

DESARROLLO DE SCOOTER TIPO ELÍPTICA CON ASISTENCIA ELÉCTRICA DE BAJO COSTO

Autor:

BRAYAN JESUS GARAVITO URIZA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA

FALCULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BUCARAMANGA

2022

DESARROLLO DE SCOOTER TIPO ELÍPTICA CON ASISTENCIA ELÉCTRICA DE BAJO COSTO

Autor:

BRAYAN JESUS GARAVITO URIZA

Director del proyecto:

SERGIO ANDRÉS ARDILA GÓMEZ

Codirector del proyecto:

JOHAN BARRAGAN GOMEZ

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA

FALCULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BUCARAMANGA

2022

## TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Descripción del problema .....	11
1.2. Justificación del Problema .....	11
CAPITULO 2. OBJETIVOS.....	12
2.1. Objetivo general.....	12
2.2. Objetivos específicos.....	12
CAPITULO 3. ESTADO DEL ARTE .....	13
CAPITULO 4. MARCO TEORICO .....	16
4.1. Estudio estático.....	16
4.2. Estudio dinámico.....	17
4.3. Conservación de la energía involucrada en la bicicleta .....	19
4.4. El motor eléctrico.....	25
4.5. Potencia del motor .....	27
CAPITULO 5. METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO.....	28
5.1. Metodología de trabajo .....	28
5.2. Plan de trabajo.....	29
5.3. Resultados esperados .....	31
CAPITULO 6. DESARROLLO DEL PROYECTO .....	32
6.1. Sistema de transmisión de potencia mecánica.....	32
6.2. Potencia transmitida .....	42
6.3. Relación de engranajes .....	43
6.4. Tipo de frenos a utilizar .....	44
6.5. Potencia del motor eléctrico.....	44
6.6. Selección de motor eléctrico .....	47
6.7. Selección de la Batería .....	48
6.8. Selección del controlador .....	49
6.9. Diseño CAD.....	49
6.9.1 Diseño inicial de chasis.....	49
6.9.2 Diseño número de 2 de chasis .....	50
6.9.3 Modelo número 3 de chasis.....	51
6.9.4 Diseño inicial de pedal .....	52
6.9.5 Diseño número dos de pedales.....	52

6.9.6 Diseño inicial del “tacón” para pedales .....	52
6.9.7 Diseño final de “tacón” y plataforma de pedales .....	53
6.10. Longitud de la cadena .....	54
6.11. Selección de materiales del chasis.....	55
6.12. Simulaciones realizadas .....	55
6.12.1. Preparativos para el análisis en SolidWorks .....	55
6.12.2. Análisis de chasis.....	55
6.12.2.1. Tensiones en chasis.....	57
6.12.2.2. Desplazamientos en chasis .....	57
6.12.2.3. Factor de seguridad en chasis.....	58
6.12.2.4. Fatiga en chasis .....	58
6.12.2.5. Convergencia de análisis en chasis .....	59
6.13. Conclusiones de los análisis realizados.....	60
CAPITULO 7. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO .....	61
7.1. Selección de materiales de construcción.....	61
7.2. Adecuaciones al material de construcción seleccionado .....	61
7.3. Construcción del chasis.....	63
7.4. Construcción y maquinado del sistema de pedaleo .....	65
7.5. Construcción de sistema de dirección .....	67
7.6. Pruebas preliminares del proyecto.....	68
7.7. Pintura y ensamble final del prototipo .....	68
7.8. Recursos económicos utilizados .....	69
CAPITULO 8. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	71
8.1. Selección de usuarios para realizar pruebas y preparativos.....	71
8.2. Identificación del circuito de pruebas.....	73
8.3. Entrenamiento de los usuarios en el manejo del prototipo .....	75
8.4. Elementos utilizados para la medición de parámetros.....	75
8.5. Inicio de pruebas de funcionamiento .....	76
8.5.1. Potencia real suministrada .....	76
8.5.2. Pruebas de funcionamiento en ruta 1 (Jardín/CSU) .....	77
8.5.3. Pruebas funcionamiento en ruta 2 (Csu/Jardín).....	78
8.5.4. Pruebas de rendimiento en sector crítico – Ruta 1 .....	79
8.6. Pruebas adicionales de comparación .....	80
8.6.1. Recorridos realizado en bicicleta convencional.....	80
8.6.2. Recorrido en caminata.....	81

8.7. Comparación de resultados obtenidos .....	82
CAPITULO 9. TRABAJO A FUTURO.....	84
CAPITULO 9. CONCLUSIONES.....	85
BIBLIOGRAFIA.....	87
ANEXO 1. SIMULACIONES ADICIONALES .....	90
1.1. Análisis de esfuerzo delantero - Chasis.....	90
1.1.1. Análisis de tensión en chasis – esfuerzo delantero .....	90
1.1.2. Análisis de desplazamiento en chasis – esfuerzo delantero.....	91
1.1.3. Análisis de factor de seguridad en chasis – esfuerzo delantero .....	91
1.2. Análisis de esfuerzo trasero - Chasis.....	91
1.2.1. Análisis de tensión en chasis – esfuerzo trasero.....	92
1.2.2. Análisis de desplazamiento en chasis – esfuerzo trasero .....	92
1.2.3. Análisis de factor de seguridad en chasis – esfuerzo trasero .....	93
1.3. Análisis de pedal .....	93
1.3.1. Análisis de tensión en pedales.....	94
1.3.2. Análisis de desplazamientos en pedales.....	94
1.3.3. Análisis de Factor de seguridad en pedales .....	95
1.4. Análisis de ensamble.....	95
1.4.1. Análisis de tensione en ensamble.....	96
1.4.2. Análisis de desplazamientos en ensamble.....	97
1.4.3. Análisis de factor de seguridad en ensamble .....	98
1.5. Análisis de ensamble con diferente posición.....	98
1.5.1. Análisis de tensión en ensamble – Diferente posición .....	99
1.5.2. Análisis de desplazamiento en ensamble – Diferente posición.....	100
1.5.3. Análisis de factor de seguridad en ensamble – Diferente posición .....	101
ANEXO 2. RESULTADOS DE PRUEBAS EN PISTA .....	102
2.1. Anexo resultados en pruebas de funcionamiento .....	102
2.2. Resultados ruta 1 – usuario 1 .....	102
2.3. Resultados ruta 2 – usuario 1 .....	103
2.4. Resultados ruta 1 – usuario 2 .....	105
2.5. Resultados ruta 2 – usuario 2 .....	107

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Bicicleta “pedelec”. [10].....	13
Figura 2. Primeros modelos de los patinetes. [11] .....	13
Figura 3. Patente 2002. [12].....	14
Figura 4. Modelo ElliptiGo del año 2010. [13] .....	14
Figura 5. Fuerzas estáticas en una scooter elíptico. ....	16
Figura 6. Fuerzas dinámicas en una scooter elíptica. ....	18
Figura 7. Fuerza ejercida por una persona de pie. [23] .....	19
Figura 8. Dirección del momento angular para un cuerpo en rotación. [24] .....	22
Figura 9. Momento generado al aplicar una fuerza a un elemento en rotación. [24] .....	23
Figura 10. Fuerzas producidas al tomar una curva. [24].....	24
Figura 11. Estator de motores brushless. [11].....	25
Figura 12. Configuraciones de los imanes en el rotor. [11] .....	26
Figura 13. Diagrama de cuerpo libre de rueda. [25].....	27
Figura 14. Esquema general de la metodología FourSight. [26].....	28
Figura 15. Medidas antropométricas mujeres [27]. ....	32
Figura 16. Medidas antropométricas promedio en hombres [27]. ....	34
Figura 17. Semejanzas entre subir escaleras con el mecanismo elíptico [28].....	35
Figura 18. Posición ergonómica en bicicleta convencional [29]. ....	36
Figura 19. Ergonomía en un scooter. Modificada por el autor. [30] .....	36
Figura 20. Medidas antropomórficas del cuerpo. Fuente: [27].....	37
Figura 21. Sistema de pedaleo elíptico. ....	37
Figura 22. Relación óptima en sistema de marchas. [31] .....	38
Figura 23. Diagrama de cuerpo libre de pedal a 0°. ....	40
Figura 24. DCL motor en rueda. [25].....	44
Figura 25. Motor hub. ....	47
Figura 26. Diseño inicial de chasis.....	49
Figura 27. Análisis de tensión en diseño inicial de chasis. ....	49
Figura 28. Análisis de desplazamiento en diseño inicial de chasis. ....	50
Figura 29. Diseño número dos de chasis. ....	51
Figura 30. Diseño número tres de chasis. ....	51
Figura 31. Diseño inicial de base para el pedal. ....	52
Figura 32. Diseño final de base para el pedal. ....	52
Figura 33. Diseño inicial de “tacón” y plataforma de pedal.....	53
Figura 34. Modelo final de pedal con “tacón” y plataforma. ....	53
Figura 35. Ensamblaje preliminar del prototipo. ....	54
Figura 36. Longitud de cadena. [31] .....	55
Figura 37. Carga y sujeción en análisis de chasis. ....	56
Figura 38. Parámetros de malla en chasis. ....	56
Figura 39. Tensiones en análisis de chasis. ....	57
Figura 40. Desplazamientos en análisis de chasis.....	57
Figura 41. Factor de seguridad en chasis.....	58
Figura 42. Fatiga presentada en análisis de chasis. ....	58
Figura 43. Convergencia en análisis de chasis. ....	59

Figura 71. Selección de material - Chasis.....	61
Figura 72. Herramientas utilizadas para adecuar el material base. ....	61
Figura 73. Planos del chasis. ....	62
Figura 74. Proceso de doblado del material base. ....	62
Figura 75. Cilindradora eléctrica. ....	63
Figura 76. Adecuación del material base.....	63
Figura 77. Ensamblaje inicial del chasis. ....	64
Figura 78. Incorporación de soportes estructurales en el chasis. ....	64
Figura 79. Instalación de caja pedalier.....	64
Figura 80. Fabricación de soportes para pedales. ....	65
Figura 81. Subensamblaje de pedales.....	65
Figura 82. Cuerpo de pedales. ....	66
Figura 83. Adecuación de bielas. ....	66
Figura 84. Prueba de funcionamiento del mecanismo de pedaleo. ....	66
Figura 85. Fabricación de "tacón". ....	67
Figura 86. Fabricación de manubrio y sistema direccional.....	67
Figura 87. Refuerzo instalado en el chasis.....	68
Figura 88. Prueba de funcionamiento. ....	68
Figura 89. Pintura y ensamble del prototipo. ....	69
Figura 90. Instalación de sistema de asistencia eléctrica. ....	69
Figura 91. Prototipo totalmente construido.....	69
Figura 92. Usuario 1 (izquierda) y Usuario 2 (Derecha).....	71
Figura 93. Sensor de pedaleo PAS. [36].....	72
Figura 94. Acelerador tipo moto. [37].....	72
Figura 95. Trazada ruta 1. ....	73
Figura 96. Mapa de altura - Ruta 1. ....	73
Figura 97. Trazada ruta 2. ....	74
Figura 98. Mapa de altura - Ruta 2. ....	74
Figura 99. Entrenamiento de los usuarios en el uso del prototipo.....	75
Figura 100. Equipos de medición utilizados en las pruebas. ....	76
Figura 101. Inicio del recorrido 1. ....	77
Figura 102. Finalización de Ruta 1. ....	78
Figura 103. Inicio de la ruta 2.....	79
Figura 104. Pruebas de funcionamiento en el sector crítico de los recorridos. ....	80
Figura 105. Recorrido realizado en bicicleta.....	81
Figura 106. Ruta 3. Desplazamientos a pie.....	81
Figura 107. Recopilación de resultados – Tiempo [min].....	82
Figura 108. Recopilación de resultados - Energía [Kcal]. ....	82
Figura 109 Preparación análisis de esfuerzo delantero.....	90
Figura 110 Resultados análisis de esfuerzo delantero - Tensión.....	90
Figura 111 Resultado análisis de esfuerzo delantero – Desplazamientos.....	91
Figura 112. Factor de seguridad en análisis de esfuerzo delantero. ....	91
Figura 115. Preparación análisis de esfuerzo trasero. ....	92
Figura 116. Resultado análisis de esfuerzo trasero - Tensión.....	92
Figura 117. Desplazamiento en análisis de esfuerzo trasero.....	92
Figura 118. Factor de seguridad en análisis de esfuerzo trasero.....	93
Figura 44. Modelo y mallado del pedal.....	93

Figura 45. Parámetros de malla utilizada en pruebas al pedal.....	94
Figura 46. Tensiones presentadas en pedales.....	94
Figura 47. Desplazamientos presentados en pedales.....	95
Figura 48. Factor de seguridad en pedales.....	95
Figura 51 Preparación de chasis para las simulaciones en SolidWorks.....	95
Figura 52. Sujeción y cargas en simulación – Pedales en horizontal.....	96
Figura 53. Parámetros de malla en análisis de ensamble.....	96
Figura 54. Tensiones presentadas en análisis con pedales en horizontal.....	97
Figura 55 Zona con mayor tensión en análisis con pedales en horizontal.....	97
Figura 56. Desplazamientos presentados en análisis con pedales en horizontal.....	98
Figura 57. Factor de seguridad con pedales en horizontal.....	98
Figura 62. Simulación de ensamble con diferente posición de pedales.....	99
Figura 63. Parámetros de malla en análisis de ensamble 2.....	99
Figura 64. Análisis de tensiones con pedales en diagonal.....	100
Figura 65. Punto de mayor tensión en análisis con pedales en diagonal.....	100
Figura 66. Desplazamientos en análisis con pedales en diagonal.....	100
Figura 67. Factor de seguridad en análisis con pedales en diagonal.....	101

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes de rozamiento y rodadura entre neumáticos y diferentes superficies. [17].....	18
Tabla 2. Comparativa entre motor DC convencional y motor Brushless. [11] .....	25
Tabla 3. Actividades del proyecto durante Seminario profesional.....	30
Tabla 4. Actividades del proyecto durante Proyecto de grado.....	30
Tabla 5. Cronograma de actividades en Seminario profesional. ....	31
Tabla 6. Cronograma de actividades en Proyecto de grado. ....	31
Tabla 7. Medidas antropométricas mujeres [27].....	33
Tabla 8. Medidas antropométricas hombres [27]. ....	35
Tabla 9. Medidas antropomórficas. Fuente: [27] .....	37
Tabla 10. Matriz QFD para la selección de la cantidad de platos. ....	38
Tabla 11. Matriz QFD para la selección del tamaño de plato. ....	39
Tabla 12. Matriz QFD para selección del tipo de velocidades .....	39
Tabla 13. Matriz QFD para la selección del piñón.....	39
Tabla 14. Posiciones de interés en el recorrido del pedal. Fuente: autor .....	41
Tabla 15. Diferentes potencias transmitidas. ....	43
Tabla 16. Matriz QFD tamaño de ruedas del prototipo.....	43
Tabla 17. Relación de engranaje. ....	43
Tabla 18. Matriz QFD Selección de frenos. ....	44
Tabla 19. Potencia requerida por el motor.....	46
Tabla 20. Matriz QFD para la selección de la posición del motor eléctrico.....	47
Tabla 21. Selección del motor eléctrico.....	47
Tabla 22. Resultados análisis de conversión de malla en chasis.....	59
Tabla 23. Lista de precios para la elaboración del proyecto.....	70
Tabla 24. Características físicas de los usuarios.....	71
Tabla 25. Niveles de asistencia eléctrica con su correspondiente velocidad máxima. ....	72
Tabla 26. Información de cada tramo - Ruta 1. ....	73
Tabla 27. Información de cada tramo – Ruta 2.....	74
Tabla 28. Resumen de resultados - Ruta 1.....	78
Tabla 29. Resumen de resultados - Ruta 2.....	79
Tabla 30. Resultados en sector crítico. ....	80
Tabla 31. Resultados recorridos en bicicleta .....	81
Tabla 32. Resultados - Caminata.....	81
Tabla 33. Características de los usuarios. ....	102
Tabla 34. Resultados Ruta 1 - Usuario 1. ....	103
Tabla 35. Resumen de resultados Ruta 1 - Usuario 1. ....	103
Tabla 36. Resultado Ruta 2 - Usuario 1.....	105
Tabla 37. Resumen de resultados - Ruta 2 Usuario 1. ....	105
Tabla 38. Resultados Ruta 1 - Usuario 2. ....	106
Tabla 39. Resumen de resultados Ruta 1 - Usuario 2. ....	106
Tabla 40. Resultados Ruta 2 - Usuario 2. ....	107
Tabla 41. Resumen de resultados Ruta 2 - Usuario 2. ....	107

# CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Descripción del problema

La movilidad dentro de las ciudades está cambiando debido a la circulación de más vehículos, la falta de una infraestructura vial óptima y la llegada de alternativas que intentan disminuir las emisiones contaminantes en el ambiente provenientes de los vehículos de combustión. Por lo cual, se está dando al mercado de los vehículos eléctricos la oportunidad de abrirse paso en el día a día de las personas, sin importar la edad, género o condición física.

Sin embargo, a pesar de los beneficios que trae consigo los vehículos eléctricos, la realidad es que no son tan comunes en Colombia, ya que es un vehículo de nicho, que sólo personas con alto poder adquisitivo pueden comprar.

## 1.2. Justificación del Problema

El incremento del parque automotor en la ciudad de Bucaramanga se refleja mensualmente en la matrícula de alrededor de 4300 nuevos vehículos [1], donde el 65,16% de estos son motocicletas, que a su vez ha traído consigo problemas de movilidad en la ciudad siendo más notorio en las horas pico. Todo esto ha contribuido a la situación ambiental que actualmente enfrenta la ciudad, en donde los niveles de polución en el aire están en un rango de 51 – 100 en el índice de calidad del aire (AQI) lo que equivale a un rango de 15.5 a 40.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de material particulado en el aire de un día promedio, el cual es perjudicial para grupos sensibles en la población [2]. Es por estas razones que la ciudadanía empieza a considerar la adquisición de algún tipo de transporte alternativo que sean de fácil uso, versátil y amigable con el ambiente, ya sean vehículos eléctricos, scooters, entre otros; Pero estos tipos de transportes tienen costos elevados que rondan los 3 millones de pesos COP [3], lo cual hace que estas alternativas no sean asequibles para todas las personas. Por lo tanto, se necesita fomentar desde las Universidades, centros de investigación y entidades privadas, la creación de opciones de movilidad alternativas que usen energías limpias y que sean asequibles para el público en general. Además, se debe resaltar el apoyo de los gobiernos para el fomento de estos proyectos que contribuyen a la mejoría del medio ambiente, tal como se indica en los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. (Objetivo 11, Ciudades y comunidades sostenibles. PNUD) [4].

Como opción de solución a dicha problemática se escoge un scooter tipo elíptica con asistencia eléctrica. Ya que con este tipo de vehículo se produce una fuerza efectiva alrededor de un 200% del peso del usuario mientras que con una bicicleta convencional solo se logra un 70% [5] [6]. Además de tener un bajo impacto en las articulaciones inferiores y hacer uso de la mayoría de los músculos del cuerpo, lo cual hace que el esfuerzo sea distribuido [7]; Por otro lado, al ser fabricado nacionalmente su costo es mucho menor que los productos similares fabricados e importados, lo que lo hace más asequible en el mercado [3] y al ser un vehículo con asistencia eléctrica su uso es mayor al ser comparado con vehículo netamente mecánico, esto dado a su autonomía, el esfuerzo físico aplicado por el usuario y su distancia recorrida tanto en terreno plano como en terreno inclinado [8] [9].

## **CAPITULO 2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Desarrollar un scooter tipo elíptica con asistencia eléctrica de bajo costo para la movilidad de las personas en Bucaramanga.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Diseñar el chasis y el sistema de transmisión de potencia del scooter tipo elíptica teniendo en cuenta criterios de ergonomía para el usuario, el análisis estructural, esfuerzo máximo, factor de seguridad y resistencia a la fatiga por el método de elementos finitos.
- Seleccionar el sistema de control de velocidad, motor eléctrico, batería, accesorios mecánicos y eléctricos (luces, frenos, nivel de carga).
- Construir el prototipo funcional del scooter tipo elíptica con asistencia eléctrica.
- Realizar pruebas de funcionamiento en carretera para el circuito comprendido entre la Unab Jardín y el CSU.

## CAPITULO 3. ESTADO DEL ARTE

Los vehículos con asistencia eléctrica se remontan al año 1989, donde la empresa Dolphin E-bikes diseña el primer prototipo de "Pedelec" (vehículo con sistema de pedaleo asistido). Los cuales fueron comercializados a partir de 1992 a través de la empresa suiza Velocity con el nombre de Dolphin. Luego en 1994 Yamaha produjo en grandes cantidades un vehículo con mejores que llevaba el nombre de "Power Assist".



*Figura 1. Bicicleta "pedelec". [10]*

Por otro lado, a partir del año 1909 se da a conocer el concepto de bicicleta elíptica por parte de los hermanos Biestegui que se inspiraron en el movimiento de los pies y manos del esquí nórdico. Luego se realizaron modificaciones para ser un diseño similar a una bicicleta convencional.

Para los años 60 surge el patinete con la intención de llevar el surf a tierra firme. Su diseño empezó siendo una tabla con 4 ruedas que les permitía desplazarse por las calles como si estuviera surfeando. Luego empezaron a realizarle modificaciones tales como una barra vertical para tener mejor agarre y mayor control, esta modificación trajo consigo el concepto de patinete que se tiene hoy en día.



*Figura 2. Primeros modelos de los patinetes. [11]*

Con el paso del tiempo, fueron realizando actualizaciones al patinete, tales como un mejor agarre, frenos, mejor control de la dirección, entre otras. En 1990 se le acopla el primer motor a un patinete, esto trae consigo el desarrollo de los vehículos de movilidad persona VMP, y gracias al avance de las tecnologías aparece vehículos como los segways y los hoverboards.

Finalmente, a principios del siglo XXI, las scooter elípticas poco a poco iban surgiendo a través de patentes desde el 2002 y no fue hasta el 2010 que la empresa ElliptiGo lanzó su producto y popularizó dichos vehículos.

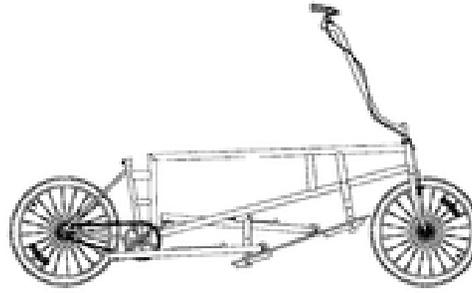


Figura 3. Patente 2002. [12]



Figura 4. Modelo ElliptiGo del año 2010. [13]

Para el año 2011, el estudiante Albert Schaefer Ferrer de la universidad politécnica de Catalunya se decide a encontrar la bicicleta óptima y sencilla para los “bicimensajeros” de la ciudad de New York. Dicha bicicleta tiene las características de movilizarse de forma rápida, cómoda y sin requerir de tanto esfuerzo físico por parte del usuario. Para lograrlo, se enfocó en optimización de cuadros ya existentes y la selección del mejor material disponible para cumplir con su objetivo [14].

