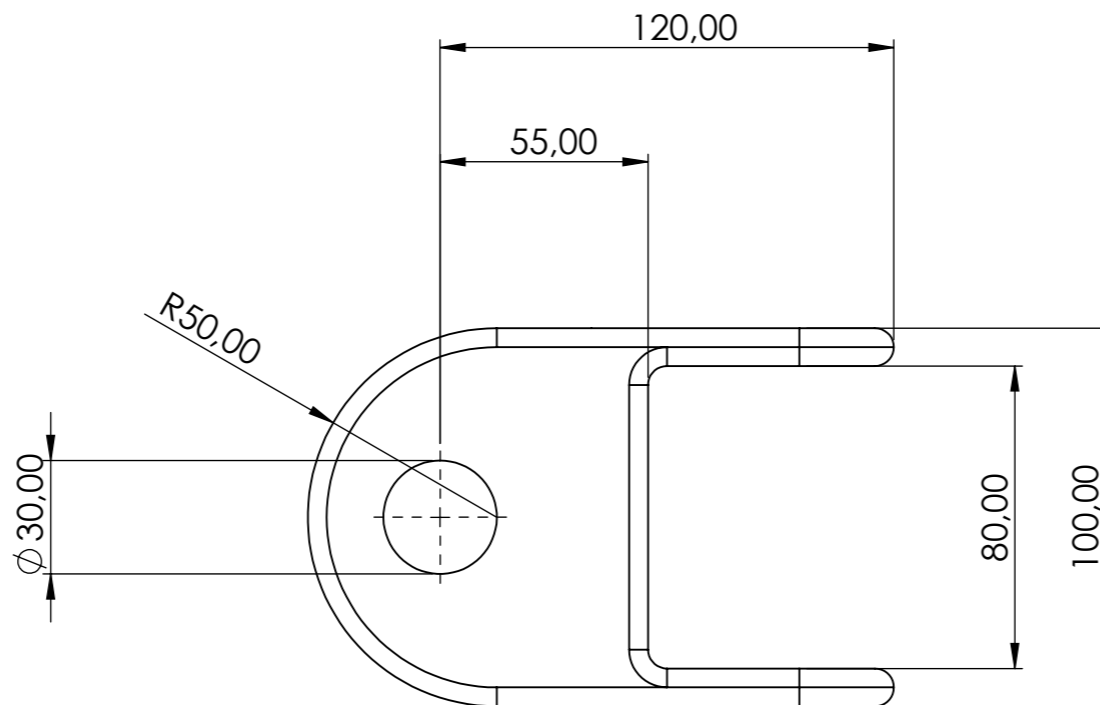
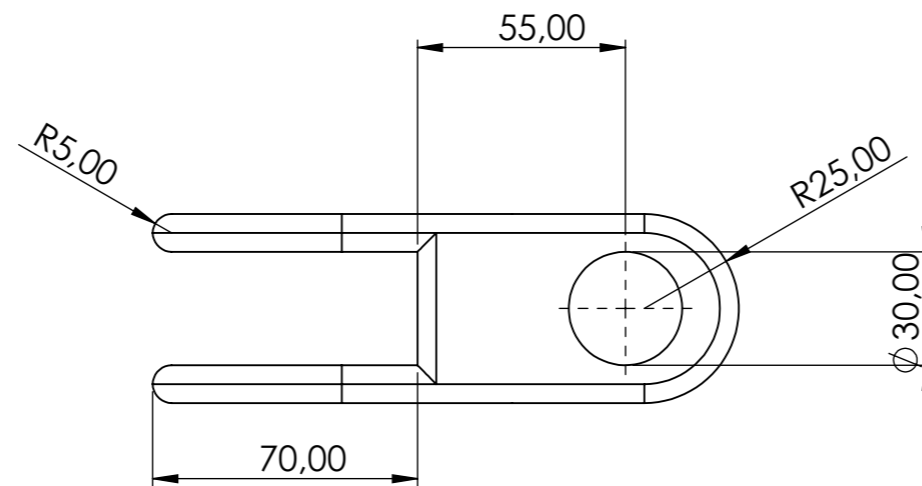
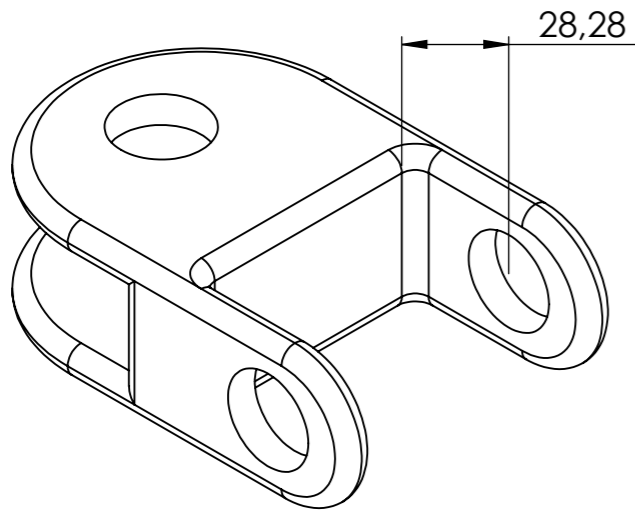