Luego en el 2014, investigadores de la universidad Pontificia Bolivariana, desarrollan una bicicleta eléctrica en la ciudad de Medellín - Colombia con las tecnologías emergentes disponibles en ese entonces, para dar una opción más de transporte. Al final presentan una bicicleta totalmente funcional, la cual tiene unas características aceptables en el mercado, sin embargo, su costo de fabricación es muy alto para que sea usado por el público en general. Aun así, abre las puertas para que en Colombia se desarrollen vehículos eléctricos más asequibles [15]. Por otra parte, Adrián Areces González, realiza el diseño de un cuadro de bicicleta en donde su principal criterio de diseño es sustituir la transmisión mecánica por una eléctrica y como añadido, se le incorpora un generador eléctrico para aprovechar el pedaleo del usuario. Como resultado se presenta un diseño novedoso que cumple las características de diseño que se propusieron [16].

Continuando, en 2015 en la ciudad de Quito, Erick Herrera & Jonathan Loor intentando dar solución al aumento de medios de transporte a base de combustión, desarrollan un vehículo híbrido capaz de funcionar tanto eléctrica y mecánicamente, para aliviar la problemática a combatir. Dando como resultado un prototipo funcional de una bicicleta con motor-generador externo [17].

Para el año 2016 estudiantes de la universidad de Mumbai, se dan a la tarea de realizar el diseñar y construir un scooter elíptica inspirado en los productos de ElliptiGo enfocándose en la eficiencia económica y en el peso del usuario. El cual da como resultado una reducción del 80% en el costo de producción de este vehículo [18]. Así mismo, la compañía Perthe electric bicycles le incorporan un sistema de propulsión eléctrica a una ElliptiGo [19].

Por otro lado, Jaime Perales diseña una bicicleta eléctrica urbana teniendo en cuenta las necesidades de los habitantes de Valladolid – España. Como resultado se obtienen los diseños y la lista de componentes de toda la bicicleta con sus respectivos métodos de diseño y fabricación [20]. Y en Ecuador, Cristian García buscando la forma de combatir la contaminación ambiental, intenta dar solución abordando las tendencias de transporte urbano y dando una opción sostenible, para ello diseña una bicicleta con asistencia de pedaleo. Como resultado se presenta una bicicleta funcional que es capaz de hacerle frente a los medios de transporte convencional [21].

A su vez, en Colombia se desarrolla un método para realizar la conversión de bicicletas convencionales a bicicletas eléctricas, dando un enfoque en su batería, motor y autonomía, dando una idea del costo de dicha conversión en Colombia 2300 euros [22].

## CAPITULO 4. MARCO TEORICO

### 4.1. Estudio estático

- Fuerzas de reacción en las ruedas.

Dado el peso del usuario y el vehículo, hacen que esta magnitud se concentre en las ruedas. El peso del conjunto al tener contacto con el suelo produce dos fuerzas de reacción que equilibren el sistema. En la siguiente figura se muestran las reacciones típicas.

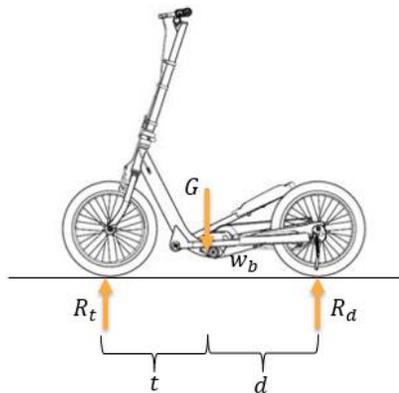


Figura 5. Fuerzas estáticas en una scooter elíptico.

Con la cual se tiene las siguientes ecuaciones:

*Ecuación 1*

$$wb = Rt + Rd$$

*Ecuación 2*

$$Rt * t = Rd * d$$

Donde:

$wb$  = peso de la bicicleta y sus componentes [N]

$Rt$  = Fuerza de reacción del piso sobre la llanta trasera [N]

$Rd$  = Fuerza de reacción del piso sobre la llanta delantera [N]

$t$  y  $d$  = Distancia desde el punto de contacto de las ruedas hasta el centro de gravedad [m]

En la mayoría de los casos, las fuerzas de reacción en la rueda trasera serán mayores debido a que el centro de gravedad se encuentra cerca de esta. Esto puede variar con la incorporación del peso del usuario y su postura. Aunque por lo general la rueda trasera soportará alrededor del 70% a 75% del peso total [17].

Y para mantener el equilibrio dinámico la energía se puede comprender como la fuerza aplicada en un espacio determinado.

*Ecuación 3*

$$dE = F * dx$$

- Velocidad y Potencia

La velocidad se define como la distancia recorrida en un tiempo determinado la cual se muestra en la ecuación 4. Mientras que la potencia se define como la razón de cambio de energía en un tiempo determinado, se describe en la ecuación 5.

*Ecuación 4*

$$v = \frac{dx}{dt}$$

*Ecuación 5*

$$P = \frac{dE}{dt}$$

Con estas ecuaciones se puede relacionar en una sola, la cual presenta la potencia en términos de fuerza y velocidad.

*Ecuación 6*

$$P = F * \frac{dx}{dt} = F * v$$

- Fuerzas de reacción estáticas

Cuando el vehículo no está en movimiento, se sabe que la aceleración es cero y por ende se está en equilibrio estático con respecto a las fuerzas y momentos.

*Ecuación 7*

$$\sum F = 0$$

*Ecuación 8*

$$\sum M_G = 0$$

## 4.2. Estudio dinámico

Este estudio se inicia a partir de que el usuario comienza a pedalear. En este se va a analizar todas las fuerzas que intervienen en cuando se empieza a mover, lo cual origina distintas fuerzas debido a la aceleración.

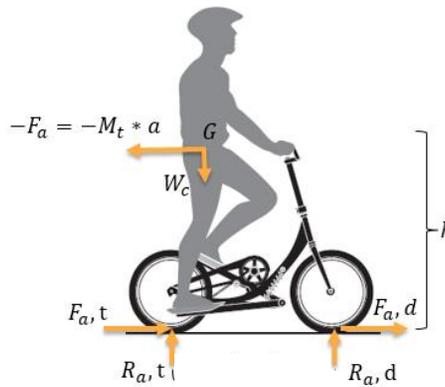


Figura 6. Fuerzas dinámicas en una scooter elíptica.

Donde:

$R_{a,t}$  y  $R_{a,d}$  = Reacciones del suelo en las llantas

$W_c$  = Peso de la bicicleta y el ciclista

$F_a$  = Fuerza proporcionada por el ciclista

$h$  = Altura del punto de gravedad

$F_{a,t}$  y  $F_{a,d}$  = Fuerza de rozamiento

Dado la fuerza ejercida por el usuario se presenta la fuerza de rozamiento, la cual se da por exponer a la llanta en movimiento sobre una superficie. Para determinar dicha fuerza, se necesita el coeficiente de fricción para las llantas de una bicicleta.

Superficie de rodadura	Coeficiente de rozamiento	
	estático	rodadura
<b>Hormigón o asfalto en seco</b>	0,809	0,014
<b>Hormigón o asfalto, húmedos</b>	0,407	0,014
<b>Grava</b>	0,607	0,02
<b>Arena</b>	0,304	0,1403
<b>Hielo</b>	0,102	0,014

Tabla 1. Coeficientes de rozamiento y rodadura entre neumáticos y diferentes superficies. [17]

Según la tercera ley de Newton, el suelo ejerce una reacción contraria a la fuerza de rozamiento la cual impulsará las ruedas a moverse.

A parte se generan más fuerzas de rozamiento que se interponen al movimiento, tales como los rozamientos en las partes móviles de las ruedas, pedales, la fuerza del viento, etc. Las primeras se pueden reducir usando lubricantes, mientras que para reducir la fuerza de arrastre producida por el viento se necesita de diseño aerodinámico óptimo del vehículo.

Luego, aplicando las ecuaciones de equilibrio en el sistema, se obtiene:

*Ecuación 9*

$$Ra, t = Ra, d + Wc$$

*Ecuación 10*

$$Fa * h = Wc * t + Ra, d * (t + d)$$

- Torque

Viene dado por la fuerza que se ejerce en los pedales. Consisten en la fuerza aplicada en cada punto del ciclo de pedaleada. Se describe como:

*Ecuación 11*

$$T = F . r$$

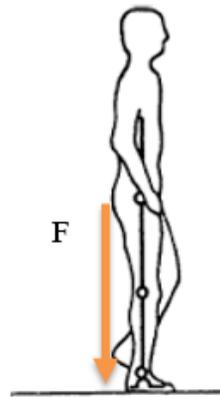
Donde:

$$T = \text{Torque [Nm]}$$

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

$$r = \text{Radio efectivo del punto de giro [m]}$$

En el caso del scooter elípticas el usuario se apoya totalmente en los pedales con lo cual trasmite todo su peso sobre él, además se le suma la fuerza ejercida por las piernas que produce una fuerza efectiva alrededor de un 200% del peso del usuario mientras que con una bicicleta convencional solo se logra un 70% [5] [6].



*Figura 7. Fuerza ejercida por una persona de pie. [23]*

### **4.3. Conservación de la energía involucrada en la bicicleta**

Teniendo en cuenta el principio físico que dice: “La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma”. En la cual esta transformación se da en trabajo, desplazamiento u otros.

- Energía cinética

Es la energía que poseen los cuerpos al estar en movimiento lineal y se expresa como:

*Ecuación 12*

$$E_c = \frac{1}{2} * m * v^2$$

Donde:

$E_c =$  Energía cinética [J]

$m =$  Masa del sistema [Kg]

$v =$  Velocidad lineal del sistema  $\left[\frac{m}{s}\right]$

Para sistemas con movimiento rotacional, su energía cinética se expresa así:

*Ecuación 13*

$$E_{CR} = \frac{1}{2} * I * \omega^2$$

Donde:

$E_{CR} =$  Energía rotacional [J]

$I =$  Inercia del cuerpo [Kg \* m<sup>2</sup>]

$\omega =$  Velocidad angular [rad/s]

En donde la inercia se define como la fuerza que ejerce un cuerpo a cambiar su movimiento en un eje de rotación. La magnitud de esta depende de su eje de rotación y de la geometría de su cuerpo.

- Energía potencial

Es la energía que posee en cuerpo en relación con su posición respecto a eje de referencia. Su ecuación se expresa como:

*Ecuación 14*

$$E_p = m * g * h$$

Donde:

$E_p =$  Energía potencial [J]

$m =$  Masa del cuerpo

$g =$  Aceleración de la gravedad  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

$h =$  Altura que posee el cuerpo con respecto a un nivel de referencia

- Trabajo

Se define como la fuerza necesaria para movilizarse cierta distancia un cuerpo en la misma dirección de donde se aplica la fuerza. Al momento de realizar un ascenso, la principal fuerza a vencer es el peso producido por el efecto de la gravedad. Dicha fuerza se define como:

*Ecuación 15*

$$F = m * g$$

Lo que realmente importa es la componente del peso que se opone a la marcha, esta componente de la fuerza en los ascensos se define como:

*Ecuación 16*

$$F_{marcha} = m * g * \sin \left[ \arctan * \left( \frac{\text{pendiente}}{100} \right) \right]$$

En donde la fuerza del peso se mantiene constante y lo que varía es la pendiente recorrida. Esto puede ser relativo ya que ascender unos metros requiere el mismo trabajo independiente de su velocidad [3].

*Ecuación 17*

$$W = F * d$$

- Potencia

Se define como la potencia a la rapidez en la cual un objeto realiza un trabajo. Se define como:

*Ecuación 18*

$$P = W/t$$

Entonces si se desea hacer un desplazamiento en la mitad del tiempo, será necesario aumentar la potencia al doble.

Por otro lado, la potencia se define como:

*Ecuación 19*

$$P = F * v$$

- Pérdidas por rozamiento

Se presentan pérdidas de eficiencia debidas a las deformaciones elásticas de los componentes del vehículo (ruedas, manillar, chasis, etc.), a los rozamientos internos de los mecanismos móviles (transmisión, bujes, dirección, pedales, etc.) así como a las fuerzas de rozamiento entre las ruedas y el pavimento por el que ruedan. Todo este conjunto de pérdidas suele asignar un valor de 3 o 4 Newton, según sea la velocidad.

- Momento angular

Es un vector producido por la rotación de un cuerpo, cuya dirección es perpendicular a su plano de rotación, se define como:

*Ecuación 20*

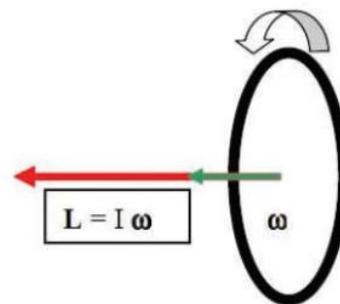
$$L = I * \omega$$

Donde:

$$L = \text{Momento angular del cuerpo en rotación} \left[ \frac{\text{Kg} * \text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

$$I = \text{Inercia del cuerpo en rotación} [\text{Kg} * \text{m}^2]$$

$$\omega = \text{Velocidad angular} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$



*Figura 8. Dirección del momento angular para un cuerpo en rotación. [24]*

Este vector es el que le da estabilidad a una bicicleta durante su movimiento, ya que mantiene constantes su dirección y módulo, oponiendo así resistencia a los cambios de giro.

- Fuerzas giroscópicas

Surgen cuando se le aplica una fuerza externa a un cuerpo que gira, surge un momento que va a compensar el par de fuerzas debido al cambio en el momento angular del sistema. Este fenómeno es conocido como efecto giroscópico y permite tomar las curvas de forma adecuada. Se expresa como:

*Ecuación 21*

$$\tau = \frac{dL}{dt}$$

Donde:

$$\tau = \text{Momento generado por el cambio de momento angular} [\text{Nm}]$$

$$dL = \text{Variación del momento angular}$$

$$dt = \text{Intervalo de tiempo en el que se presenta la variación}$$

En la siguiente imagen se observa el efecto giroscopio en un objeto giratorio

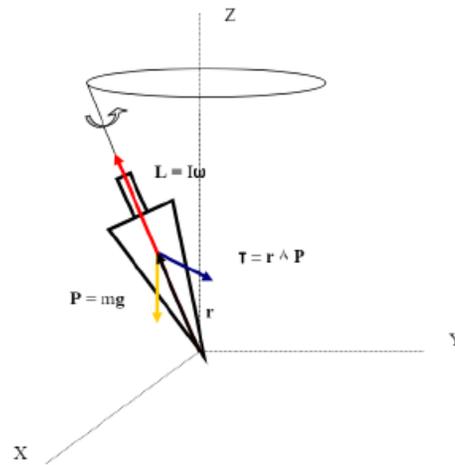


Figura 9. Momento generado al aplicar una fuerza a un elemento en rotación. [24]

- Fuerza centrífuga

Al momento de tomar una curva en una bicicleta solamente se debe inclinar en la dirección de esta, para compensar, la fuerza centrífuga trata de sacar al sistema fuera de esta curva. Debido a esto se producen fuerzas tales como el peso y la reacción que ya no están en la misma línea de acción por lo que se produce el efecto giroscópico para equilibrar el momento producido. La fuerza centrífuga se define como:

*Ecuación 22*

$$F_c = m * a_c$$

Donde:

$$F_c = \text{Fuerza centrífuga [N]}$$

$$m = \text{Masa del sistema [Kg]}$$

$$a_c = \text{Aceleración centrífuga } \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

Por otro lado, la aceleración centrífuga se define como:

*Ecuación 23*

$$a_c = \omega^2 * r$$

Donde:

$$a_c = \text{Aceleración centrífuga } \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$\omega = \text{Velocidad angular } \left[ \frac{rad}{s} \right]$$

$$r = \text{radio de giro [m]}$$

Dichos componentes se muestran a continuación:

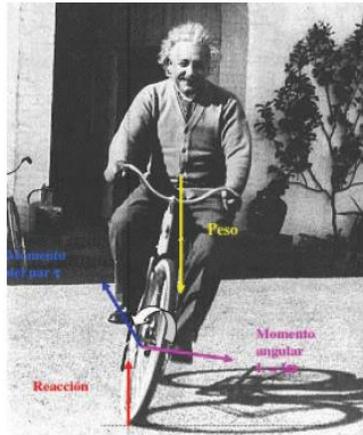


Figura 10. Fuerzas producidas al tomar una curva. [24]

- Aceleración durante el arranque

Describe el comportamiento de la aceleración durante el arranque en función del tiempo [22].

Ecuación 24

$$a = a_o * \left[1 - \left(\frac{t}{tr}\right)\right]^2$$

Donde:

$a$  = Aceleración en función del tiempo

$a_o$  = Aceleración inicial

$tr$  = Tiempo en alcanzar la rapidez deseada

$t$  = tiempo

La aceleración en función de la rapidez se expresa como:

Ecuación 25

$$a = \frac{dv}{dt}$$

- Rapidez

Es la distancia en función del tiempo y se define como:

Ecuación 26

$$v = \frac{dx}{dt}$$

#### 4.4. El motor eléctrico

Transforma la energía eléctrica en movimiento. Los motores usados en los vehículos eléctricos usan corriente continua dentro de los cuales tenemos dos tipos que se diferencian al momento de realizar cambios de polaridad en el rotor los cuales son: Brushless (sin escobillas) y Brush (con escobillas). En el mercado de vehículos eléctricos los motores brushless son los más usados dadas sus ventajas. Algunas de estas son:

- Mayor rango de velocidad en comparación al par característico
- Mayor rendimiento
- Larga vida útil
- Funcionamiento silencioso
- Mayor relación de par con respecto al tamaño del motor

A continuación, se muestra la comparación entre estos dos tipos:

	Motor DC convencional	Motor DC sin escobillas
<b>Estructura</b>	Elementos magnéticos en el estator	Elementos magnéticos en el rotor
<b>Principales características</b>	Respuesta rápida, control fácil, mayor par	Mantenimiento bajo, mayor rango de velocidad, mayor rendimiento
<b>Conexión de los bobinados</b>	Conexión en triángulo	Conexión en triángulo y en estrella
<b>Método para detectar la posición del rotor</b>	Detectada automáticamente por las escobillas	Sensor de efecto Hall, encoder óptico, etc.
<b>Reversibilidad</b>	Cambiando la polaridad del voltaje	Cambiando la lógica

Tabla 2. Comparativa entre motor DC convencional y motor Brushless. [11]

Los motores Brushless son del tipo síncrono, lo que significa que el campo magnético generado por el estator gira a la misma frecuencia que el campo magnético generado por el rotor. Además, puede contar con una, dos o tres fases. Este número de fases indica la cantidad de devanados que tiene el estator, donde la configuración de tres fases es la más utilizada.

Los principales componentes de un motor son:

- Estator

Está conformado por láminas apiladas de acero y devanados colocados en ranuras dentro de su cara interna.

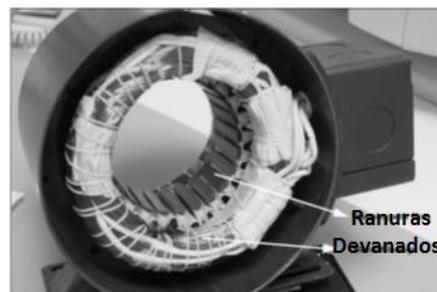


Figura 11. Estator de motores brushless. [11]

- Rotor

Está conformado por imanes permanentes que varían entre dos a ocho pares de polos que se alternan de norte (N) y sur (S).



Figura 12. Configuraciones de los imanes en el rotor. [11]

Dependiendo de la densidad de campo magnético que requiere el rotor, se elige el material de este componente. Los imanes de ferrita son los más utilizados al momento de fabricarlos.

- Principio de funcionamiento

Para producir par en este tipo de motores es necesario hacer circular corriente por las fases del estator siguiendo las secuencias de conmutación establecida. Esta corriente al pasar por las fases del motor genera un vector de una determinada intensidad y dirección.

Este par se produce gracias a la interacción del campo magnético generado en las bobinas del estator y los imanes permanentes. Para mantener el motor en marcha, el campo magnético producido en las bobinas debe ir cambiando su posición debido a que el rotor va cambiando su posición. [11]

En donde estas fuerzas producidas se transmiten generalmente por medio de cadenas dentadas entre el motor eléctrico y el piño de la rueda trasera, teniendo tres principales posiciones:

- Motores HUB genéricos: Son aquellos que están incorporados en las ruedas (delanteras o traseras), siendo estos los más comunes en vehículos urbanos.
- Motores centrales: Son motores incorporados en sistema de pedaleo, siendo también del tipo brushless y sus diferencias con los motores tipo hub es su velocidad de reacción lenta sin embargo poseen gran agilidad y mayor potencia, se comunican con el controlador a través de un sensor de torque.
- Motores externos, son los motores que desde hace más tiempo se les ha adaptado a los vehículos de propulsión humana, siendo los motores de combustión los más usados hasta la llegada de los motores eléctricos. Este tipo de elemento puede ir ubicado en cualquiera de las dos ruedas o cualquiera de los elementos de transmisión, aunque debe traer un sistema de aceleración progresiva para adaptarse a las velocidades del vehículo de forma suave sin maltratar la transmisión u otros componentes.

#### 4.5. Potencia del motor

Para calcular la potencia en llano, se realiza el diagrama del cuerpo libre de la rueda con el vehículo circulando a una velocidad constante en una superficie sin pendiente, tal como se indica en la siguiente figura.

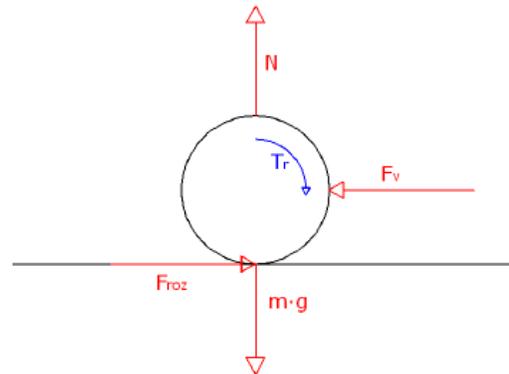


Figura 13. Diagrama de cuerpo libre de rueda. [25]

En donde su diagrama de cuerpo libre es:

Ecuación 27

$$\sum F_y = 0 \rightarrow N = m * g$$
$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{roz} - F_v = 0$$

Dinámica de rotación

Ecuación 28

$$\sum M = I * \alpha$$

Al suponer la velocidad constante, la aceleración angular es cero, así que:

Ecuación 29

$$T_r = F_{roz} * r$$

Ecuación 30

$$\omega = \frac{v}{r}$$

Donde finalmente se obtiene la ecuación general de la potencia del motor eléctrico a utilizar:

Ecuación 31

$$pot = T_r * \omega$$

## CAPITULO 5. METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO

### 5.1. Metodología de trabajo

Este proyecto se desarrolló basándose en la metodología estándar de FourSight

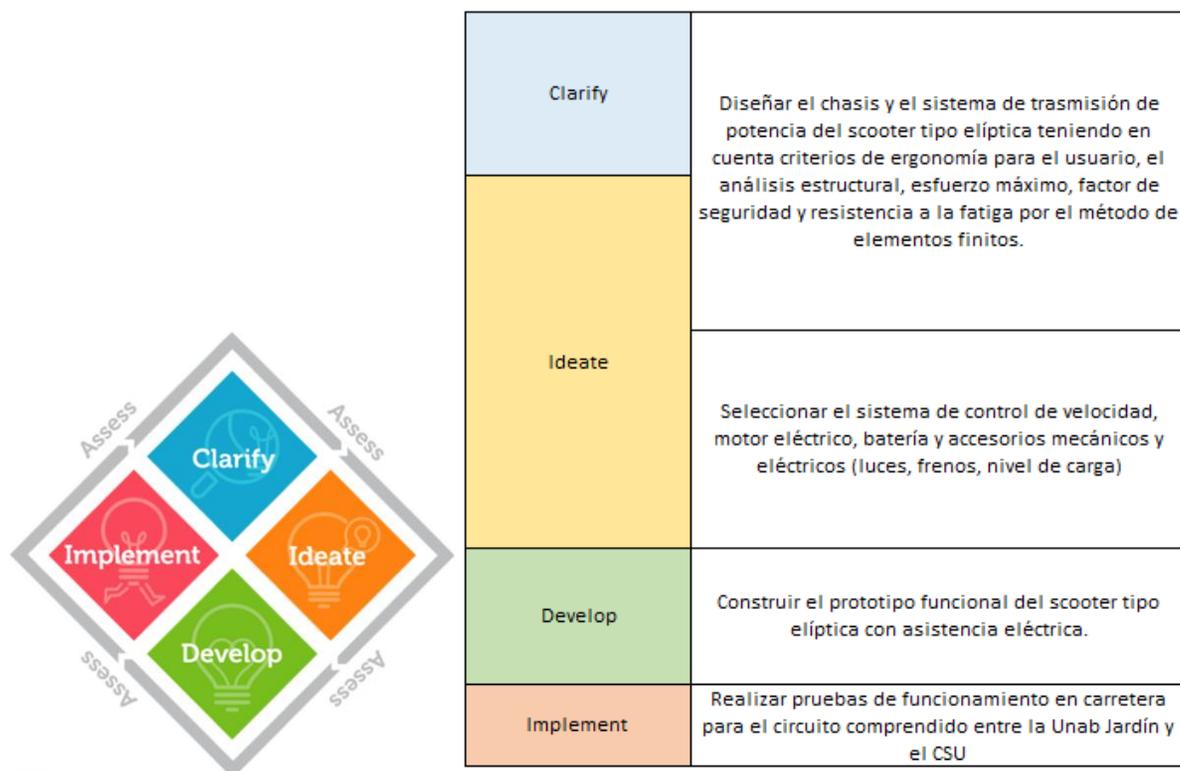


Figura 14. Esquema general de la metodología FourSight. [26]

El componente de Clarify recibe los hechos, la información y los datos de la problemática que se va a abordar en el proyecto. Aquí es en donde se realiza la identificación del problema, su justificación, los hechos y el estado del arte. En este caso se tiene que realizar la actividad:

- Identificar la normativa correspondiente a los vehículos con asistencia eléctrica y su uso en Colombia.

Continuando el componente de Ideate, se pasa a trabajar con la idea seleccionada para dar solución al problema. Para esto se tiene que:

- Diseñar el chasis y el sistema de transmisión de potencia del scooter tipo elíptica teniendo en cuenta criterios de ergonomía para el usuario, el análisis estructural, esfuerzo máximo, factor de seguridad y resistencia a la fatiga por el método de elementos finitos.
- Seleccionar el sistema de asistencia eléctrica, compuesto por control de velocidad, motor eléctrico, batería y accesorios mecánicos y eléctricos (luces, frenos, nivel de carga).

Luego, el componente de Develop, se trae a la realidad lo trabajado en la componente de Ideate. Para conseguirlo se debe:

- Construir el prototipo funcional del scooter tipo elíptica con asistencia eléctrica.

Para finalizar, en la etapa de Implement, se procede a poner en marcha el proyecto desarrollado y se observa su comportamiento en el mundo real, para implementarlo es necesario:

- Realizar pruebas de funcionamiento en carretera para el circuito comprendido entre la Unab Jardín y el CSU.

## 5.2. Plan de trabajo

FECHA DE INICIO: 3 de Agosto de 2020

FECHA DE FINALIZACIÓN: Noviembre de 2022

SEMINARIO PROFESIONAL	
ACTIVIDADES (Agrupadas por cada objetivo)	RESULTADOS ESPERADOS
Investigación sobre la normativa correspondiente a los vehículos con asistencia eléctrica en Colombia	Lista de normativas a cumplir para la circulación de vehículos eléctricos en Colombia
Investigación del uso promedio de las bicicletas convencionales y bicicletas eléctricas en Colombia	Datos promedios de la cantidad de viajes realizados en bicicleta y vehículos eléctricos en Colombia
Creación de un boceto a mano alzada del prototipo a trabajar	Boceto a mano alzado del prototipo
Calcular la potencia promedio que se genera en un scooter tipo elíptica	Cálculos para hallar la potencia generada en un scooter tipo elíptica
Calcular la potencia del motor eléctrico a utilizar teniendo en cuenta el sistema de potencia, las condiciones viales de la ciudad y la normativa correspondiente	Especificaciones del motor a trabajar
Calcular la capacidad de la batería teniendo en cuenta el motor eléctrico a trabajar y la distancia de desplazamiento máxima	Especificaciones de la batería a trabajar
Diseñar el sistema de transmisión de potencia teniendo en cuenta la potencia promedio generada y los recorridos promedio de bicicletas en la ciudad de Bucaramanga	Cálculos del sistema de transmisión con sus respectivas características
Diseñar en programa CAD el chasis del scooter tipo elíptico a trabajar teniendo en cuenta el resto sus componentes	Chasis del scooter en programa CAD
Selección del material a utilizar para el chasis del scooter a trabajar, teniendo en cuenta la relación calidad - precio	Nombre del material del que estará hecho el chasis del scooter
Realizar simulaciones por medio de elementos finitos en SolidWorks del chasis del scooter diseñado	Simulaciones e informe de resultados de las pruebas realizadas al chasis

Seleccionar un motor eléctrico teniendo en cuenta la normativa aplicada y la potencia de asistencia requerida en los recorridos promedio a través de la ciudad de Bucaramanga	Motor eléctrico que cumple con la normativa y es capaz de dar la potencia necesaria para los recorridos promedios
Selección de la batería acorde al motor y al nivel de autonomía que se necesita para realizar los desplazamientos promedio a través de la ciudad de Bucaramanga	El sistema de almacenamiento energético acorde a la duración de los viajes promedios y el motor a utilizar
Seleccionar un controlador capaz de dar un funcionamiento óptimo al motor eléctrico	Un controlador capaz de controlar el motor seleccionado anteriormente
Selección de los accesorios eléctricos y mecánicos teniendo en cuenta la normativa vial y las necesidades de los usuarios	Lista de componentes mecánicos y eléctricos exigidos por las normativas con sus respectivos precios y proveedores

Tabla 3. Actividades del proyecto durante Seminario profesional.

PROYECTO DE GRADO	
ACTIVIDADES	RESULTADOS ESPERADOS
Adquisición de los accesorios, componentes seleccionados y puesta en marcha de la fabricación de las partes diseñadas	Todos los componentes y accesorios listo para su implementación
Validación de funcionamiento de los componentes del vehículo	Lista del estado de funcionamiento de cada componente del prototipo
Elaboración de subsistemas	Construcción de los distintos subsistemas del prototipo
Realizar pruebas de funcionamiento de los distintos subsistemas del vehículo	Comprobación de funcionamiento de cada subsistema del prototipo
Realizar el ensamblaje completo del prototipo	Prototipo funcional construido
Realizar las diferentes pruebas en circuito del prototipo	Pruebas de circuito en la sede Jardín y CSU de la UNAB
Realizar un informe con los resultados de las pruebas en circuito	Un informe con el resultado de las pruebas realizadas
Realizar el libro de validación del proyecto	Libro de validación del proyecto

Tabla 4. Actividades del proyecto durante Proyecto de grado.

SCOOTER TIPO ELÍPTICA CON ASISTENCIA ELÉCTRICA DE BAJO COSTO																
SEMINARIO PROFESIONAL																
Objetivos específicos	ACTIVIDADES	SEMANAS														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Diseñar el chasis y el sistema de transmisión de potencia del scooter tipo elíptica teniendo en cuenta criterios de ergonomía para el usuario, el análisis estructural, esfuerzo máximo, factor de seguridad y resistencia a la fatiga por el método de elementos finitos.	Investigación sobre la normativa correspondiente a los vehículos con asistencia eléctrica en Colombia	x	x	x	x	x	x									
	Investigación del uso promedio de las bicicletas convencionales y bicicletas eléctricas en Colombia	x	x	x	x	x	x									
	Creación de un boceto a mano alzada del prototipo a trabajar	x	x	x	x	x										
	Calcular la potencia promedio que se genera en una scooter tipo elíptica							x	x							
	Calcular la potencia del motor eléctrico a utilizar teniendo en cuenta el sistema de potencia, las condiciones viales de la ciudad y la normativa correspondiente								x	x						
	Calcular la capacidad de la batería teniendo en cuenta el motor eléctrico a trabajar y la distancia de desplazamiento máxima								x	x						
	Diseñar el sistema de transmisión de potencia teniendo en cuenta la potencia promedio generada y los recorridos promedio de bicicletas en la ciudad de Bucaramanga										x	x	x			
	Diseñar en programa CAD el cuadro del scooter tipo elíptico a trabajar teniendo en cuenta el resto sus componentes											x	x	x	x	x
	Selección del material a utilizar para el cuadro del scooter a trabajar, teniendo en cuenta la relación calidad - precio													x	x	
	Realizar simulaciones por medio de elementos finitos en SolidWorks del cuadro del scooter diseñado													x	x	x
Seleccionar el sistema de control de velocidad, motor eléctrico, batería y accesorios mecánicos y eléctricos (luces, frenos, nivel de carga)	Seleccionar un motor eléctrico teniendo en cuenta la normativa aplicada y la potencia de asistencia requerida en los recorridos promedio a través de la ciudad de Bucaramanga									x	x					
	Selección de la batería acorde al motor y al nivel de autonomía que se necesita para realizar los desplazamientos promedio a través de la ciudad de Bucaramanga										x	x				
	Seleccionar un controlador capaz de dar un funcionamiento óptimo al motor eléctrico										x	x				
	Selección de los accesorios eléctricos y mecánicos teniendo en cuenta la normativa vial y las necesidades de los usuarios															x

Tabla 5. Cronograma de actividades en Seminario profesional.

PROYECTO DE GRADO																
Objetivos específicos	ACTIVIDADES	SEMANAS														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Construir el prototipo funcional del scooter tipo elíptica con asistencia eléctrica.	Adquisición de los accesorios, componentes seleccionados y puesta en marcha de la fabricación de las partes diseñadas	x	x	x	x											
	Validación de funcionamiento de los componentes del vehículo	x	x	x	x											
	Elaboración de subsistemas						x	x	x	x						
	Realizar pruebas de funcionamiento de los distintos subsistemas del vehículo						x	x	x	x						
	Realizar el ensamblaje completo del prototipo							x	x	x	x					
Realizar pruebas de funcionamiento en carretera para el circuito comprendido entre la Unab Jardín y el CSU	Realizar las diferentes pruebas en circuito del prototipo									x	x	x	x	x	x	
	Realizar un informe con los resultados de las pruebas en circuito									x	x	x	x	x	x	x
	Realizar el libro de validación del proyecto	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabla 6. Cronograma de actividades en Proyecto de grado.

### 5.3. Resultados esperados

- Planos mecánicos y eléctricos del scooter tipo elíptica con asistencia eléctrica.
- Prototipo funcional del scooter tipo elíptica con asistencia eléctrica.
- Manual de usuario para el scooter tipo elíptica con asistencia eléctrica.
- Documentación de pruebas de validación, funcionamiento del scooter tipo elíptica dentro de la ciudad de Bucaramanga y ventajas frente a otras opciones en el mercado.

## CAPITULO 6. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 6.1. Sistema de transmisión de potencia mecánica

Para el diseño del sistema de transmisión de potencia mecánica en vehículos con mecanismos elípticos la potencia promedio generada es alrededor de 2 veces el peso corporal del usuario [5] [6]. Sin embargo, para este caso se tomará como 1.5 veces el peso corporal, ya que la condición física del usuario influye en dicha magnitud, además de que existen fuerzas que se oponen al movimiento como por ejemplo la fricción en los componentes del prototipo. A su vez se tiene en cuenta que la mayoría de los recorridos realizados en bicicletas en la ciudad de Bucaramanga se realizan en rutas que presentan en promedio 5% de inclinación.

Del mismo modo se debe tener en cuenta las medidas antropométricas de usuarios Colombianos promedio con el fin de diseñar un prototipo que se adecue a la gran mayoría de usuarios. Para estas medidas antropométricas se tiene como resultado los siguientes datos:

- Mujeres en edad de 18 a 65 años se tiene los siguientes datos

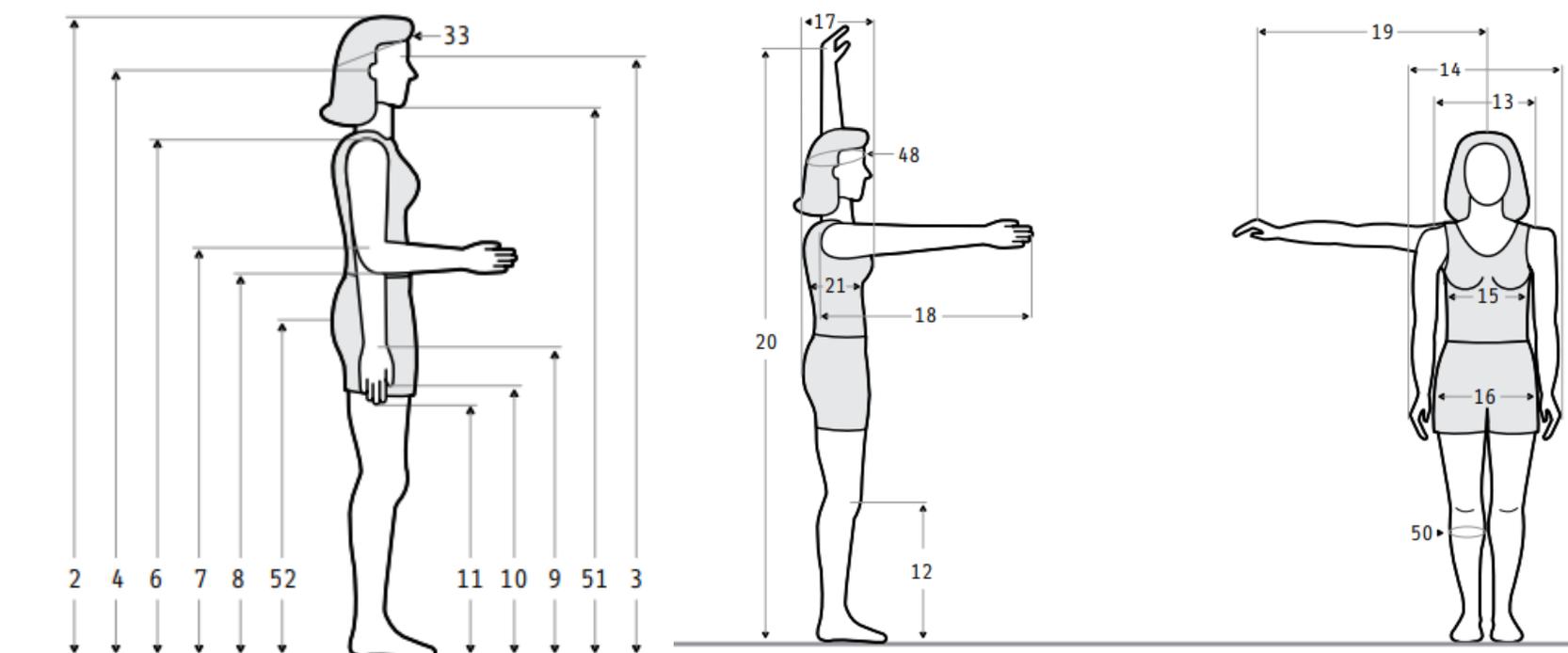


Figura 15. Medidas antropométricas mujeres [27].

		18 - 65 años (n=204)				
Dimensiones				Percentiles		
		$\bar{x}$	D.E.	5	50	95
1	Peso (Kg)	64.0	12.45	48.0	60.5	88.0
2	Estatura	1567	52.92	1471	1570	1658
3	Altura de ojos	1449	52.42	1351	1450	1540
4	Altura oído	1434	52.50	1333	1433	1517
6	Altura hombro	1291	49.17	1209	1290	1380
7	Altura codo	1004	38.89	941	1004	1080
8	Altura codo flexionado	969	39.52	906	969	1044
9	Altura muñeca	778	33.77	727	776	840
10	Altura nudillo	708	32.01	663	704	769
11	Altura dedo medio	612	31.55	565	611	663
33	Diámetro a-p cabeza	186	7.22	175	187	199
51	Altura mentón	1339	51.15	1248	1340	1424
52	Altura trocánter may.	826	41.30	759	826	896

		18 - 65 años (n=204)				
Dimensiones				Percentiles		
		$\bar{x}$	D.E.	5	50	95
12	Altura rodilla	449	23.84	411	446	491
13	Diámetro máx. bideltoides	443	40.42	389	435	521
14	Anchura máx. cuerpo	484	44.98	434	479	578
15	Diámetro transversal tórax	314	31.31	268	310	374
16	Diámetro bitrocantérico	364	30.93	321	359	420
17	Profundidad máx. cuerpo	277	35.67	233	269	344
18	Alcance brazo frontal	686	32.41	631	684	741
19	Alcance brazo lateral	700	30.18	645	700	750
20	Alcance máx. vertical	1896	76.78	1761	1899	2026
21	Profundidad tórax	267	31.64	224	263	328
48	Perímetro cabeza	553	15.99	525	552	580
50	Perímetro pantorrilla	363	34.94	315	355	426

Tabla 7. Medidas antropométricas mujeres [27].

- Hombres en un rango de edad de 18 a 65 años.

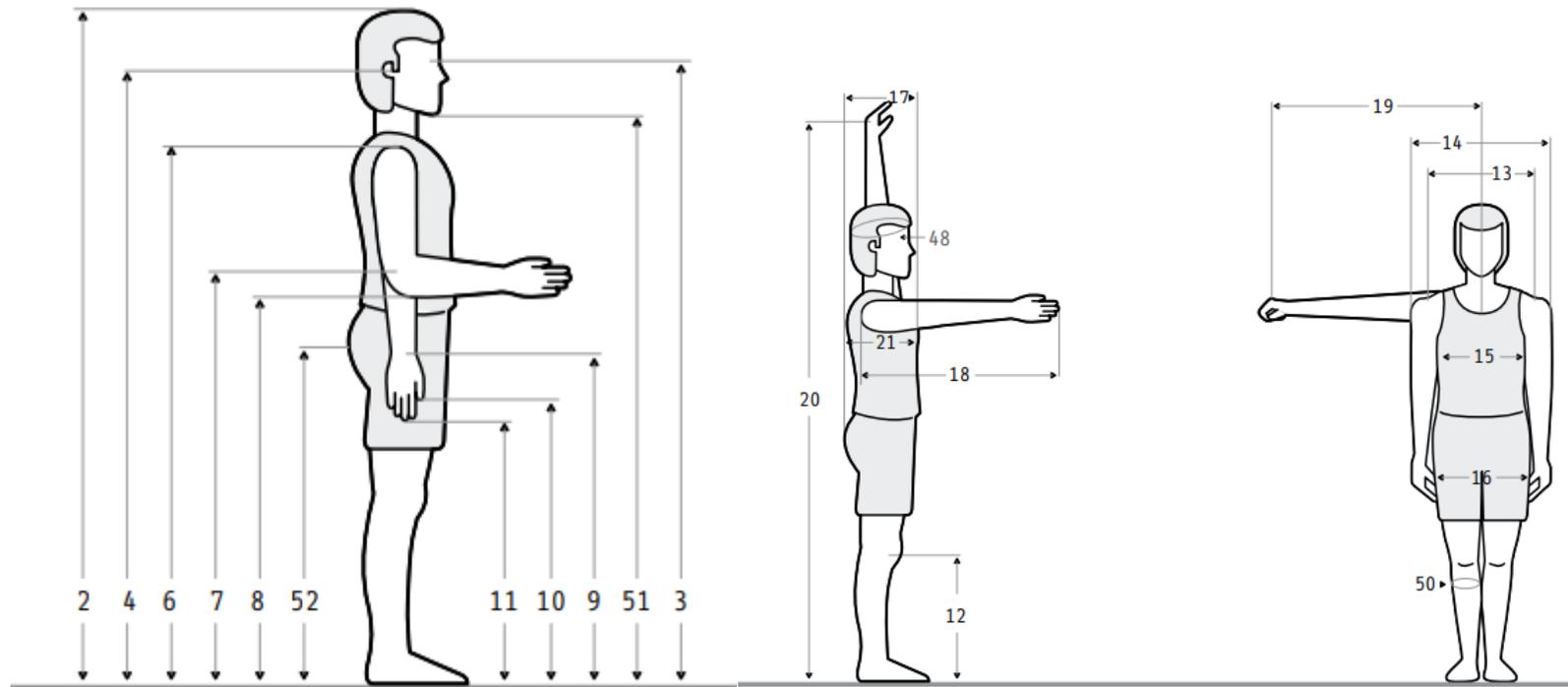


Figura 16. Medidas antropométricas promedio en hombres [27].

Dimensiones		18 - 65 años (n=396)				
		$\bar{x}$	D.E.	Percentiles		
				5	50	95
1	Peso (Kg)	73	12.33	55.31	72.10	97.30
2	Estatura	1675	62.80	1576	1668	1780
3	Altura de ojos	1550	61.80	1447	1546	1651
4	Altura oído	1538	63.70	1439	1534	1635
6	Altura hombro	1380	58.49	1281	1377	1477
7	Altura codo	1068	55.02	988	1065	1145
8	Altura codo flexionado	969	40.81	906	969	1046
9	Altura muñeca	825	39.49	757	822	919
10	Altura nudillo	740	43.56	680	740	800
11	Altura dedo medio	639	35.31	584	638	697
33	Diámetro a-p cabeza	198	8.98	182	194	205
51	Altura mentón	1442	61.20	1337	1440	1544
52	Altura trocánter may.	873	44.61	810	872	940

Dimensiones		18 - 65 años (n=396)				
		$\bar{x}$	D.E.	Percentiles		
				5	50	95
12	Altura rodilla	478	28.76	434	476	526
13	Diámetro máx. bideltoideo	478	41.17	422	472	544
14	Anchura máx. cuerpo	523	41.34	455	520	596
15	Diámetro transversal tórax	342	34.12	293	338	398
16	Diámetro bitrocantérico	342	22.69	310	341	387
17	Profundidad máx. cuerpo	275	37.45	219	272	323
18	Alcance brazo frontal	748	37.32	590	648	810
19	Alcance brazo lateral	709	81.50	581	738	818
20	Alcance máx. vertical	2042	113.57	1900	2043	2200
21	Profundidad tórax	238	28.32	196	235	287
48	Perímetro cabeza	569	18.13	540	568	596
50	Perímetro pantorrilla	365	33.78	315	362	420

Tabla 8. Medidas antropométricas hombres [27].

Además, para realizar los diseños de este mecanismo se toma en cuenta actividades comunes que los usuarios realizan con el fin de diseñar un prototipo que sea fácil de utilizar, por lo tanto, las actividades diarias que más se asemejan al pedaleo elíptico son la actividad de subir escaleras como se puede ver en la siguiente figura:

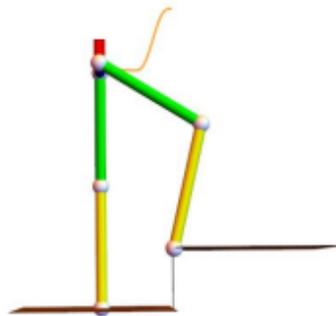


Figura 17. Semejanzas entre subir escaleras con el mecanismo elíptico [28].