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Barra conexion	1
2	Barril	1
3	Lamina cicla	2
4	Union	1
5	B18.6.7M - M10 x 1.5 x 40 Plain HFMS --40S	4
6	B18.2.3.6M - Heavy hex bolt M30 x 3.5 x 160 --160S	2
7	B18.2.2.4M - Hex flange nut, M10 x 1.5, with 15 WAF --S	4
8	B18.22M - Plain washer, 30 mm, narrow	4
9	B18.2.4.6M - Heavy hex nut, M30 x 3.5 --D-S	2

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 15/02/24 ESCALA: 1:10		TITULO: SISTEMA DE ENGANCHE EXPLOSIONADO	
UNIDADES: mm		AUTOR: JULIAN GUEVARA, FELIPE CASTELLANOS	
A3		REVISIA: HOJA 7/11	

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

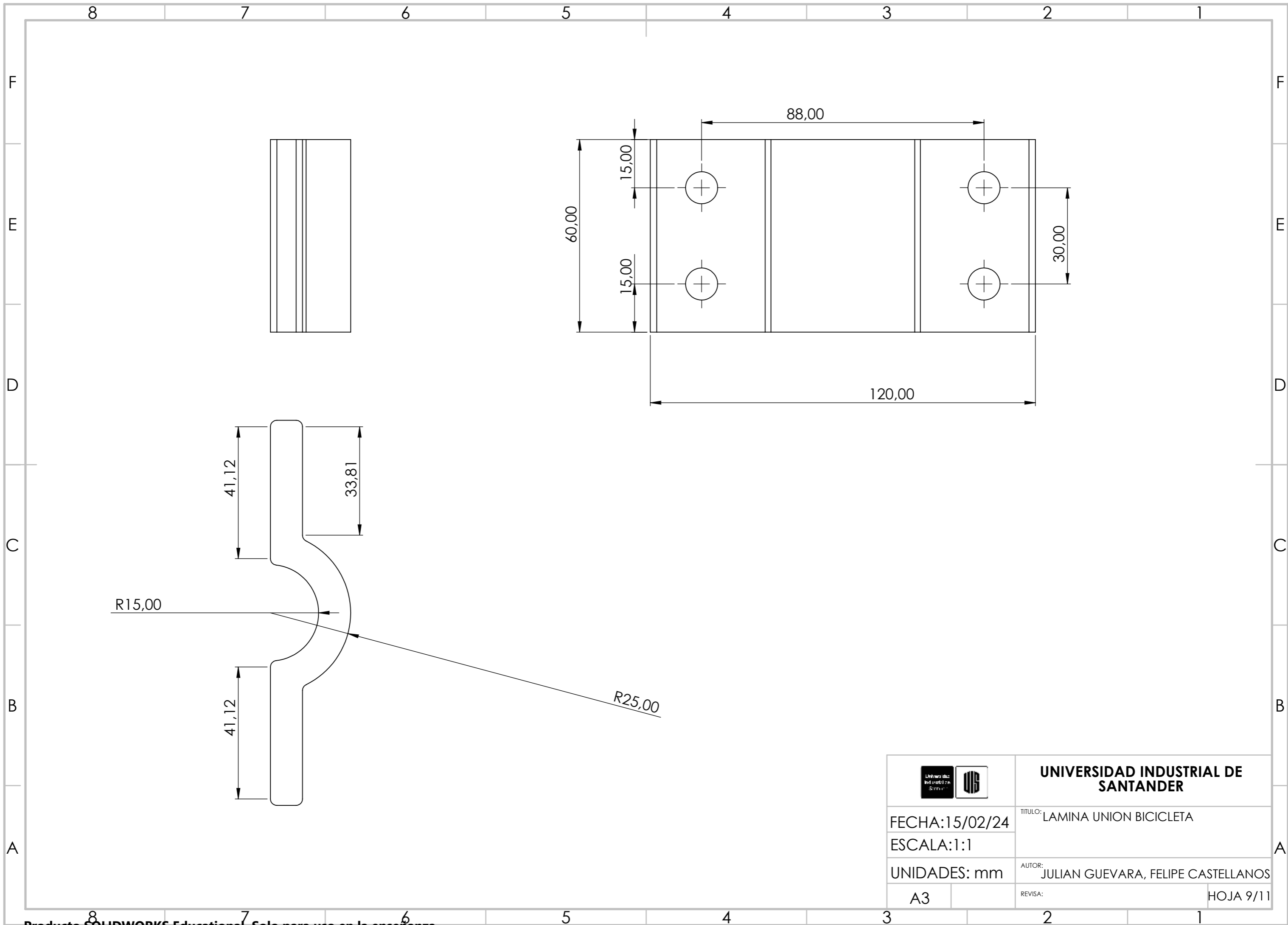


DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION:
PIEZA SE FABRICA A PARTIR DE CHAPA METALICA, TODOS LOS REDONDEOS SON DE 5mm