También el montar en bicicleta la cual es una actividad que se relaciona con el objeto del proyecto, dicha actividad tiene su propia ergonomía y que en este caso, da referencia en parámetros de ergonomía para la parte superior del cuerpo de los usuarios como se muestra a continuación:



Figura 18. Posición ergonómica en bicicleta convencional [29].

Por lo tanto, al diseñar el sistema de pedaleo tipo elíptico se debe tener en cuenta criterios de ergonomía del usuario, los cuales son:

- El ángulo entre el torso y los brazos que se expresa en color rojo en la siguiente imagen, debe ser de  $60^\circ$  a  $70^\circ$  [29]
- El rango de flexión de la cadera que se expresa en color verde en la siguiente imagen va desde  $0^\circ$  a  $140^\circ$ . Sin embargo, en actividades comunes solo se trabaja de  $0^\circ$  a  $67^\circ$  [28]
- El rango de flexión de la rodilla que se expresa en color azul en la siguiente imagen va desde  $0^\circ$  a  $140^\circ$ . Pero en actividades comunes solo se trabaja en un rango de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  [28]



Figura 19. Ergonomía en un scooter. Modificada por el autor. [30]

Dados los anteriores rangos de movimiento, se realiza un croquis del cuerpo humano teniendo en cuenta las medidas antropométricas de los Colombianos con un percentil de 95% [27] y se calcula la altura máxima a la que los usuarios van a alzar los pies en este prototipo.

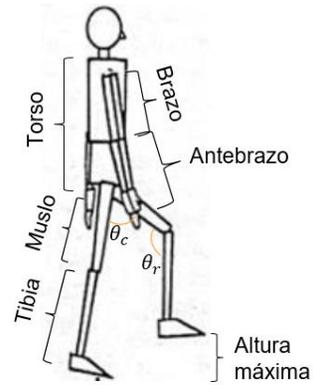


Figura 20. Medidas antropométricas del cuerpo. Fuente: [27]

Parte del cuerpo	Medida
Torso	62,49cm
Brazo	36,49cm
Antebrazo	46,6cm
Muslo	58,79cm
Tibia	45cm
$\theta_c$	70°
$\theta_r$	90°
<b>Altura máxima</b>	<b>41,40cm</b>

Tabla 9. Medidas antropométricas. Fuente: [27]

Dicho croquis indica que la altura máxima en la que un usuario puede levantar su pie sin inconvenientes es de 41,4cm. Así que dada esta limitante de altura se procede a diseñar el sistema de pedaleo elíptico el cual tiene la siguiente forma:

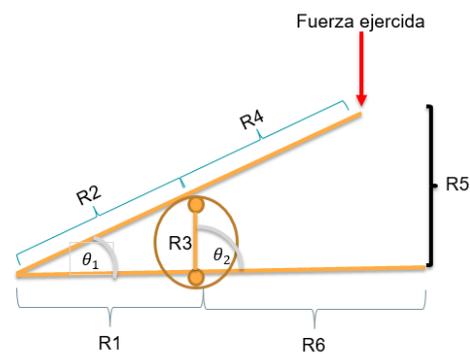


Figura 21. Sistema de pedaleo elíptico.

Donde:

$R1 =$  Longitud del pedal 1 desde el pivote hasta el punto donde toca con el plato del mecanismo

$R2 =$  Longitud del pedal 2 desde el pivote hasta el punto donde toca con el plato del mecanismo

$R4 =$  Longitud del pedal 2 desde el plato del mecanismo hasta el extramo del pedal

$R6 =$  Longitud del pedal 1 desde el plato del mecanismo hasta el extramo del pedal

$$R2 + R4 = R1 + R6$$

$R5 =$  Distancia vertical entre pedales

$R3 =$  Diámetro de plato

Pero lo tanto es necesarios seleccionar los elementos de transmisión de potencia teniendo en cuenta que la cadencia de pedaleo promedio ronda entre 60 – 90 rpm [29] y que la potencia producida en vehículos elípticos es alrededor de 2 veces el peso del usuario [5] [6].

Así que para la selección del plato se tiene en cuenta criterios tales como el peso de este, la capacidad de utilizar todo el sistema de marchas, su precio y su disponibilidad en el mercado.

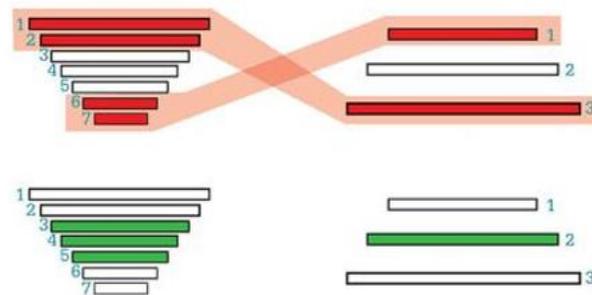


Figura 22. Relación óptima en sistema de marchas. [31]

Cantidades de platos				
Función	Peso	1 plato	2 platos	3 platos
<b>Precio</b>	3	9	3	1
<b>Disponibilidad</b>	5	9	3	3
<b>Peso</b>	3	9	3	3
<b>Uso de marchas</b>	5	9	9	3
	Total	144	78	42

Tabla 10. Matriz QFD para la selección de la cantidad de platos.

Para la selección del número de dientes en el plato se debe tener en cuenta que el usuario ejerce gran fuerza en los pedales debido al tipo de pedaleo, por ende, se debe escoger un tamaño que sea capaz de aprovechar dicha fuerza, además, se tiene en cuenta su precio y su disponibilidad en el mercado.

Tamaño de plato de plato						
Función	Peso	32D	36D	42D	46D	52D
Precio	4	9	9	3	3	1
Transmisión	4	1	3	9	9	9
Disponibilidad	4	9	9	9	3	9
Tamaño	3	9	9	3	1	1
	Total	103	111	93	63	79

Tabla 11. Matriz QFD para la selección del tamaño de plato.

Luego, al seleccionar el piñón se tiene en cuenta criterios tanto de precio, espacio ocupado en el vehículo, el número de velocidades o marchas que incluye, el coste de su mantenimiento, su resistencia al uso y al clima.

Tipo de velocidades			
Función	Peso	Interno	Externo
Precio	5	1	9
Tamaño	3	9	3
Cantidad de velocidades	3	3	9
Mantenimiento	4	3	9
Resistencia al uso	5	9	3
	Total	98	132

Tabla 12. Matriz QFD para selección del tipo de velocidades

Finalmente, para seleccionar las velocidades o marchas del piñón se debe tener en cuenta que tiene que ser una cantidad que sea capaz de aprovechar la fuerza suministrada por el usuario, debe tener un tamaño acorde al vehículo, precio, disponibilidad en el mercado y capacidad de transmitir la fuerza ejercida.

Tamaño piñón					
Función	Peso	6V (14-28D)	8V (11-30)	10V (11-34D)	12V (11-51D)
Tamaño	4	9	3	1	1
Precio	4	9	9	3	3
Transmisión	5	3	3	9	9
Disponibilidad	3	9	9	9	9
	Total	114	90	88	88

Tabla 13. Matriz QFD para la selección del piñón.

Como resultado, para el diseño se escoge una transmisión monoplato de 36 dientes con diferentes marchas en el piñón de 6 velocidades (11-28D) debido a que hay menor desgaste en la cadena y se tiene disponible todas las combinaciones de engranajes disponibles.

Luego se diseña la longitud de los pedales teniendo en cuenta la altura máxima a la cual una persona promedio puede levantar el pie y el tamaño del plato seleccionado, lo cual da como resultado la siguiente configuración:

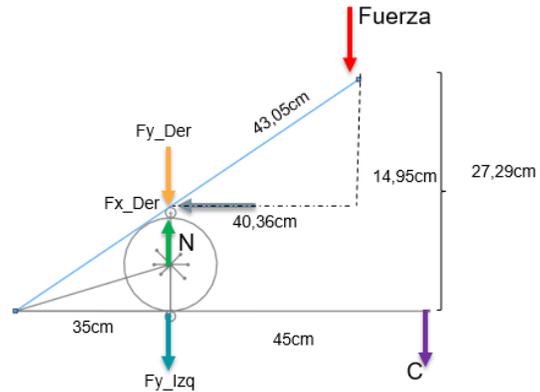


Figura 23. Diagrama de cuerpo libre de pedal a 0°.

Donde:

- $Fuerza = Fuerza\ aplicada\ por\ el\ usuario\ [N]$
- $C = Contrapeso\ (pedal\ y\ pierna\ del\ usuario)\ [N]$
- $Fy_{der} = Componente\ Y\ de\ la\ fuerza$
- $Fx_{der} = Componente\ X\ de\ la\ fuerza$
- $N = fuerza\ norma\ [N]$

Como se puede observar, dicha configuración con pedales de longitud de 80cm cumple con la limitación de altura por parte del usuario la cual es 41.4cm y en este diseño la altura máxima a la que el usuario levantará el pie es 27.3cm

Dado lo anterior, con el fin de corroborar que la distancia entre pedales no sobre pase esta distancia entre pedales, se analiza diversas posiciones del pedal para asegurar que el diseño sea correcto:

Angulo	Posición
0°	

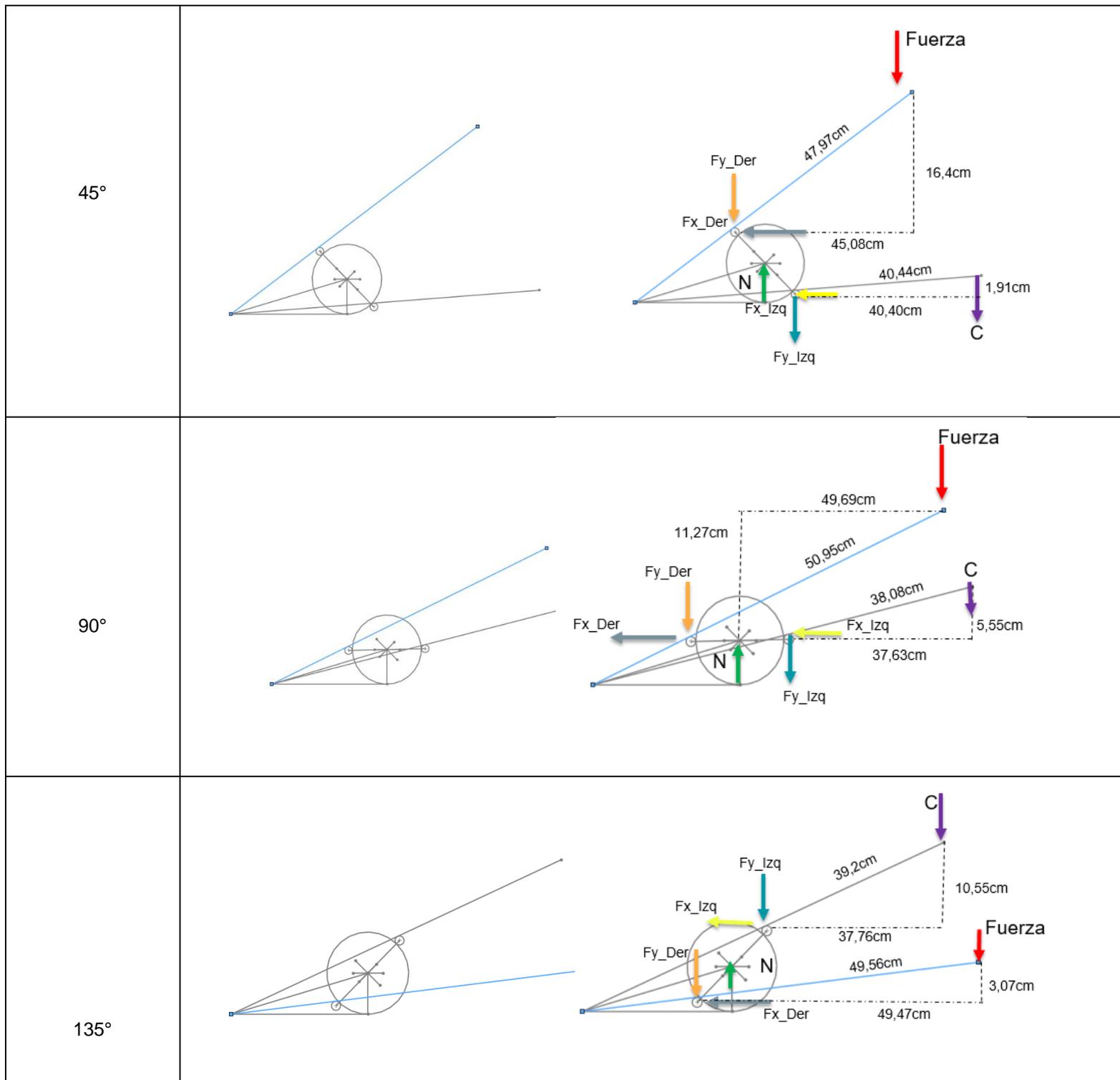


Tabla 14. Posiciones de interés en el recorrido del pedal. Fuente: autor

- Fuerza máxima ejercida

Dicha fuerza es la que proporciona el usuario al sistema de pedaleo y está definida de la siguiente manera [5] [6]:

*Ecuación 32*

$$F = 1.5 * m * g$$

$$F = 1059,48N$$

- Potencia máxima suministrada

Una vez se obtenga los datos de la fuerza ejercida por el usuario y el sistema de pedaleo definido, se procede a calcular la potencia suministrada, la cual se define como:

*Ecuación 33*

$$W_s = \frac{2 * \pi * g * F * r_2 * L}{6000}$$

Donde:

$$W_s = \text{Potencia suministrada [W]}$$

$$F = \text{Fuerza sobre el pedal [Kg]}$$

$$r_2 = \text{Vel rotación pedal [RPM]}$$

$$L = \text{radio pedal [cm]}$$

Así que la potencia máxima suministrada por el usuario es:

$$W_s = \frac{2 * \pi * 9.81 * (1.5 * 72) * 60 * 9}{6000}$$

$$W_s = 599.12W$$

## 6.2. Potencia transmitida

Una vez obtenida la potencia suministrada, se debe calcular que tanta potencia se transmite realmente por el mecanismo, la cual depende directamente del número de dientes del plato y el piñón. En este caso, al tener un piñón con 6 velocidades, la potencia varía según la configuración de velocidades con la que se maneje. Para obtener este dato se usa el siguiente cálculo:

*Ecuación 34*

$$P_{trans} = P * \frac{19}{Z_{piñón}}$$

Número de dientes en el piñón	Potencia transmitida
14	814,28W
16	712,5W
18	633,33W
20	570W
22	518,18W
28	407,14W

Tabla 15. Diferentes potencias transmitidas.

### 6.3. Relación de engranajes

Esta relación se conforma entre el monoplato y el piñón de 6 velocidades que indica la cantidad de desplazamiento y velocidad que se obtiene por cada pedaleada. Pero antes se debe definir el tamaño de la rueda con la cual se va a trabajar:

Tamaño de ruedas							
Función	Peso	110mm	12"	16"	20"	26"	29"
Espacio ocupado	4	9	9	9	3	3	1
Disponibilidad	3	1	1	3	9	9	9
Precio	5	9	9	9	9	3	3
Comodidad	3	1	3	3	9	9	9
	Total	87	93	99	111	81	73

Tabla 16. Matriz QFD tamaño de ruedas del prototipo.

La selección de la rueda tiene en cuenta criterios como su tamaño que a la vez está relacionado con la comodidad del vehículo, su disponibilidad y precio en el mercado. Una vez definido el tamaño de la rueda se realizan los cálculos desplazamiento y velocidad que se obtiene al realizar una pedaleada.

Relación		Velocidad [Km/h]		Desplazamiento [m]	
Piñón\Plato	36	Piñón\Plato	36	Piñón\Plato	36
14	2,57	14	12,96	14	3,6
16	2.25	16	11,34	16	3,15
18	2	18	10,08	18	2,8
20	1,8	20	10,59	20	2,52
22	1.63	22	9,072	22	2,282
28	1.28	28	6,4	28	1,79
$i = \frac{Z1}{Z2}$		$vel = d/t$		$d = i * \text{perimetro}$	

Tabla 17. Relación de engranaje.

#### 6.4. Tipo de frenos a utilizar

Los frenos constituyen uno de los elementos más importantes del prototipo, ya que es el encargado de brindar la seguridad y control en el desplazamiento del usuario durante sus recorridos. Es por esto que se debe realizar la selección adecuada con respecto a las distintas opciones de frenos que se encuentran en el mercado. Como principales tipos de frenos tenemos las siguientes opciones:

Tipos de frenos			
Función	Frenos Cáliper	Frenos "V"	Frenos de disco
Facilidad de montaje	6	10	6
Precio	10	10	6
Seguridad	6	8	10
Total	22	28	22

Tabla 18. Matriz QFD Selección de frenos.

Dando como resultado que la mejor opción en este caso son los frenos "V" ya que su forma de instalación y funcionamiento permite realizar un diseño de chasis con más libertades a diferencia de los frenos tipo Cáliper. Por otro lado, con respecto a su costo y facilidad de montaje es superior a los frenos de disco. Por lo tanto, se escoge como frenos para el prototipo a realizar los frenos "V" dado que se busca que el prototipo sea de un precio asequible manteniendo estándares de seguridad aceptables

#### 6.5. Potencia del motor eléctrico

Para calcular la potencia del motor eléctrico a utilizar se debe tener en cuenta el vehículo a trabajar, las condiciones viales de la ciudad y la normativa correspondiente. Para esto se realizan los cálculos de la potencia requerida por el motor en terreno plano y en terreno con pendientes de 5%.

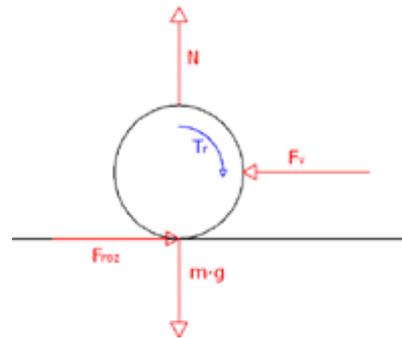


Figura 24. DCL motor en rueda. [25]

Cuyo diagrama de cuerpo libre es el siguiente:

Ecuación 35

$$\sum Fy = 0 \rightarrow N = m \cdot g$$

$$\sum Fx = 0 \rightarrow Froz - Fv = 0$$

La rotación del sistema se define como:

*Ecuación 36*

$$\sum M = I * \alpha$$

Al suponer la velocidad constante, la aceleración angular es cero, así que:

*Ecuación 37*

$$Tr = F_{roz} * r$$

Y su velocidad angular se expresa como:

*Ecuación 38*

$$\omega = v / r_{rueda}$$

Donde finalmente se obtiene la ecuación general de la potencia del motor eléctrico a utilizar:

*Ecuación 39*

$$pot = Tr * \omega$$

Para realizar dichos cálculos se toman en cuenta datos promedio, tales como:

- Velocidad: 25Km/h
- Llanta de 20" con diámetro de 406mm
- Coeficiente de resistencia aerodinámica = 1,2 [29]
- Área frontal = 0.5m<sup>2</sup> [29]
- Peso del conjunto: 100Kg
- Pendiente: 5%

Los cuales dan como resultado:

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 981N \\ \sum F_x &= 1,2 * 0,5 * 6,95^2 \rightarrow \sum F_x = 28,981N \\ \sum M &= I * \alpha \\ F_{roz} &= T * r \rightarrow F_{roz} = 28,981 * \frac{0,406}{2} \rightarrow F_{roz} = 5,88 \frac{N}{m} \\ \omega &= \frac{V}{r} \rightarrow \omega = \frac{6,95}{0,203} \rightarrow \omega = 34,236 \frac{rad}{s} \\ P_m &= \omega * T \rightarrow P_m = 5,88 * 34,519 \rightarrow P_m = 201,21W \end{aligned}$$

Ahora para conocer a qué velocidad se desplaza el vehículo usando la misma potencia en terreno inclinado se realiza el siguiente análisis:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow N = m * g * \cos(2,86) = 979,778N$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{roz} - F_v - m * g * \sin(2,86) = 0 \rightarrow F_{roz} = m * g * \sin(2,86) + F_v$$

$$F_{roz} = 48,95 + 0,5 * v^2$$

$$\sum M = I * \alpha$$

$$F_{roz} * r - Tr = 0 \rightarrow F_{roz} * r = Tr$$

$$Tr = (48,95 + 0,5 * V^2) * 0,203 = 9,94 + 0,1015 * V^2$$

$$\omega = \frac{V}{r} = \frac{V}{0,203}$$

$$Pm = T * \omega \rightarrow 201,31 = (9,94 + 0,1015 * V^2) * \frac{V}{0,203}$$

$$-0,5V^3 - 48,95V + 201,31 = 0$$

$$V = 3,6 \frac{m}{s} \rightarrow V = 12,96 \frac{km}{h}$$

Dando como resultado que con una potencia de 201 W el vehículo en un terreno con pendiente de 5% se desplaza a una velocidad de casi 13Km lo cual en este caso es aceptable.

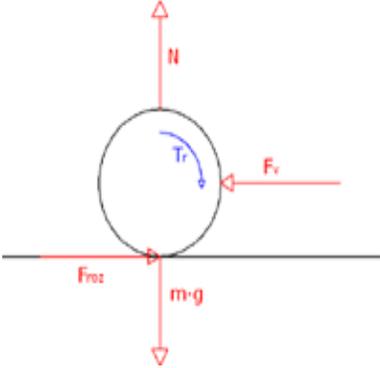
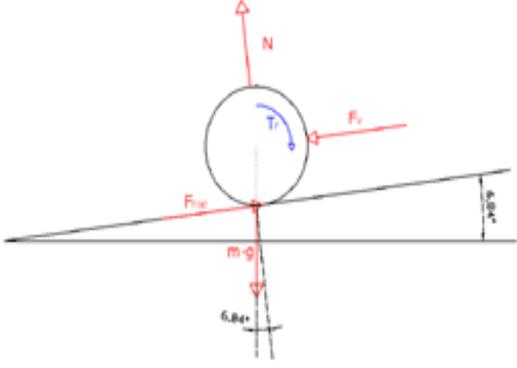
Terreno plano	Terreno inclinado (5%)
	
<p><b>Potencia: 201,31W</b> <b>Velocidad: 25Km/h</b></p>	<p><b>Potencia: 201,31W</b> <b>Velocidad: 12,96Km/h</b></p>

Tabla 19. Potencia requerida por el motor.

## 6.6. Selección de motor eléctrico

Para dicha selección se tiene en cuenta la potencia suministrada por el usuario y la potencia requerida para desplazarse en terrenos planos y con inclinación. Es por eso que se escoge el siguiente motor, ya que en terreno plano proporciona ayuda de sobra y para terrenos inclinados mantiene un nivel de asistencia aceptable para el usuario.

Posición de motor					
Función	Peso	Motor pedalier	Motor hub delantero	Motor hub trasero	Motor externo
<b>Precio</b>	5	1	9	9	3
<b>Durabilidad</b>	4	9	9	9	3
<b>Mantenimiento</b>	5	3	9	9	3
<b>Espacio ocupado</b>	3	3	3	9	3
<b>Tracción</b>	4	9	9	9	3
<b>Disponibilidad</b>	3	3	9	9	3
	Total	110	198	216	72

Tabla 20. Matriz QFD para la selección de la posición del motor eléctrico.

Se escoge un motor hub trasero, debido a la facilidad de adquisición en el mercado, además su posición hace que más estable cuando se esté suministrando la asistencia eléctrica. Ahora se toma un valor nominal por encima del calculado ya que la eficiencia de los motores ronda el 90% [22].