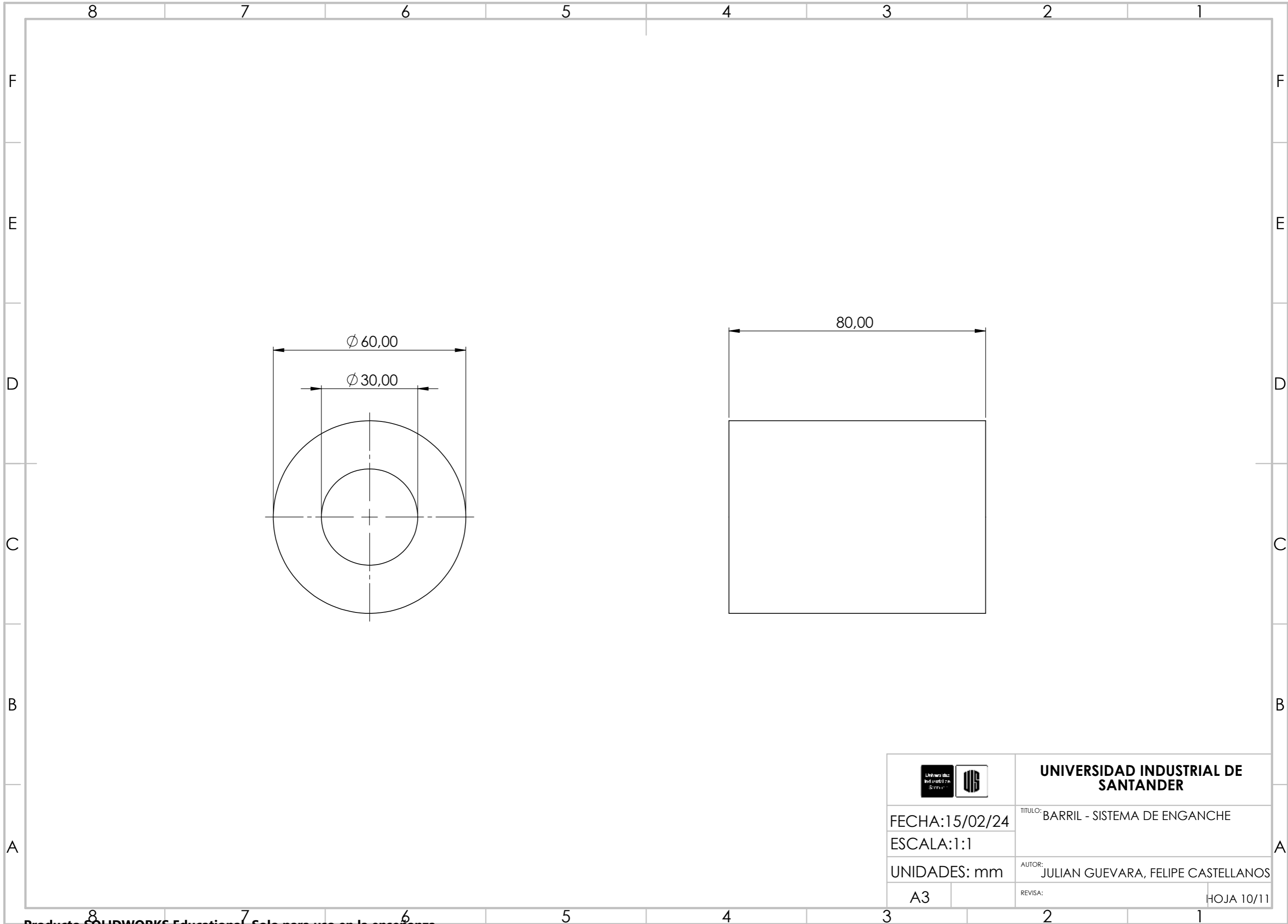
		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 15/02/24		TITULO: UNION	
ESCALA: 1:2		AUTOR: JULIAN GUEVARA, FELIPE CASTELLANOS	
UNIDADES: mm		REVIS:	
A3		HOJA 8/11	