Motor seleccionado	Características
 <p><i>Figura 25. Motor hub.</i></p>	<p>Especificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Voltaje: 48V</li> <li>• Corriente Max= 10A</li> <li>• Potencia: 350W</li> </ul>

Tabla 21. Selección del motor eléctrico.

## 6.7. Selección de la Batería

Al seleccionar la batería, primero se debe calcular la capacidad de esta, teniendo en cuenta el motor eléctrico a trabajar y la distancia de desplazamiento que se va a recorrer en promedio.

Teniendo en cuenta el motor seleccionado, sus especificaciones y el recorrido que se hará, se conoce que:

- Voltaje: 48V
- Potencia: 350W
- Corriente máxima: 10A
- Velocidad: 25Km/m
- Distancia recorrida: 5Km

Por ende, el tiempo de batería se define como:

*Ecuación 40*

$$t_{batería} = \frac{d}{v} \rightarrow t_{batería} = \frac{5 \text{ Km}}{25 \text{ Km/h}} \rightarrow t_{batería} = 0,2h \rightarrow 12 \text{ minutos}$$

Ahora para determinar la capacidad de la batería:

*Ecuación 41*

$$Cb = I_{max} * t_{batería} \rightarrow Cb = 10000mA * 0,2h \rightarrow Cb = 2000mAh$$

Y finalmente, el amperaje máximo de esta batería para suministrar al motor debe ser:

*Ecuación 42*

$$A = \frac{Potencia_{motor}}{voltaje_{motor}} \rightarrow A = \frac{350 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 7.3A$$

Dichos cálculos son realizados a velocidad y potencia máxima, lo cual es poco probable que se conduzca así en carretera, sin embargo, da las especificaciones que debe tener la batería.

## 6.8. Selección del controlador

Para el controlador se debe escoger uno que sea capaz de manejar el motor, la batería y tener la capacidad de recibir señales por parte del sensor de asistencia de pedaleo PAS. Para ello se conoce que el motor cuenta con las siguientes características:

- Voltaje: 48V
- Potencia: 350W

*Ecuación 43*

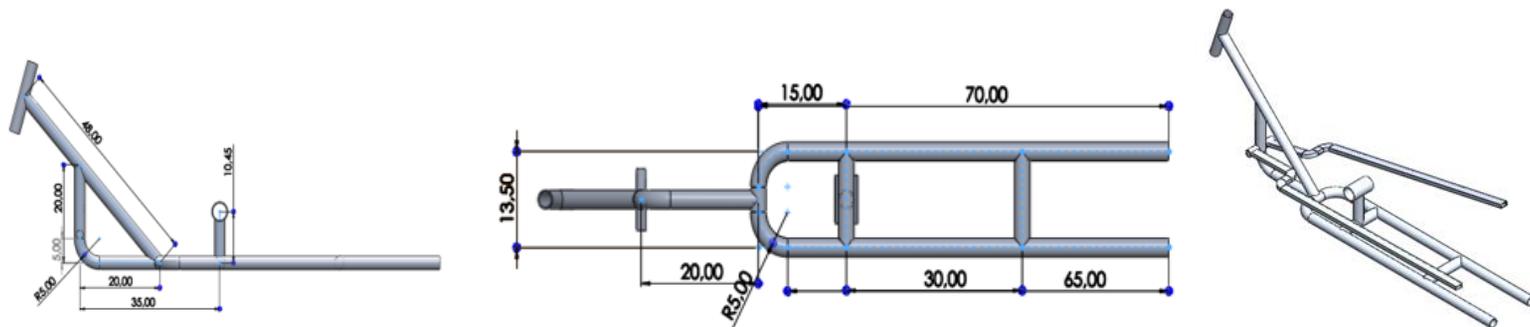
$$\frac{350 \text{ w}}{48 \text{ V}} = 7.3 \text{ A}$$

Así que el controlador deberá ser capaz de recibir corrientes de 10<sup>a</sup>

## 6.9. Diseño CAD

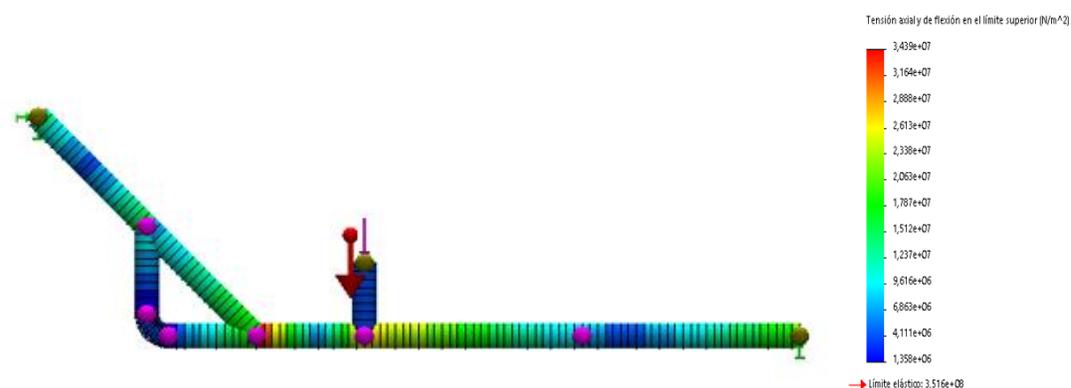
Una vez obtenido los parámetros de ergonomía, sistema de transmisión de potencia mecánica y sistema de asistencia eléctrica. Se diseña un chasis teniendo en cuenta estos factores y perfiles de tubería existentes en el mercado. Dando como resultado el siguiente diseño.

### 6.9.1 Diseño inicial de chasis



*Figura 26. Diseño inicial de chasis.*

Con el fin de comprobar que el diseño de chasis es capaz de soportar el trabajo a realizar, se realizan simulaciones con cargas de 1000N para verificar que este sea capaz de resistir la carga de trabajo.



*Figura 27. Análisis de tensión en diseño inicial de chasis.*

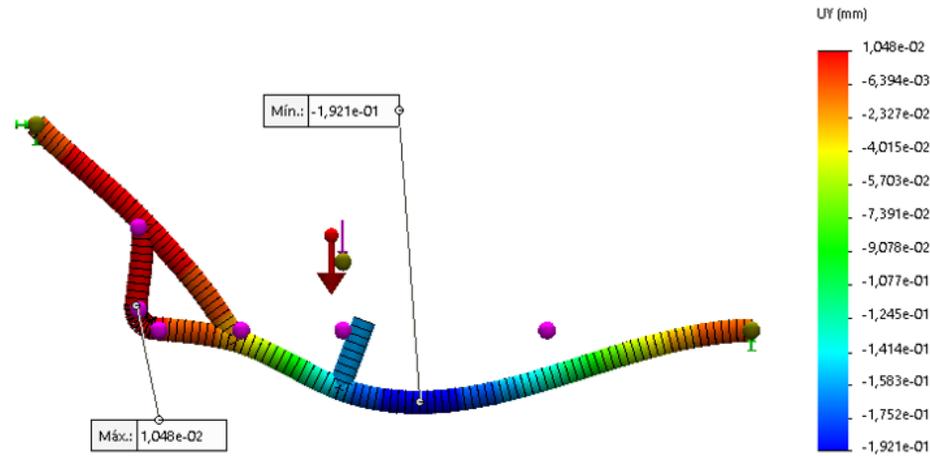
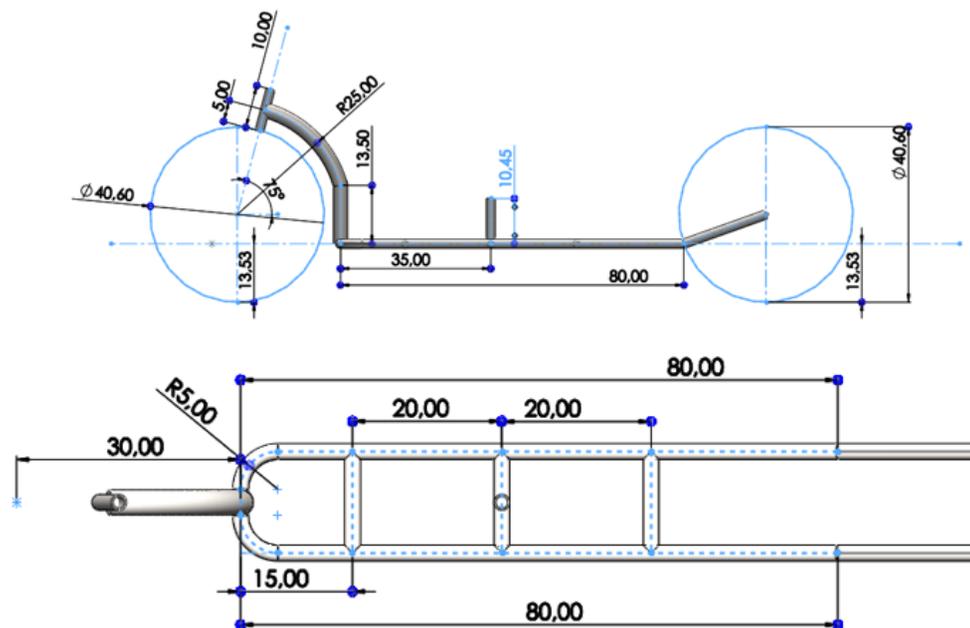


Figura 28. Análisis de desplazamiento en diseño inicial de chasis.

Como se observa en las anteriores figuras, el diseño de chasis es capaz de soportar la carga de 1000N , sin embargo, este diseño es algo rudimentario, por tanto existe la posibilidad de mejorarlo. Para lograrlo se optimiza su geometría con el fin de obtener un mejor diseño con respecto a su comportamiento mecánico y a la vez más estético. Lo cual se ve reflejado en el diseño de chasis que se muestra a continuación.

### 6.9.2 Diseño número de 2 de chasis

Para este diseño los principales cambios se ven reflejados en las zonas de las ruedas. En la zona delantera se procura que el chasis tenga una curvatura acorde al tamaño de la rueda que en este caso es una rueda de 20" y a la vez manteniendo así una distancia constante, esto con el fin de evitar choques entre estos componentes. Con respecto a la zona trasera, a esta se le da una inclinación de 20° con el fin de acercar la base del chasis al suelo.



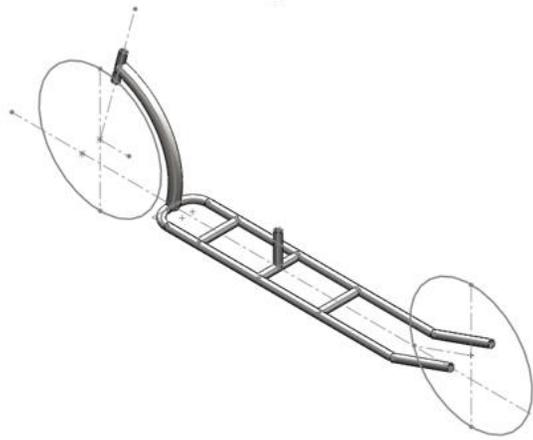


Figura 29. Diseño número dos de chasis.

Aunque el diseño número 2 tiene buen comportamiento ante las pruebas de carga con 1000N realizadas, este diseño puede ser optimizado reduciendo la longitud de la base. Lo que finalmente da como resultado el diseño número 3.

### 6.9.3 Modelo número 3 de chasis

A este diseño se le realiza un reducción en la longitud de la base con respecto al diseño número dos, por lo cual queda de la siguiente manera:

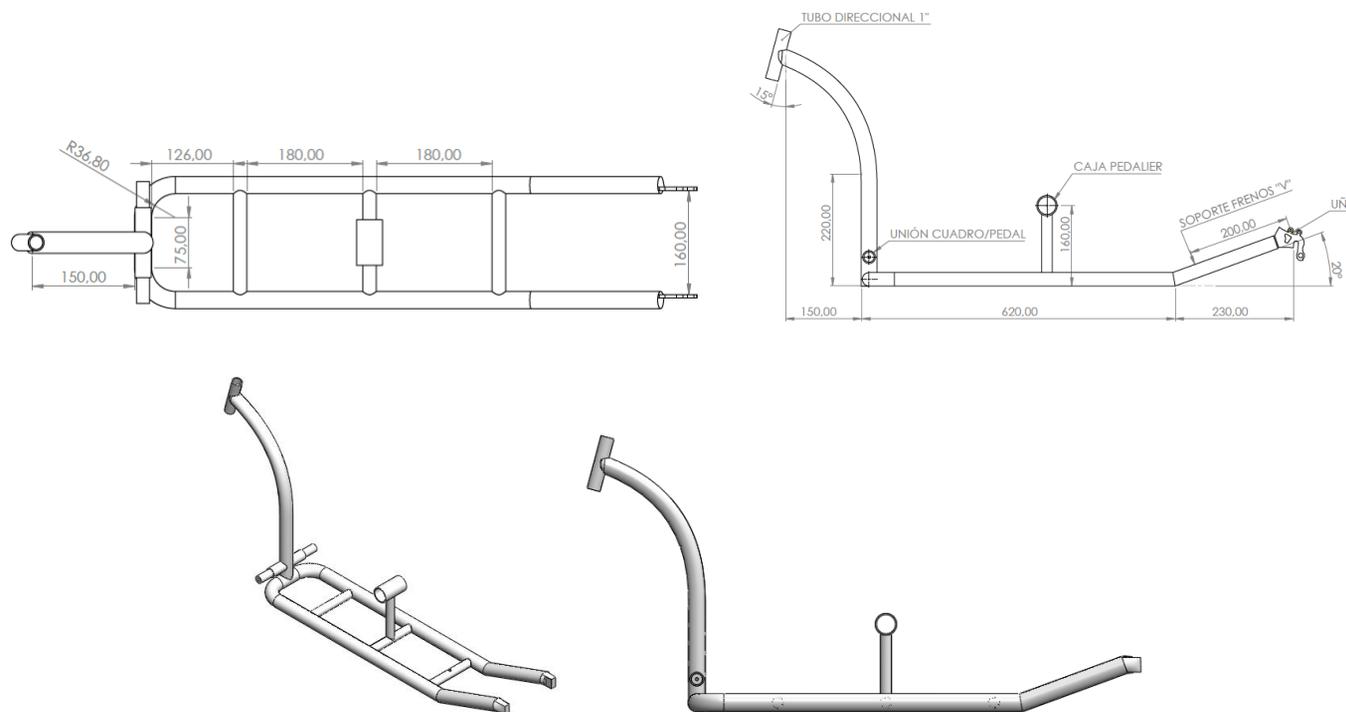


Figura 30. Diseño número tres de chasis.

#### 6.9.4 Diseño inicial de pedal

Ahora bien, con respecto a los pedales se realizó un diseño inicial de pedal fabricado con un perfil rectangular de 25x50mm con las siguientes dimensiones



Figura 31. Diseño inicial de base para el pedal.

Sin embargo, el realizar momento de realizar los dobleces que este diseño necesita es probable que el material sufra deformaciones no deseadas, por lo tanto, se hace necesario el rediseñar los pedales con un perfil circular, dando como resultado el diseño número dos:

#### 6.9.5 Diseño número dos de pedales

Para este diseño se cambia el perfil rectangular por un perfil tubular de 1", el cual es mucho más fácil de moldear de acuerdo con el diseño realizado

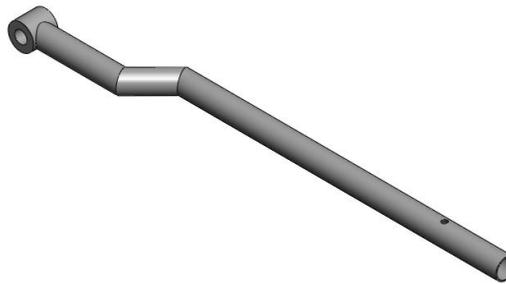
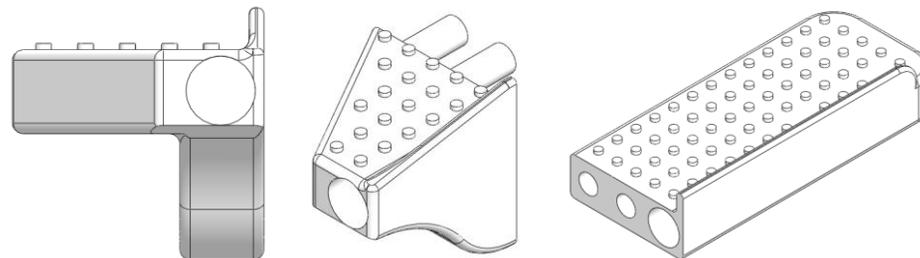


Figura 32. Diseño final de base para el pedal.

#### 6.9.6 Diseño inicial del "tacón" para pedales

Teniendo en cuenta que el sistema de transmisión de potencia mecánica se realiza por un mecanismo elíptico se hace necesario de un elemento que asegure un pedaleo correctamente, ya que solo la base recta del pedal no es capaz de realizarlo. Por lo tanto, inicialmente se realiza un diseño de tres piezas fabricadas con impresión 3D como se muestra a continuación:



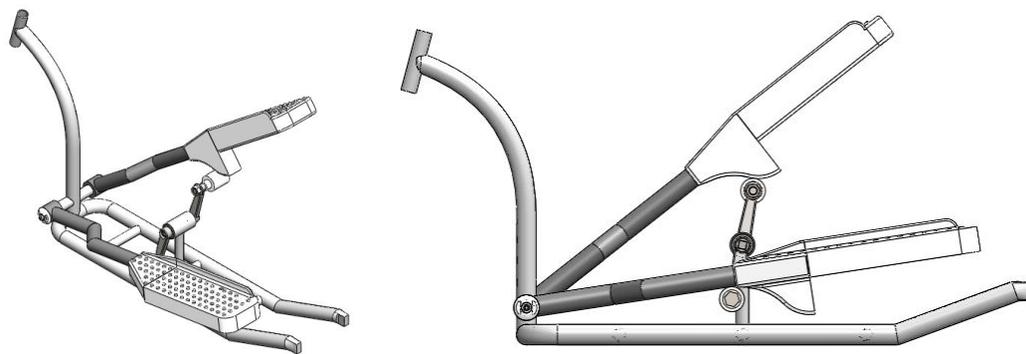
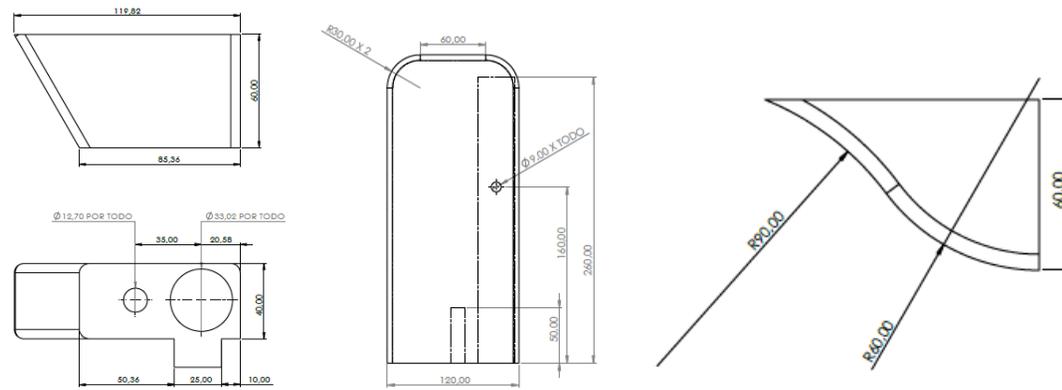


Figura 33. Diseño inicial de "tacón" y plataforma de pedal.

Sin embargo, los inconvenientes realizar la construcción de estos elementos con este proceso de manufactura son su elevado costo y su tiempo de producción. Por ende, se hace necesario un nuevo diseño que se más eficiente en estos aspectos.

### 6.9.7 Diseño final de "tacón" y plataforma de pedales

Con el fin de encontrar la geometría del nuevo "tacón" se tiene en cuenta el diseño anterior y se realizan pruebas con perfiles circulares de tamaño similar con el fin de encontrar una configuración que sea capaz de realizar el pedaleo elíptico manteniendo los criterios de diseño mencionados anteriormente, dando como resultado que para este caso se requiere de un diámetro de 4" para realizar un correcto sistema de pedaleo elíptico. Además, se le incorpora una lámina de madera sobre una lámina de acero con el mismo tamaño para brindar una plataforma en la cual el usuario se apoye.

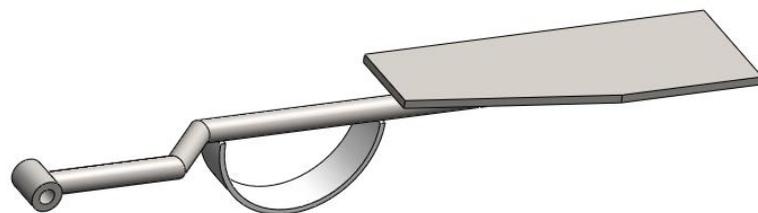


Figura 34. Modelo final de pedal con "tacón" y plataforma.

Dando finalmente como resultado el siguiente diseño de scooter elíptica

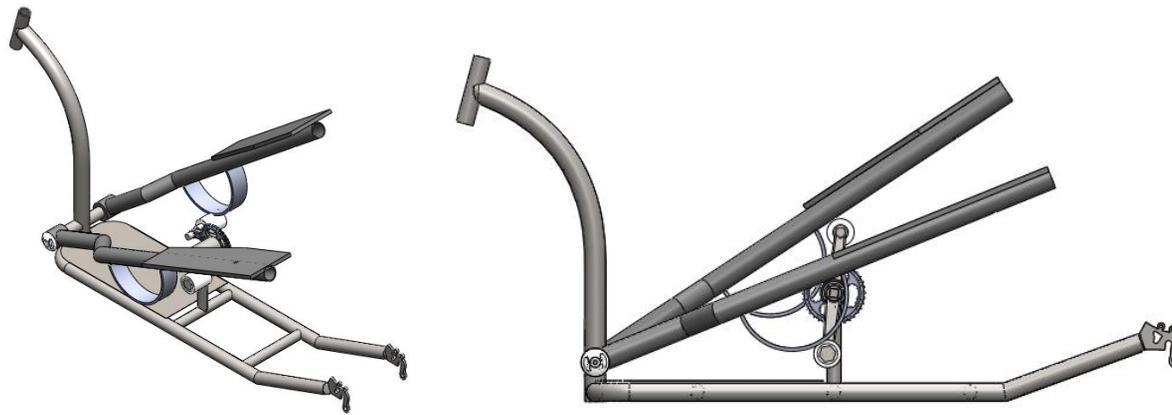


Figura 35. Ensamblaje preliminar del prototipo.

### 6.10. Longitud de la cadena

Para conocer el tamaño de la cadena a utilizar se debe tener en cuenta la cadencia de pedaleo que en este caso ronda los 60RPM, el paso de la cadena que para vehículos ligeros como las bicicletas es de 1/2" y tener definido la distancia entre ruedas. Ya con estos datos se puede obtener la longitud de la siguiente manera:

Ecuación 44

$$Vel_{cadena} = \frac{Paso\ de\ cadena[in] * \#dientes * Vel[Rpm]}{60}$$

$$Vel_{cadena} = 0,5334 \frac{m}{s}$$

Por otro lado, el esfuerzo ejercido sobre la cadena se define como:

Ecuación 45

$$F_u = \frac{potencia\ W}{vel_{cadena} \frac{m}{s}}$$

$$F_u = 1124.86\ N$$

Y finalmente la longitud de la cadena se define de la siguiente manera:

Ecuación 46

$$L = 2 * C + \left( \frac{F}{4} + \frac{R}{4} + 1 \right)$$

Donde:

$L$  = Longitud de la cadena redondeada a la pulgada más cercana

$C$  = Distancia entre el eje de centro y el eje de la maza trasera

$F$  = Número de dientes del plato más grande

$R$  = Número de dientes del piñon más grande

$$L = 2 * (0.6) + \left( \frac{42}{4} + \frac{28}{4} + 1 \right) = 19.7" = 0.5m$$

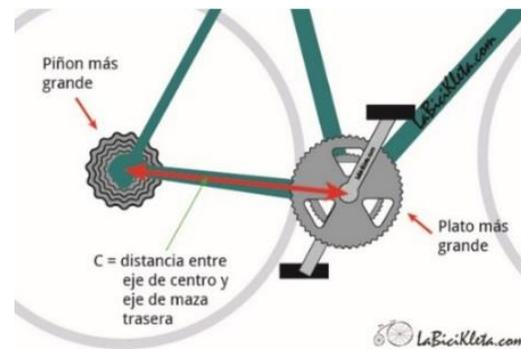


Figura 36. Longitud de cadena. [31]

## 6.11. Selección de materiales del chasis

Se revisa en la literatura los materiales más usados para la elaboración de chasis de bicicletas los cuales son el acero, el aluminio y la fibra de carbono, luego teniendo en cuenta uno de los objetivos del proyecto el cual es construir un prototipo de bajo costo y de fácil reparación, por ende, se escoge el acero 1020 como material de construcción dada sus buenas características físicas, facilidad de trabajo y bajo costo de adquisición.

## 6.12. Simulaciones realizadas

### 6.12.1. Preparativos para el análisis en SolidWorks

Para realizar dicho análisis primero que todo se tiene que realizar adecuaciones al diseño con el fin de que este se aproxime a un modelo real. Es por esto que a todas las uniones que presenta el chasis se les añaden cordones de soldadura de 0.5cm y al mismo tiempo se simplifica la geometría de este con el fin de evitar que el modelo arroje datos erróneos al momento de realizar simulaciones.

### 6.12.2. Análisis de chasis

Para este análisis se aplica una fuerza de 1000N en el eje pedalier y sujeciones en los extremos donde van incorporadas las ruedas para simular el comportamiento de la pieza en posición estacionaria.

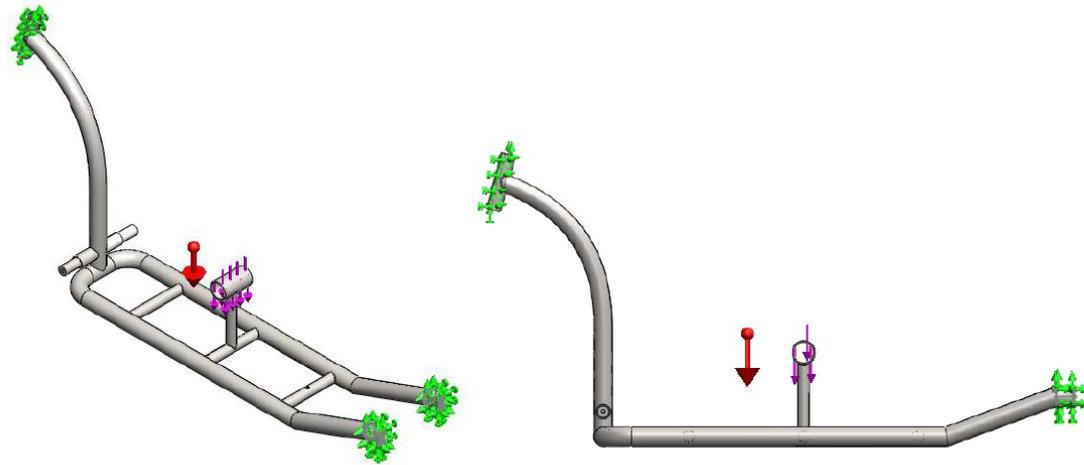


Figura 37. Carga y sujeción en análisis de chasis.

A su vez, se configura la malla a utilizar en las próximas simulaciones de la siguiente manera:

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 malla chasis fina (-prueba 1<Como mecanizada>-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Control de malla	Definida
Tamaño máx. de elemento	0.45 cm
Tamaño mín. de elemento	0.149999 cm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	533809
Número total de elementos	276662
Cociente máximo de aspecto	7.9596
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	99
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Número de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:57
Nombre de computadora	

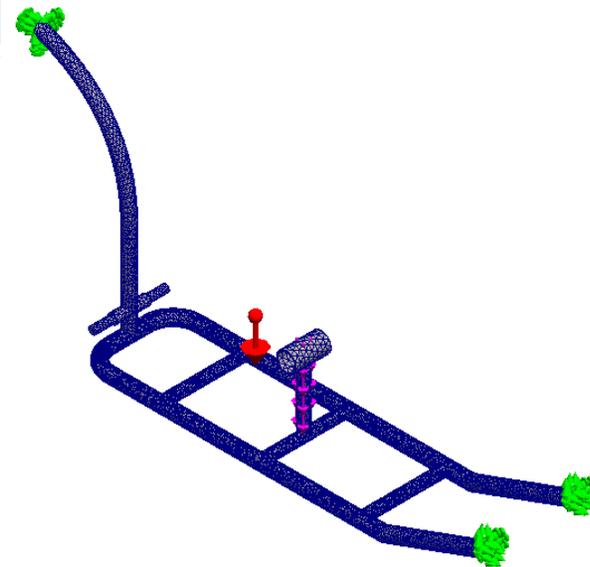


Figura 38. Parámetros de malla en chasis.

### 6.12.2.1. Tensiones en chasis

En este análisis se evidencia un punto crítico en la unión de la base y el tubo vertical que tiene valor de  $3.2 \times 10^8 \text{ [N/m}^2\text{]}$ . Sin embargo, no pasa de su límite elástico.

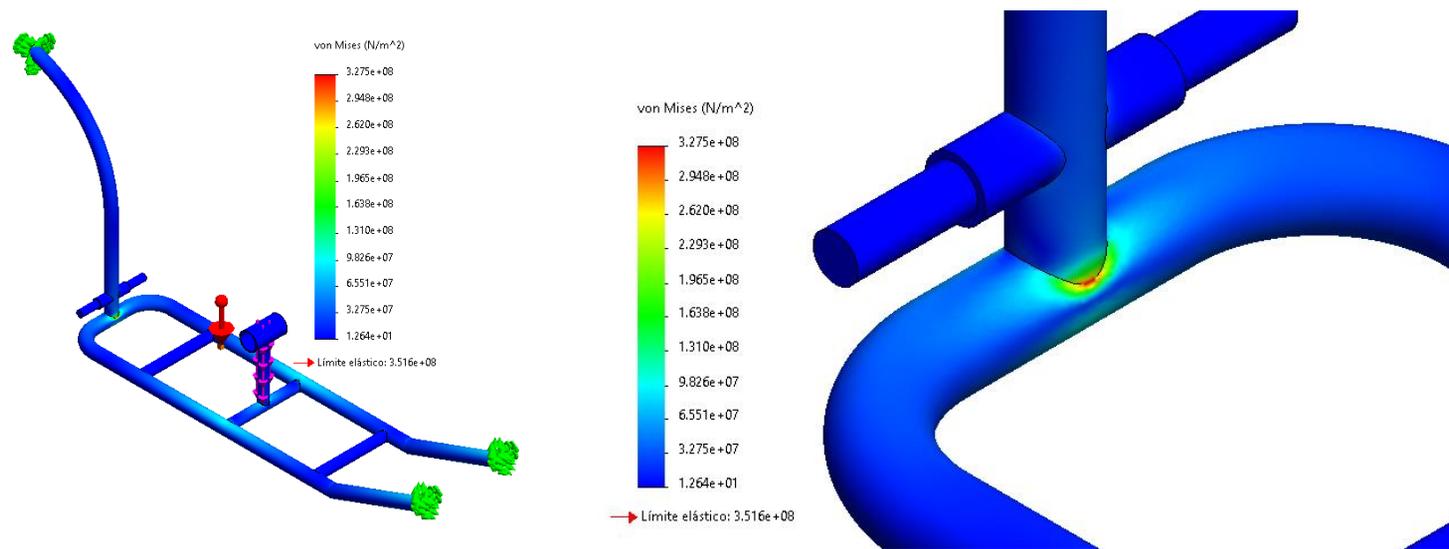


Figura 39. Tensiones en análisis de chasis.

### 6.12.2.2. Desplazamientos en chasis

Con respecto al desplazamiento producido, estos son insignificantes ya que como se evidencia en el análisis anterior la pieza analizada no sobrepasa su límite elástico. Dado lo anterior el máximo desplazamiento presentado es de 1.2mm justo en la zona donde se aplica la carga de 1000N.

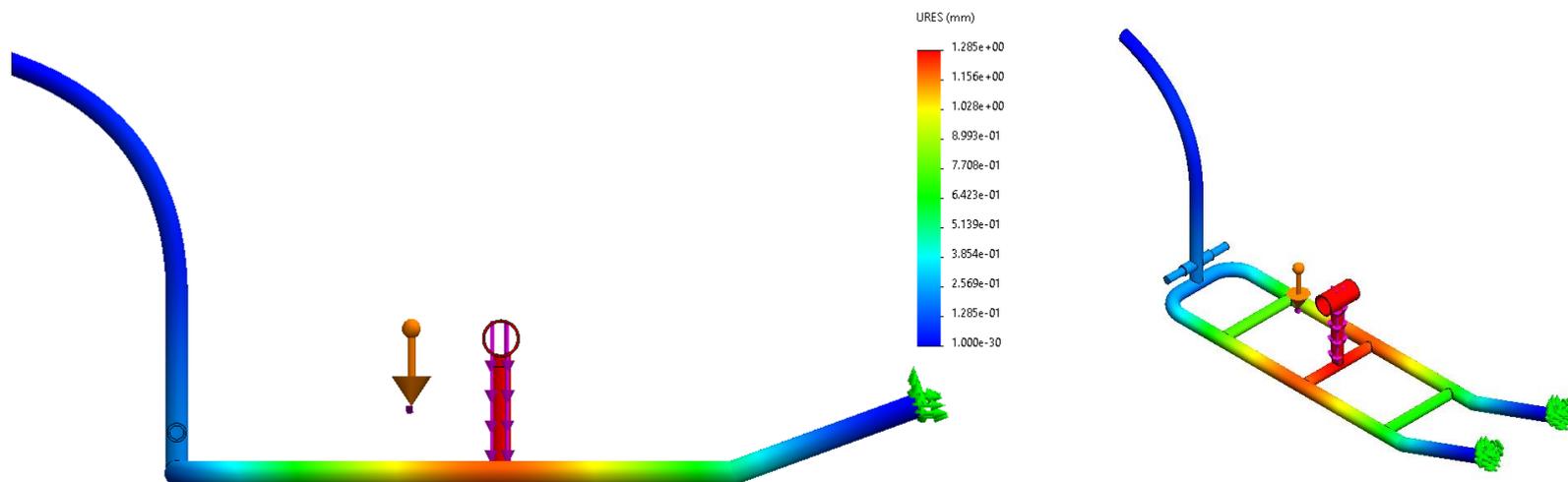


Figura 40. Desplazamientos en análisis de chasis.

### 6.12.2.3. Factor de seguridad en chasis

Para este análisis se estable un límite máximo de 3 en los resultados obtenidos con el fin de hacer más evidentes los puntos críticos de la pieza. Como resultado la pieza presenta un factor de seguridad mínimo de 1.6, lo que significa que el cuadro es capaz de soportar dicha carga sin tener riesgos de fallar.

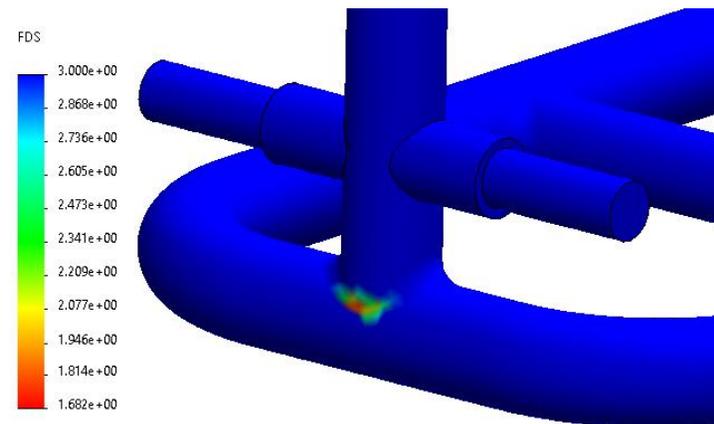


Figura 41. Factor de seguridad en chasis.

### 6.12.2.4. Fatiga en chasis

Con el fin de garantizar la realización de un chasis que sea seguro para los usuarios se debe tener en cuenta tanto las fuerzas estáticas como a la fatiga producida por los numerosos ciclos de carga/descarga que sufre este elemento. Ya que, si el chasis no recibe un golpe o choque, la causa más normal de rotura será la fatiga. Por lo tanto, se debe asegurar que la rotura por fatiga se produzca mucho tiempo después de la vida útil del vehículo [32] [33] [34].

Es por ello que se realiza simulaciones de fatiga en el chasis con 10.000 ciclos de trabajo para evidenciar el daño producido y la vida total del chasis al ser sometido a la carga/descarga aplicada. Como resultado se obtiene que la zona crítica identificada en las anteriores simulaciones será propensa a fallar alrededor de los 27.590 ciclos de trabajo realizados.

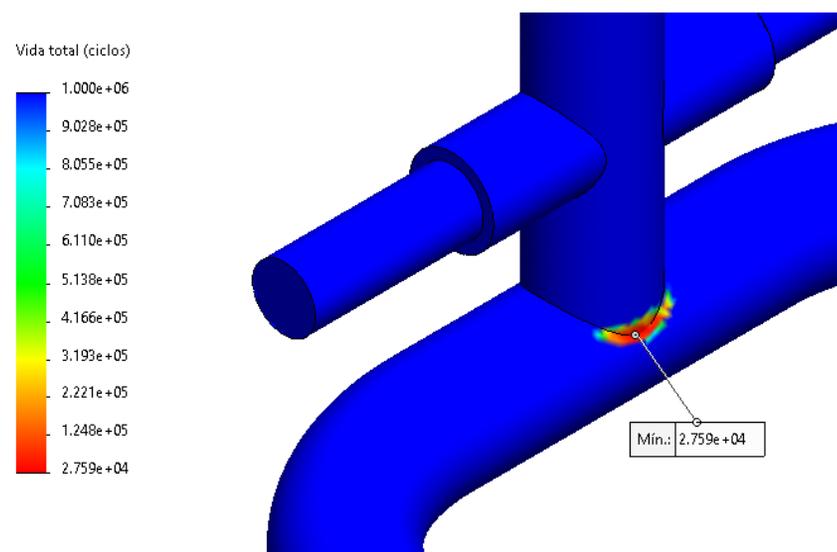


Figura 42. Fatiga presentada en análisis de chasis.

### 6.12.2.5. Convergencia de análisis en chasis

Al realizar un análisis de elementos finitos, una malla más fina por lo general arroja resultados más precisos. Sin embargo, el tiempo de procesamiento también aumenta. Es por esto que la convergencia de malla permite obtener resultados precisos junto con tiempos de procesamiento adecuados. Por lo tanto, al realizar un análisis de convergencia es necesario seguir los siguientes pasos [34]:

- Seleccionar el tipo de elemento a trabajar
- Crear una malla con parámetros estándar y realizar el análisis del elemento a trabajar para tener puntos de referencia
- Crear nuevamente una malla, pero modificando sus parámetros y realizar nuevamente los análisis
- Compara los resultados obtenidos con el análisis anterior y evaluar su porcentaje de variación
- Repetir los 2 pasos anteriores hasta que los resultados converjan satisfactoriamente, es decir, presenten diferencias menores al 3%

Dado lo anterior se realizan 7 estudios con diferentes configuraciones de malla con el fin de verificar la convergencia en el resultado de las tensiones producidas en el chasis, obteniendo así los siguientes resultados:

ELEMENTOS DE MEDICION	MALLA 1	MALLA 2	MALLA 3	MALLA 4	MALLA 5	MALLA 6	MALLA 7
TENSION [N/m <sup>2</sup> ]	1.71	1.964	2.341	2.521	3.059	3.289	3.275
NUMERO DE ELEMENTOS	28.314	31.939	50.616	96.225	153.400	461.294	533.809
TIEMPO SIMULACION [s]	11	10	18	23	36	89	60

Tabla 22. Resultados análisis de conversión de malla en chasis.

Una vez calculada la solución con las diferentes mallas, se grafica el esfuerzo de Von Misses obtenido en cada análisis junto con el número de elementos de malla. Del mismo modo se evalúa el porcentaje de variación que hay entre los resultados obtenidos teniendo en cuenta que un porcentaje de variación menor a 3% indica que la malla ya convergió y por lo tanto se asegura la minimización del error por discretización en el modelo analizado [35]. Y como se puede ver a continuación la variación de resultados entre la malla 6 y la malla 7 es menor al 1%.

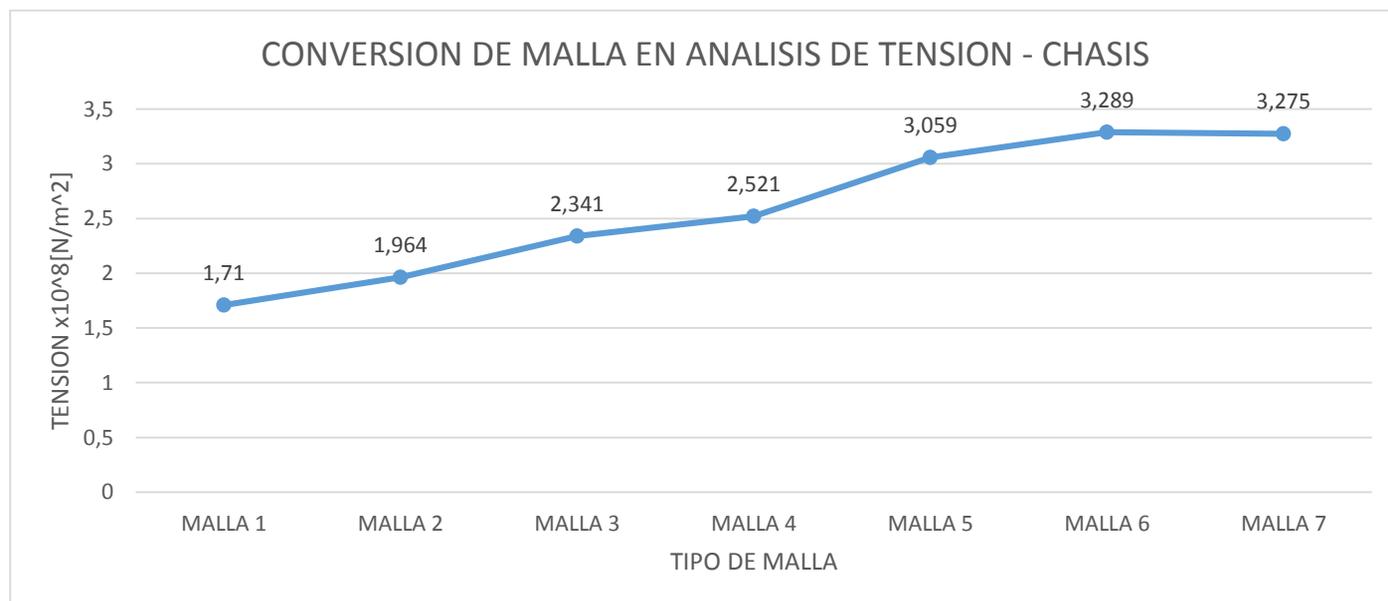


Figura 43. Convergencia en análisis de chasis.

### **6.13. Conclusiones de los análisis realizados**

El prototipo al no tener ningún tipo de suspensión externa depende completamente de sus propiedades mecánicas para soportar los esfuerzos externos. Como se pudo ver el chasis es capaz de soportar una persona de 100Kg sin inconvenientes. Sin embargo, el diseño presenta zonas donde se concentran grandes esfuerzos como lo son la unión de la barra vertical con la base del chasis. Por lo tanto, se recomienda reforzar estas zonas si se va a utilizar el prototipo en circuitos diferentes a los de tipo urbano o con usuarios que superen los 100Kg.

## CAPITULO 7. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

### 7.1. Selección de materiales de construcción

Se inicia seleccionando el material con el cual se realizará la construcción del chasis del prototipo como se observa en la figura 47. Para ello como se menciona en el capítulo anterior, el prototipo estará construido con tuberías estructurales de AISI 1020 con las siguientes características:

1. Tubería con diámetro exterior de 3,6cm y 0,2cm de espesor
2. Tubería con diámetro exterior de 2,6cm y 0,15cm de espesor
3. Tubería con diámetro exterior de 2,1cm y 0,15cm de espesor

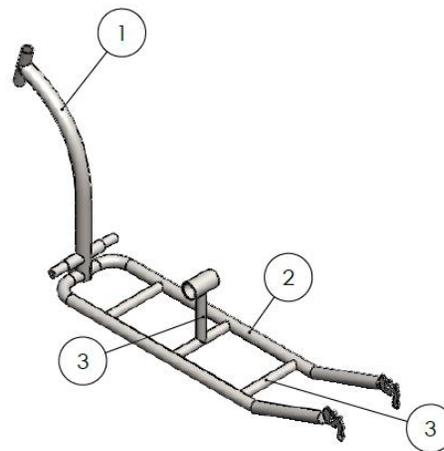


Figura 44. Selección de material - Chasis.

### 7.2. Adecuaciones al material de construcción seleccionado

Una vez seleccionado el material se procede a realizar cortes con las medidas seleccionadas y realizar los dobleces requeridos. Para esto se utiliza una sierra circular, una dobladora de tubos fija de acción manual y una dobladora de tubos eléctrica para realizar los dobleces.



Figura 45. Herramientas utilizadas para adecuar el material base.

Dichos dobleces y cortes se realizan teniendo en cuenta los siguientes diseños realizados:

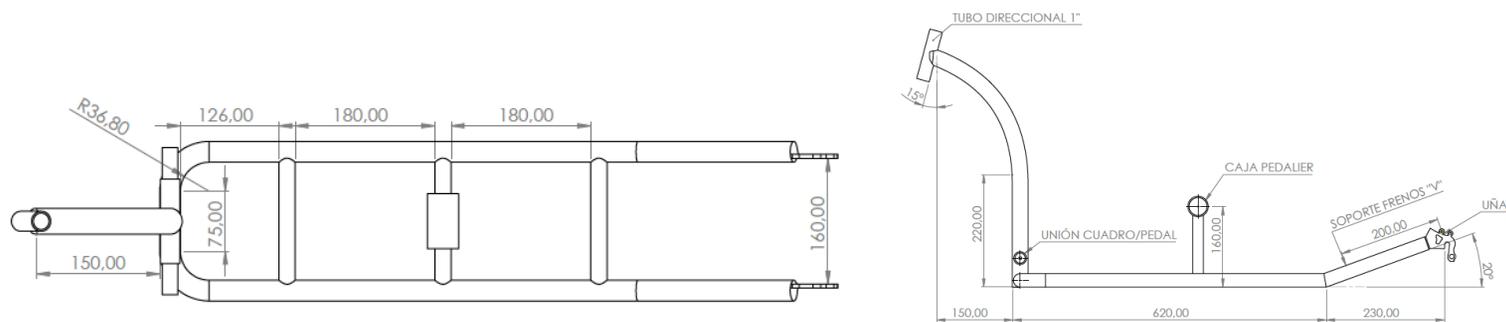


Figura 46. Planos del chasis.