F
E
D
C
B
A

8 7 6 5 4 3 2 1



		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 15/02/24 ESCALA: 1:1		TITULO: LAMINA UNION BICICLETA	
UNIDADES: mm		AUTOR: JULIAN GUEVARA, FELIPE CASTELLANOS	
A3		REVIS:	HOJA 9/11



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 15/02/24

TITULO: BARRIL - SISTEMA DE ENGANCHE

ESCALA: 1:1

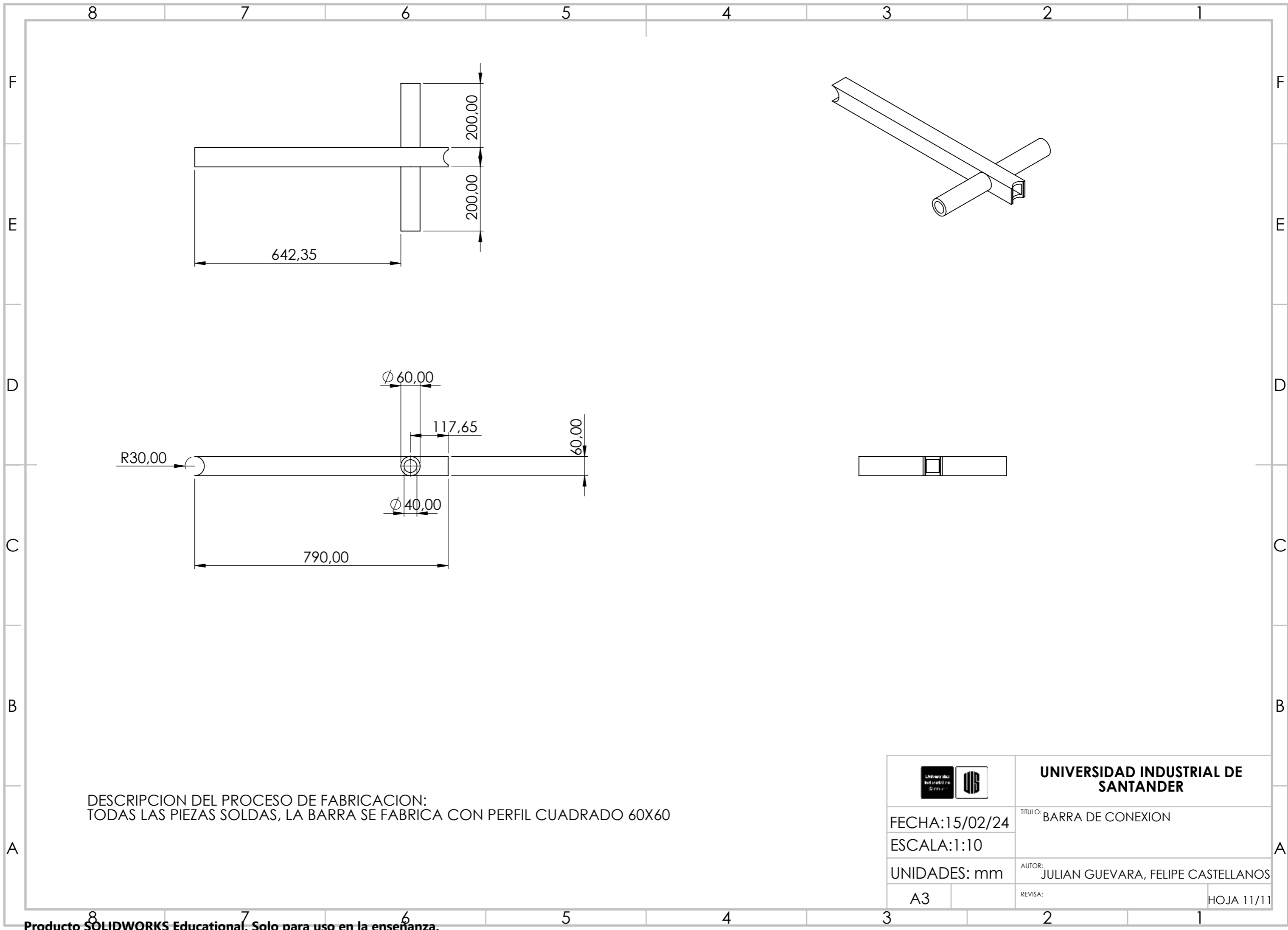
UNIDADES: mm

AUTOR: JULIAN GUEVARA, FELIPE CASTELLANOS

A3

REVIS:

HOJA 10/11



DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION:
 TODAS LAS PIEZAS SOLDAS, LA BARRA SE FABRICA CON PERFIL CUADRADO 60X60

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 15/02/24 ESCALA: 1:10		TITULO: BARRA DE CONEXION	
UNIDADES: mm		AUTOR: JULIAN GUEVARA, FELIPE CASTELLANOS	
A3		REVIS: HOJA 11/11	