Por lo tanto, se inicia con los dobleces más sencillos, para ello se usa una dobladora fija y elementos de medición como lo son flexómetros, ángulos y transportadores.

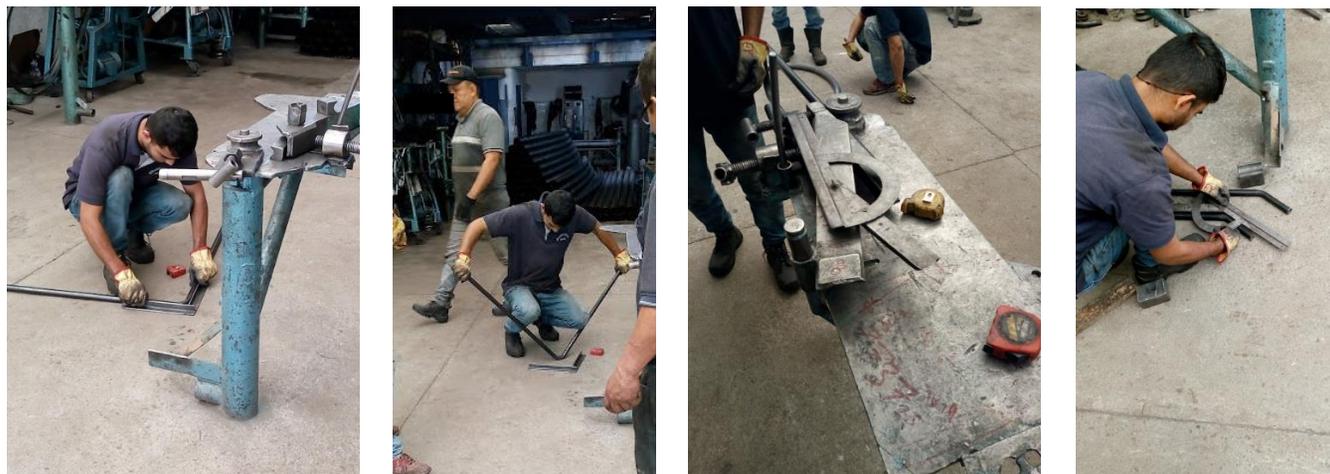


Figura 47. Proceso de doblez del material base.

Luego, para realizar el doblez del tubo 1 se realiza con una dobladora accionada por motor eléctrico, ya que se trata de un doblez más complejo lo cual requiere de pequeños pero precisos dobleces hasta llegar a la geometría deseada.



*Figura 48. Cilindradora eléctrica.*

Una vez finalizado el corte y los dobleces al material, se procede a adecuar estos para el proceso de soldadura. Para ello se realizan “bocas de pescado” y deformaciones en los extremos del material como se puede observar en las siguientes imágenes. Todo esto se realiza con el fin de hacer el proceso de soldadura más efectivo.



*Figura 49. Adecuación del material base*

### **7.3. Construcción del chasis**

Se procede a soldar la tubería principal del chasis y sus accesorios como lo son las “uñas” o platinas de soporte para ruedas, el tubo direccional, entre otros. Dicha soldadura es realizada con el proceso MIG, luego se incorporan las ruedas para verificar la altura con respecto al piso y verificar que la estructura esté a nivel.



*Figura 50. Ensamblaje inicial del chasis.*

Una vez la altura del prototipo esté acorde a los diseños suministrados, se procede a realizar la adición de los soportes estructurales en el chasis del prototipo como se evidencia en las siguientes figuras.



*Figura 51. Incorporación de soportes estructurales en el chasis.*

Luego, se añade el soporte y caja pedalier con su respectivo eje centro para iniciar las pruebas de funcionamiento del sistema de pedaleo elíptico.



*Figura 52. Instalación de caja pedalier.*

#### 7.4. Construcción y maquinado del sistema de pedaleo

Una vez se tiene lista la base del chasis, se realiza la fabricación de los soportes que unen al chasis con los pedales. Para esto se usan barras solidas de acero 1020 del diámetro de 1" según las especificaciones de los diseños realizados. Para el mecanizado se utiliza el torno convencional que se encargará de los procesos de refrentado y su respectivo desbaste.

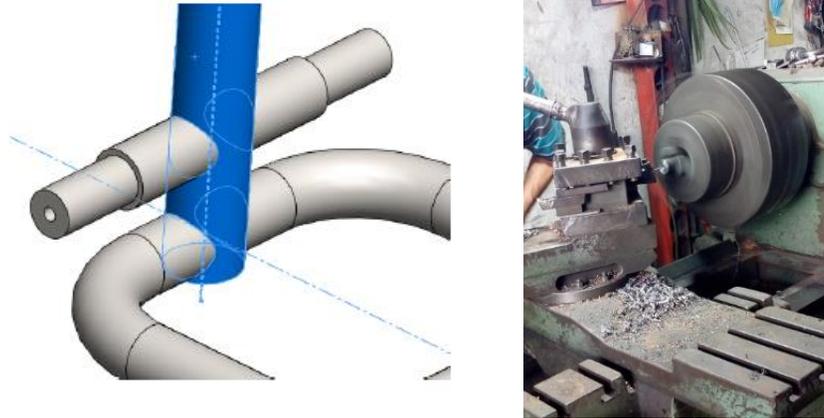


Figura 53. Fabricación de soportes para pedales.

Finalizado el proceso de construcción de los soportes, se realiza el ensamble con tubería estructural de 1" y tornillos 5/16" los cuales tendrán la función de unir al pedal con el chasis del proyecto, pero dejando un grado de libertad para que el mecanismo de pedaleo pueda funcionar correctamente.



Figura 54. Subensamblaje de pedales.

Finalmente, se termina de realizar el ensamble del pedal añadiendo la base de este con soldadura MIG dando como resultado lo visto en la figura 58:



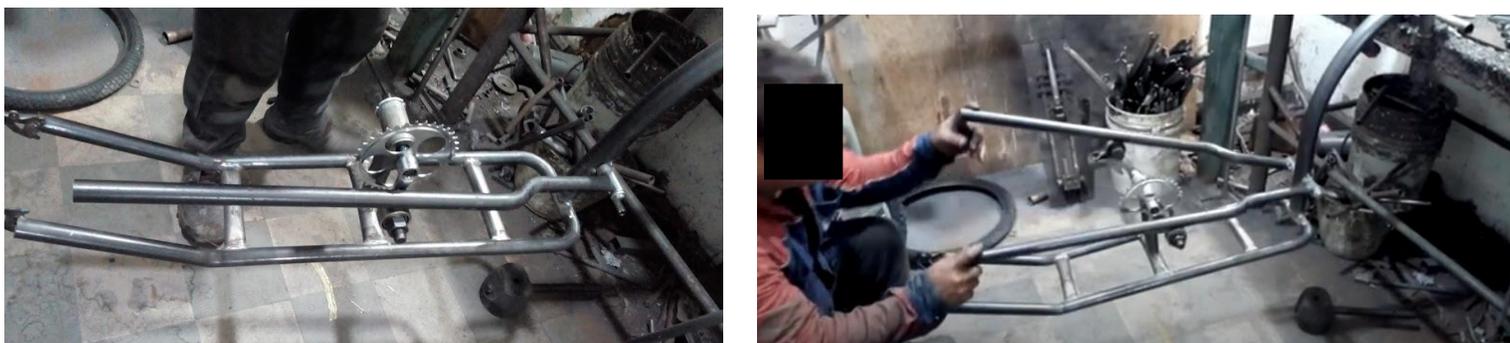
*Figura 55. Cuerpo de pedales.*

Ahora bien, con respecto a bielas que se usarán para el mecanismo de pedaleo, estas presentan unas características especiales, por lo cual deben ser hechas a partir de bielas comerciales y realizar las correspondientes modificaciones, como lo son la reducción de longitud y la adición de rodamientos en sus extremos.



*Figura 56. Adecuación de bielas.*

Luego con rodamientos y tornillería de 1" se realiza la biela necesaria para el mecanismo diseñado. Una vez ensamblado, se verifica que los pedales se mantengan alineados con la rotación de las bielas como se muestra a continuación:



*Figura 57. Prueba de funcionamiento del mecanismo de pedaleo.*

Finalmente se inicia con la creación del “tacón” del pedal, el cual asegura que este mecanismo elíptico siempre vaya hacia adelante. Para ello se cambió el diseño inicial ya que en la práctica no es viable debido a la complejidad de fabricación, por tanto, se eligió una configuración totalmente circular ya que es fácil de fabricar con tubería que se encuentra en el mercado. En este caso se utiliza una tubería con circunferencia de 4” la cual asegura el correcto funcionamiento del pedaleo elíptico.



*Figura 58. Fabricación de "tacón".*

### **7.5. Construcción de sistema de dirección**

Se inicia con la construcción del manubrio extensible. Para este componente se usó tubería de  $\frac{1}{2}$ " con un espesor de  $\frac{1}{8}$ ". Además, se le añade una extensión del manubrio hacia el usuario para garantizar una posición ergonómica. Una vez terminado se realizan pruebas de funcionamiento.



*Figura 59. Fabricación de manubrio y sistema direccional.*

Una vez realizada la prueba de funcionamiento inicial se evidenció que la zona en donde se encuentra ubicado el mecanismo de pedaleo en el chasis es propenso a sufrir deformaciones dados los esfuerzos horizontales que se presentan en el mecanismo de pedaleo, las cuales son más grandes de las esperadas, por lo cual se opta por añadir un soporte adicional que asegure el correcto funcionamiento del sistema de pedaleo.



*Figura 60. Refuerzo instalado en el chasis.*

## **7.6. Pruebas preliminares del proyecto**

Una vez se tiene el sistema direccional construido se procede a realizar una prueba de funcionamiento con el fin de verificar que la estructura del chasis soporte el peso del usuario, el sistema de pedaleo funcione correctamente y verificar que se cumpla los criterios de ergonomía con los cuales se diseñó el proyecto.



*Figura 61. Prueba de funcionamiento.*

## **7.7. Pintura y ensamble final del prototipo**

Una vez definida la geometría del prototipo se realiza el proceso de pintura. Que en este caso se realizó pintura endurecida con calor y el ensamble de los componentes mecánicos.



*Figura 62. Pintura y ensamble del prototipo*

Finalmente se realiza la instalación del sistema de asistencia eléctrica en la figura 66 y dando como resultado el prototipo listo para realizar pruebas de funcionamiento como se observa en la figura 67.



*Figura 63. Instalación de sistema de asistencia eléctrica.*



*Figura 64. Prototipo totalmente construido.*

## **7.8. Recursos económicos utilizados**

A continuación, se muestra todos los costos utilizados en la construcción del prototipo:

PRESUPUESTO - PROYECTO SCOOTER TIPO ELÍPTICA CON ASISTENCIA ELÉCTRICA	
COMPONENTES GENERALES - ASISTENCIA ELÉCTRICA	
PIEZA	PRECIO UNITARIO (COP)
Motor	\$ 1,998,000.00
Batería	
Controlador	
Sistema de asistencia eléctrica	
Display y acelerador	
Cargador	
Luz y bocina	

COMPONENTES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN MECÁNICA	
ELEMENTO	PRESUPUESTO
Scooter elíptica	\$ 1,200,000.00

LICENCIAS (Software)	
SolidWorks	\$ 410,928.00

INVESTIGACIÓN, DISEÑO E INGENIERÍA				
CONCEPTO	EQUIPO O SOFTWARE USADO	TIEMPO (Horas)	PRECIO/HORA	TOTAL
Investigación	PC	40	\$ 3,657.00	\$ 146,280.00
Modelado en CAD	SolidWorks	80	\$ 3,657.00	\$ 292,560.00
Simulaciones	SolidWorks	40	\$ 3,657.00	\$ 146,280.00
Planos	SolidWorks	8	\$ 3,657.00	\$ 29,256.00
Pruebas del producto	-	8	\$ 3,657.00	\$ 29,256.00
Documentación	PC	24	\$ 3,657.00	\$ 87,768.00
			TOTAL	\$ 731,400.00

TOTAL DEL PROYECTO	
COMPONENTES GENERALES - ASISTENCIA ELÉCTRICA	\$ 1,998,000.00
COMPONENTES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN MECÁNICA	\$ 1,200,000.00
INVESTIGACIÓN, DISEÑO E INGENIERÍA	\$ 731,400.00
LICENCIAS (Software)	\$ 410,928.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 4,340,328.00</b>

Tabla 23. Lista de precios para la elaboración del proyecto.

## CAPITULO 8. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

### 8.1. Selección de usuarios para realizar pruebas y preparativos

Para estas pruebas de funcionamiento se selecciona dos tipos de usuarios con diferentes características físicas, esto con el fin de observar el comportamiento del prototipo con diversos usuarios. A continuación, se muestra las características de estos:

USUARIO	Peso [Kg]	Altura [m]	Longitud Pierna [m]	Longitud brazo [m]	Condición física
Usuario 1	65	1.72	1.02	0.63	Media
Usuario 2	92	1.8	1.14	0.67	Baja

Tabla 24. Características físicas de los usuarios.



Figura 65. Usuario 1 (izquierda) y Usuario 2 (Derecha).

Antes de realizar las pruebas se debe tener en cuenta que el prototipo cuenta con dos tipos de asistencia eléctrica, las cuales son:

- **Asistencia eléctrica pasiva:** funciona a través del sensor PAS el cual a medida que detecta el pedaleo del usuario suministra potencia eléctrica de manera progresiva. Dicha asistencia va de la mano con la velocidad de pedaleo, es decir, a mayor frecuencia de pedaleo mayor asistencia. Por tal razón, esta asistencia es ideal para tramos rectos y pendiente negativas, ya que en las pendientes positivas la frecuencia de pedaleo disminuye y en consecuencia la asistencia eléctrica también disminuye.



Figura 66. Sensor de pedaleo PAS. [36]

- Asistencia eléctrica activa:** Funciona a través del acelerador tipo moto ubicado en el manubrio, con dicha asistencia el usuario selecciona el nivel de asistencia requerido, en este caso de 1 a 5 niveles donde cada nivel representa un 20% de la potencia nominal del motor y se regula a través del rango de giro del acelerador. Esta asistencia es ideal cuando se recorren pendientes positivas, ya que en este tipo de terrenos la frecuencia de pedaleo disminuye y el usuario requiere de más asistencia.



Figura 67. Acelerador tipo moto. [37]

Ya que el sistema de asistencia eléctrica funciona basado en niveles de potencia, se realizan pruebas en vacío con el fin de identificar las velocidades que se pueden alcanzar con cada nivel de asistencia. Dichas pruebas arrojan los siguientes resultados:

Nivel de asistencia	Velocidad máxima en vacío	Potencia eléctrica suministrada
1	6.8 Km/h	70W
2	14.5 Km/h	140W
3	19.8 Km/h	210W
4	24 Km/h	280W
5	30.5 Km/h	350W

Tabla 25. Niveles de asistencia eléctrica con su correspondiente velocidad máxima.

## 8.2. Identificación del circuito de pruebas

La prueba de funcionamiento consiste en realizar recorridos con asistencia activa y pasiva. Donde se evaluará el tiempo, la velocidad promedio, la potencia suministrada por el usuario y la potencia eléctrica suministrada por el motor.

Para ello se tiene la Ruta 1 mostrada en la siguiente figura que inicia desde la entrada del edificio L del campus Jardín, sigue la ruta del bus Unab y termina en la entrada del centro de servicios universitarios CSU.

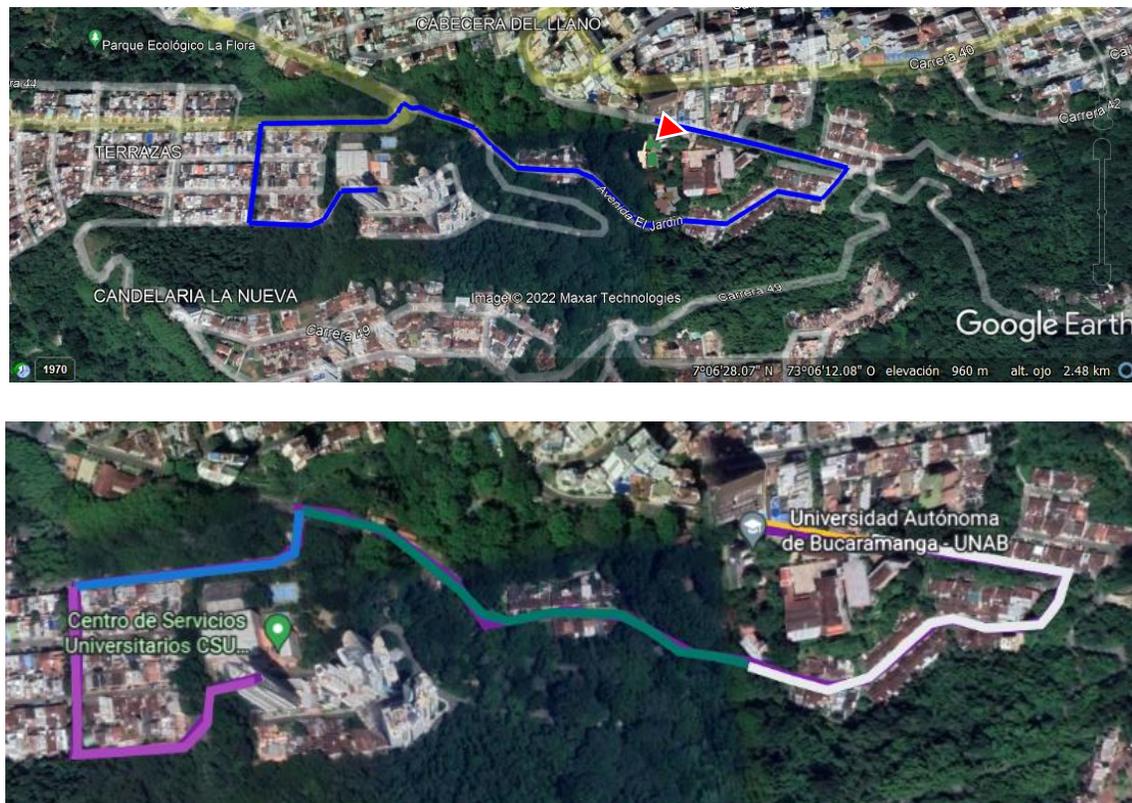


Figura 68. Trazada ruta 1.

RUTA 1 JARDÍN / CSU		
SECTOR	DISTANCIA [m]	INCLINACION PROMEDIO [%]
TRAMO 1 (Amarillo)	130	3.85
TRAMO 2 (Blanco)	500	-5.4
TRAMO 3 (Verde)	500	4.4
TRAMO 4 (Azul)	350	0.5
TRAMO 5 (Morado)	500	5.8

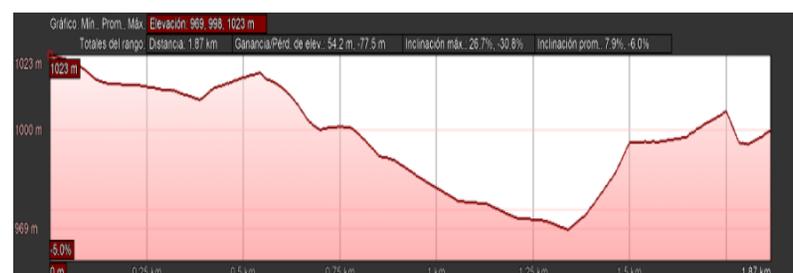


Tabla 26. Información de cada tramo - Ruta 1.

Figura 69. Mapa de altura - Ruta 1.

Por otro lado, la Ruta 2 mostrada en la siguiente figura inicia en la entrada del centro de servicios universitarios CSU, sigue la ruta del bus UNAB y termina en la entrada del edificio L del campus Jardín.

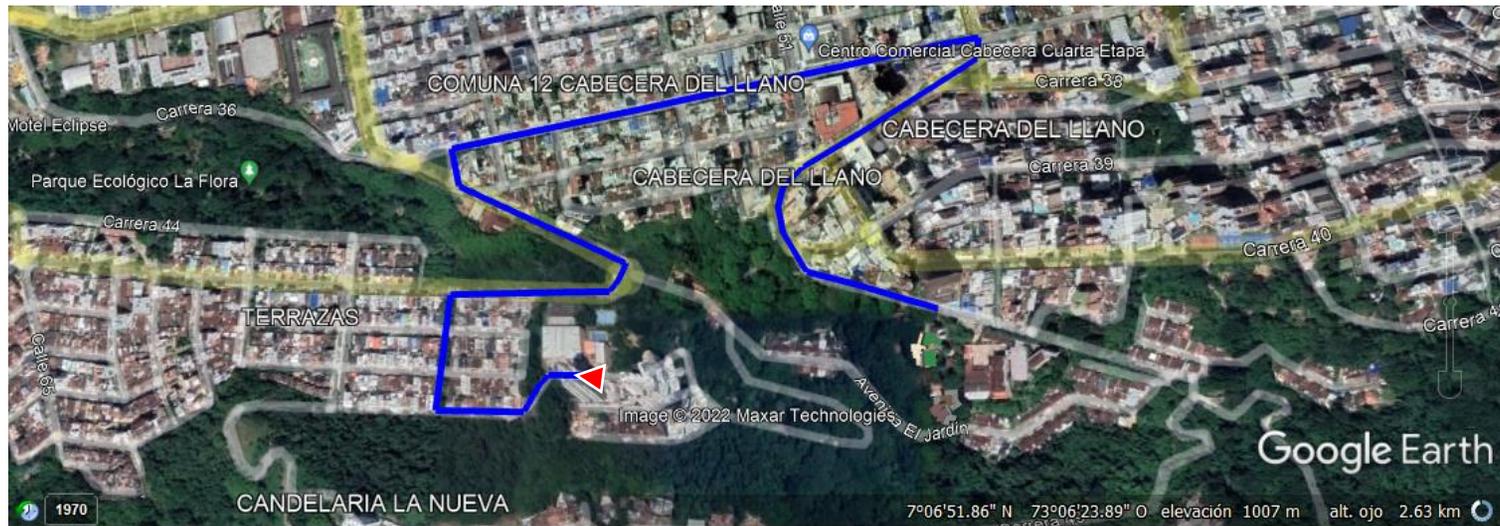


Figura 70. Trazada ruta 2.

RUTA 2 CSU / JARDIN		
SECTOR	DISTANCIA [m]	INCLINACION PROMEDIO [%]
TRAMO 1 (Amarillo)	500	5.8
TRAMO 2 (Azul)	650	1.5
TRAMO 3	700	3
TRAMO 4	650	3.3



Tabla 27. Información de cada tramo – Ruta 2

Figura 71. Mapa de altura - Ruta 2.

### 8.3. Entrenamiento de los usuarios en el manejo del prototipo

Debido a que el prototipo cuenta con un mecanismo de pedaleo poco común este tiene cierta dificultad en su uso, por lo tanto, se hace necesario realizar un entrenamiento a los usuarios como se observa en la figura 75. Esto con el fin de poder maniobrar el prototipo en las rutas trazadas sin inconvenientes.

Dicho entrenamiento consiste en tres partes:

- Aprender a utilizar el prototipo usando solamente la asistencia eléctrica activa (como un scooter eléctrico)
- Aprender a utilizar el prototipo usando solamente el esfuerzo mecánico producido por el usuario
- Aprender a utilizar el prototipo usando el esfuerzo mecánico del usuario junto con la asistencia pasiva.



*Figura 72. Entrenamiento de los usuarios en el uso del prototipo.*

El entrenamiento tomó alrededor de una hora en lograr que los dos usuarios hagan desplazamientos en el prototipo sin inconvenientes. Una vez los usuarios son capaces de usar el prototipo se procesa a realizar el recorrido en los circuitos planteados.

### 8.4. Elementos utilizados para la medición de parámetros

Para realizar la adquisición de datos se usó el odómetro incorporado en el circuito de asistencia eléctrica, un odómetro externo ubicado en la rueda delantera y a su vez a través de llamada telefónica el usuario que realiza la prueba indica la asistencia eléctrica utilizada y el momento en que pasa por los puntos de control de los circuitos.

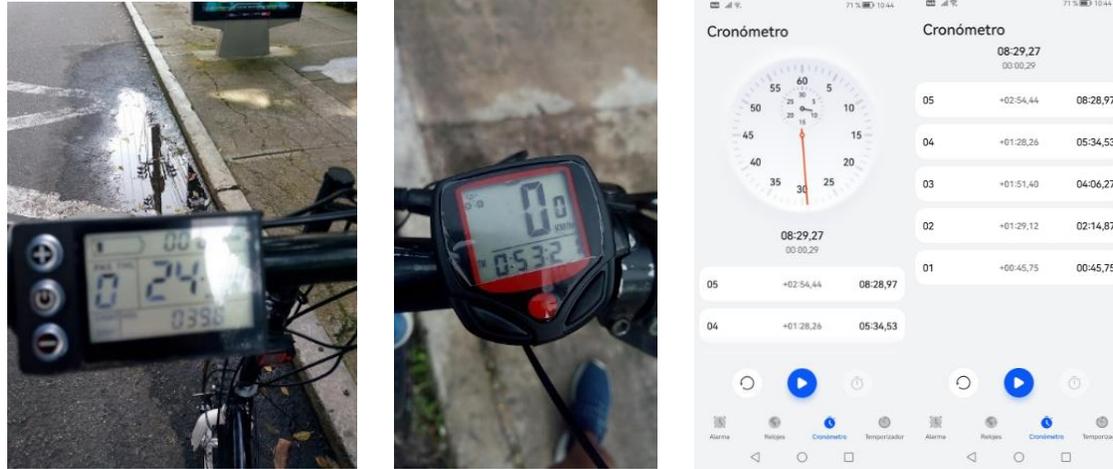


Figura 73. Equipos de medición utilizados en las pruebas.

## 8.5. Inicio de pruebas de funcionamiento

Una vez los usuarios están capacitados en el uso del prototipo y se cuenta con los diferentes elementos de medición de variables, se procede a realizar las pruebas de funcionamientos en los circuitos mencionados anteriormente.

### 8.5.1. Potencia real suministrada

Al realizar el entrenamiento de uso con los usuarios se evidencia una reducción significativa en la frecuencia de pedaleo la cual afecta en la potencia suministra por el usuario ya que al momento de diseñar el mecanismo de pedaleo se tenía como parámetro que los usuarios fuera capaz de tener una frecuencia de pedaleo alrededor de las 60RPM, sin embargo, en la práctica los usuarios son capaz de producir frecuencias de pedaleo de 13.5RPM, lo que significa una reducción considerable en la potencia suministrada por el usuario ya que:

*Ecuación 47*

$$W_s = \frac{2 * \pi * g * F * r_2 * L}{6000}$$

Donde:

$$W_s = \text{Potencia suministrada [W]}$$

$$F = \text{Fuerza sobre el pedal [Kg]}$$

$$r_2 = \text{Vel rotación pedal [RPM]}$$

$$L = \text{radio pedal [cm]}$$

Así que la potencia máxima suministrada por el usuario 1 es:

$$W_{s1} = \frac{2 * \pi * 9.81 * (1.5 * 65) * 15 * 9}{6000}$$

$$W_{s1} = 135W$$

Por otro lado, la potencia máxima suministrada por el usuario 2 es:

$$W_{s2} = \frac{2 * \pi * 9.81 * (1.5 * 92) * 12 * 9}{6000}$$

$$W_{s2} = 153W$$

Una vez obtenida la potencia real suministrada, se debe calcular que tanta potencia se transmite realmente por el mecanismo, la cual depende directamente del número de dientes del piñón. En este caso, al ver que la potencia suministrada por los usuarios es baja solo se usa el piñón de 14 dientes ya que con las demás configuraciones la potencia transmitida era mucho menor. Para obtener este dato se usa el siguiente cálculo:

*Ecuación 48*

$$P_{trans} = P * \frac{19}{Z_{piñón}}$$

$$P_{trans\_u1} = 135 * \frac{19}{14} = 183.21W$$

$$P_{trans\_u2} = 153 * \frac{19}{14} = 207.64W$$

### 8.5.2. Pruebas de funcionamiento en ruta 1 (Jardín/CSU)

La ruta comienza en la entrada del edificio L del campus Jardín y termina en la puerta del centro de servicios universitarios CSU. En las siguientes figuras se observa el inicio y final de recorrido realizado:



*Figura 74. Inicio del recorrido 1.*



Figura 75. Finalización de Ruta 1.

A manera de resumen se muestran los resultados promedio obtenidos por los usuarios en sus recorridos, dichos resultados se pueden ver a fondo en el anexo 1 “Pruebas de funcionamiento”.

RUTA 1 – USUARIO 1				
TIEMPO [min]	VELOCIDAD PROMEDIO [Km/h]	CONSUMO ENERGETICO [Kcal]	NIVEL DE ASISTENCIA ENERGETICA PROMEDIO UTILIZADA	NIVEL DE BATERIA UTILIZADO [%]
8:42	13.84	2	NIVEL 2	3.6

RUTA 1 – USUARIO 2				
TIEMPO [min]	VELOCIDAD PROMEDIO [Km/h]	CONSUMO ENERGETICO [Kcal]	NIVEL DE ASISTENCIA ENERGETICA PROMEDIO UTILIZADA	NIVEL DE BATERIA UTILIZADO [%]
11:00	10.12	2.3	NIVEL 3	5.6

Tabla 28. Resumen de resultados - Ruta 1.

### 8.5.3. Pruebas funcionamiento en ruta 2 (Csu/Jardín)

Una vez el usuario termina de realizar la ruta 1 se toman los datos arrojados por los elementos de medición y se procede a realizar la ruta 2 que inicia en la entrada del centro de servicios universitarios Unab y sigue la ruta del bus Unab hasta llegar al edificio L del campus Jardín.

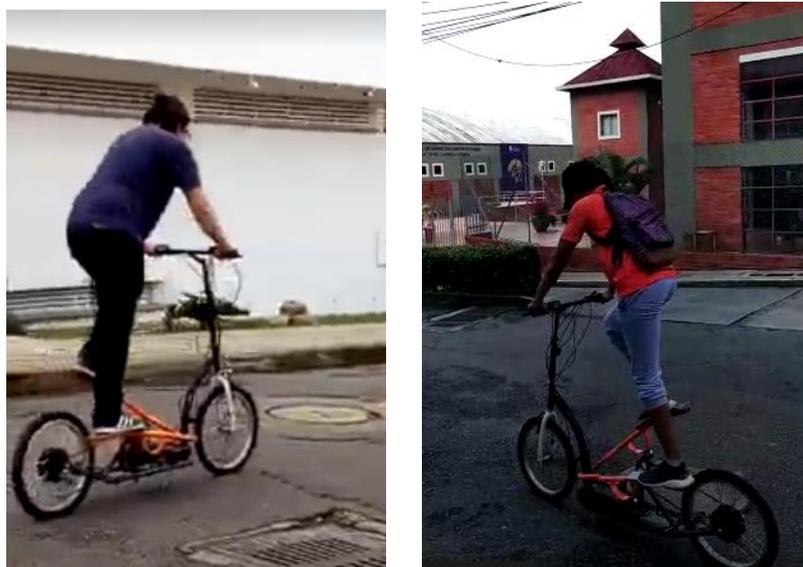


Figura 76. Inicio de la ruta 2

Dando como resultado los siguientes datos promedio:

RUTA 2 – USUARIO 1				
TIEMPO [min]	VELOCIDAD PROMEDIO [Km/h]	CONSUMO ENERGETICO (Usuario) [Kcal]	NIVEL DE ASISTENCIA ENERGETICA PROMEDIO UTILIZADA	NIVEL DE BATERIA UTILIZADO [%]
10:18	15.2	10.13	NIVEL 3	6.97

RUTA 2 – USUARIO 2				
TIEMPO [min]	VELOCIDAD PROMEDIO [Km/h]	CONSUMO ENERGETICO (Usuario) [Kcal]	NIVEL DE ASISTENCIA ENERGETICA PROMEDIO UTILIZADA	NIVEL DE BATERIA UTILIZADO [%]
13:48	13.6	3.9	NIVEL 3	9.8

Tabla 29. Resumen de resultados - Ruta 2

#### 8.5.4. Pruebas de rendimiento en sector crítico – Ruta 1

Mientras se realizan los recorridos de la ruta 1 se procede a realizar una prueba específica en un punto crítico de la ruta. Esta parte del recorrido es compleja ya que al llegar a esta se tiene que realizar un pare en la vía y tomar la pendiente de 150 de longitud con 10% de inclinación desde el reposo. Al ser una pendiente tan pronunciada se hace necesario evaluar si los usuarios son capaces de llegar a la cima con el prototipo.



Figura 77. Pruebas de funcionamiento en el sector crítico de los recorridos.

Como resultado, al utilizar solo el esfuerzo mecánico y la asistencia pasiva este no es suficiente ya que la baja frecuencia de pedaleo no aprovecha al 100% la potencia que puede suministrar los usuarios y no permite avanzar, por lo tanto, se hace necesario utilizar la asistencia activa al 100% para realizar este recorrido.

RESUMEN - Pruebas de recorrido en sector crítico – Ruta 1				
	Tiempo [s]	Velocidad promedio [Km/h]	NIVEL DE ASISTENCIA ENERGETICA PROMEDIO UTILIZADA	PORCENTAJE DE BATERIA UTILIZADO
<b>Usuario 1</b>	42	7.8	NIVEL 5	0.85
<b>Usuario 2</b>	76	5.2	NIVEL 5	1.53

Tabla 30. Resultados en sector crítico.

## 8.6. Pruebas adicionales de comparación

Con el fin de contar con diversos puntos de comparación, se realizan recorridos en una bicicleta convencional y caminatas entre los dos puntos de destino (Entrada CSU y Edificio L campus jardín) para evaluar su desempeño frente al prototipo de scooter elíptica.

### 8.6.1. Recorridos realizado en bicicleta convencional

Como se observa en la siguiente figura, tales recorridos se realizan con una bicicleta convencional de tres platos y nueve piñones, los cuales arrojan los siguientes resultados:



Figura 78. Recorrido realizado en bicicleta.

Estas pruebas fueron realizadas por el usuario 1 y el cual obtuvo los siguientes resultados:

Recorrido	Tiempo [min]	Calorías consumidas [Kcal]
<b>Ruta 1 (Jardín/Csu)</b>	8:43	18
<b>Ruta 2 (Csu/Jardín)</b>	11:2	36

Tabla 31. Resultados recorridos en bicicleta

### 8.6.2. Recorrido en caminata

Por otro lado, los dos usuarios realizan caminatas entre los dos puntos de destino, los cuales arrojan los siguientes resultados:

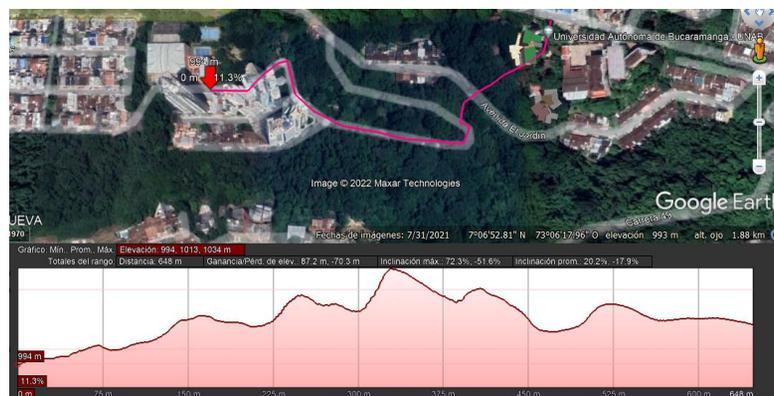


Figura 79. Ruta 3. Desplazamientos a pie.

Recorrido	Tiempo [min]	Calorías consumidas	Calorías consumidas
		Usuario 1 [Kcal]	Usuario 2 [Kcal]
<b>Ruta 1 (Jardín/Csu)</b>	9:20	27	33
<b>Ruta 2 (Csu/Jardín)</b>	10:18	31	39

Tabla 32. Resultados - Caminata.

## 8.7. Comparación de resultados obtenidos

Una vez realizada todas las pruebas de funcionamiento del prototipo y las pruebas con diferentes medios de transporte convencional, se procede a listar todos los resultados obtenidos con el fin de evaluar dichos resultados.

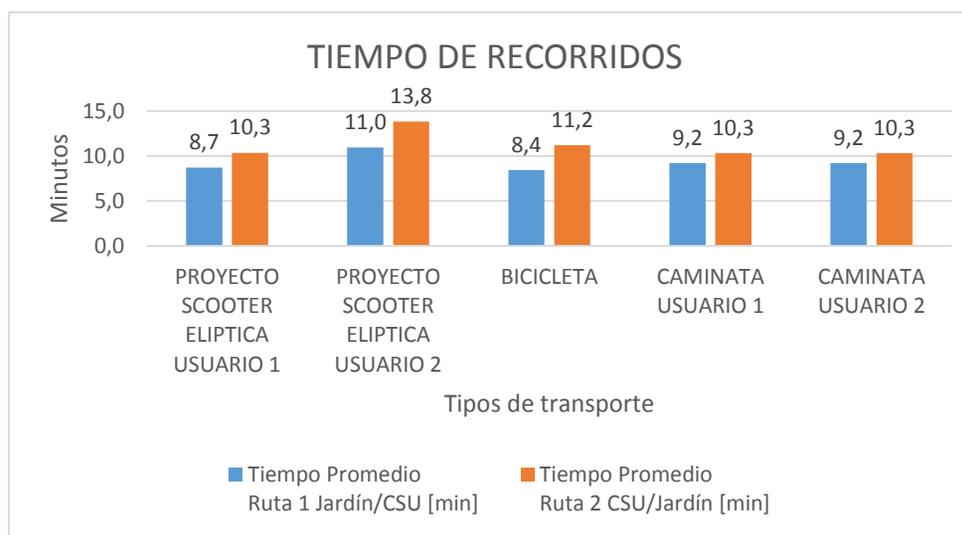


Figura 80. Recopilación de resultados – Tiempo [min]

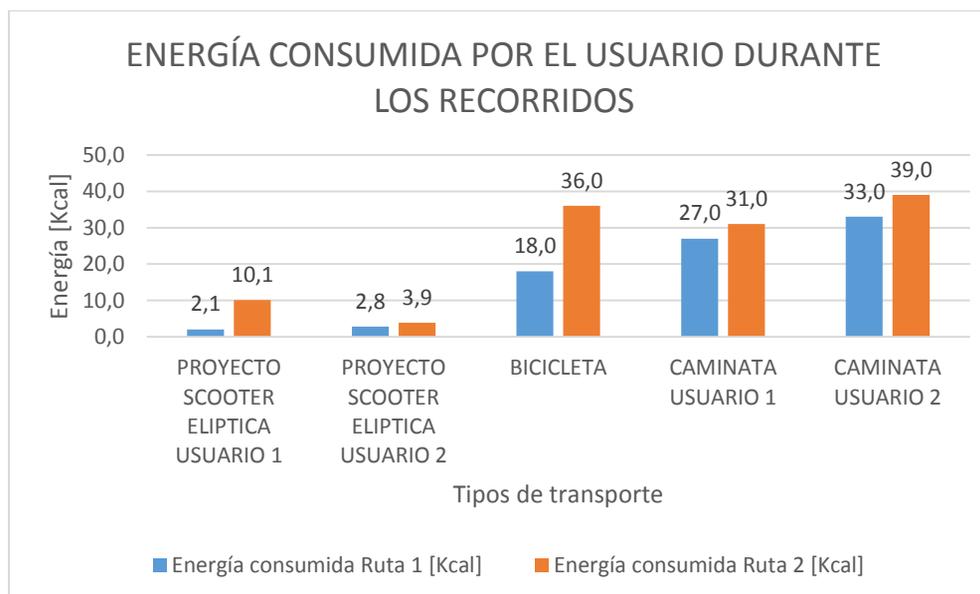


Figura 81. Recopilación de resultados - Energía [Kcal].

Se puede observar que no hay gran diferencia con respecto a tiempos de recorrido entre los medios de desplazamiento usados, sin embargo, la gran diferencia se evidencia en el consumo energético consumido por el usuario, el cual con el prototipo de scooter elíptica el usuario gasta menos energía, pero se debe a que requiere de mayor asistencia eléctrica ya que los recorridos hechos en su mayoría son pendientes. Por otro lado, el prototipo de scooter elíptica tiene la ventaja en recorridos más largos y que no presenten tantas pendientes, dado que aprovechara toda la energía que el usuario suministre además de la potencia eléctrica que solicite.

Por otra parte, este prototipo con dos tipos de energía (mecánica y eléctrica) es mucho más eficaz y amigable para el ambiente, si se compara con un vehículo netamente eléctrico, esto se debe al rendimiento de la batería es mucho más alta debido el usuario también hace parte del trabajo requerido para hacer el recorrido.

## CAPITULO 9. TRABAJO A FUTURO

Durante el desarrollo de las pruebas de funcionamiento se evidenció bajo rendimiento mecánico debido a la baja frecuencia de pedaleo producida por los usuarios, esto es provocado por las características de los circuitos escogidos, ya que están compuestos en su mayoría por pendientes, lo que llevó a los usuarios a utilizar únicamente la combinación mecánica de plato de 36 dientes y piñón de 14 dientes que para este caso es la que más aprovecha la potencia suministrada por el usuario. Sin embargo, en otro tipo de circuitos que no cuenten con tantas pendientes el prototipo puede desempeñarse mucho mejor debido a que su frecuencia de pedaleo aumentaría y por ende aumentaría la potencia suministrada por el usuario. Por lo tanto, es posible optimizar el mecanismo de pedaleo para cuando se desee transitar por rutas con gran cantidad de pendientes, ya sea cambiando el plato de 36 dientes utilizado por uno de mayor cantidad de dientes, o modificar el mecanismo elíptico para aumentar la frecuencia de pedaleo.

Como otra opción de mejora, también es posible reducir el peso del prototipo, en donde esta característica influye negativamente si se realizan trayectos largos, pero también influye positivamente cuando se toman pendientes negativas ya que reduciría el consumo enérgico debido a la inercia que este mismo produciría. Por lo tanto, para trabajos futuros se puede evaluar el tipo de trayectos a recorrer y con base en ello se analizaría si el peso es un factor que influye considerablemente o no. En caso de que sí sea necesario reducir el peso, estos cambios pueden realizarse directamente cambiando el material del cual está hecho el chasis, que para este caso se construyó con tubería AISI 1020 por su facilidad de adquisición en el mercado y facilidad para trabajar con este material, sin embargo, su densidad es alta si se compara con otros materiales de cual están hechos los vehículos de tracción humana como son el aluminio o la fibra de carbono.

Así mismo, también es posible realizar análisis de choque a los diseños realizados utilizando el software apropiado, esto con el fin de evidenciar el comportamiento del prototipo en escenarios de gran estrés mecánico y así evidenciar los límites que puede soportar el prototipo de scooter elíptica construido. Del mismo modo, realizar un análisis más profundo de fatiga a los elementos que soportan cargas alternantes y fluctuantes.

Para finalizar, se puede diseñar e instalar la asistencia pasiva del controlador a la inversa, es decir, a menor frecuencia de pedaleo mayor asistencia eléctrica suministra, ya que la asistencia pasiva usada durante el desarrollo de este proyecto que entregaba la potencia eléctrica en relación con la frecuencia de pedaleo, lo cual disminuye su eficiencia cuando se está desplazando por pendientes.

## CAPITULO 9. CONCLUSIONES

- Se logró diseñar un chasis de scooter mecánica con un sistema de transmisión de potencia por cadena teniendo en cuenta los criterios de ergonomía y las medidas antropométricas promedio de los Colombianos, para ello se usó el software SolidWorks es cual sirvió tanto para el diseño como para las simulaciones de tensión, desplazamiento y factor de seguridad necesarias para construir un chasis que se capaz de resistir a una persona de 100Kg sin inconvenientes al momento de transitar por las rutas seleccionadas de la ciudad de Bucaramanga.
- Se seleccionó un sistema de asistencia eléctrica para una scooter mecánica capaz de apoyar al usuario durante los recorridos realizados. La selección se realizó teniendo en cuenta las características de los circuitos a recorrer, la potencia necesaria para realizar estos desplazamientos junto con la potencia suministrada por los usuarios, además, esta asistencia eléctrica cuenta con dos tipos de asistencia pasiva que trabaja de 0 a 100% de potencia eléctrica dependiendo la frecuencia de pedaleo y por otro lado está la asistencia activa que se activa por medio de una placa ubicada en el manubrio del prototipo y que trabaja con 5 niveles de energía que aumentan 20% por cada nivel y que el usuario selecciona dependiendo sus requerimientos. Estos dos tipos de asistencias brindan al usuario la asistencia requerida en cualquier tipo de recorrido que realice.
- Se construyó el prototipo teniendo en cuenta los procesos de manufactura disponibles en la ciudad y sus costos de producción, los cuales también son un factor para tener en cuenta, ya que se desea que el prototipo sea viable económicamente para poder iniciar un modelo de negocio en el país.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento en los circuitos UNAB Jardín – Centro de servicios universitarios UNAB, donde se evidencia poco diferencia en tiempo de recorrido con los demás medios de transporte utilizado, sin embargo, en términos de coste energético para el usuario hay una gran diferencia a favor del prototipo construido. Esto se debe a que los recorridos realizados son en su mayoría pendientes, las cuales si son pendientes negativas el usuario no realiza esfuerzo y se desplaza solo con el impulso dado por la gravedad, a diferencia de las pendientes positivas en donde el usuario hace uso de la asistencia eléctrica activa.
- El prototipo construido realiza desplazamientos de 2Km con pendientes promedio de 5% donde usuarios de 65Kg y 92Kg son capaces alcanzar velocidades crucero de 14.5Km/h y 12Km/h respectivamente, solicitando aproximadamente el 60% de la asistencia eléctrica, es decir 210W, teniendo así un consumo de batería promedio de 6.6% por cada recorrido realizado, lo que permite realizar 16 recorridos antes de necesitar recargar el sistema de asistencia eléctrica.
- Para los puntos críticos de los recorridos realizados como el que se presenta al finalizar la ruta 1, donde se tiene que tomar desde el reposo una pendiente de 150m con inclinación de 10%, ambos usuarios solicitan del 100% de la asistencia eléctrica donde el usuario 1 con un peso de 65Kg desarrolla velocidades promedio de 7.8Km/h y consume 0.85% de batería total, mientras que el usuario 2 con una peso 92Kg desarrolla velocidades promedio de 5.2Km/h y consume el 1.53% de batería. Lo que en teoría nos indica que los usuarios son capaces de desplazarse en circuitos con esta inclinación distancias de 17.6Km y 9.8Km respectivamente antes de necesitar recargar la batería de la asistencia eléctrica.

- Dado el coste de construcción del prototipo, este es una opción que puede competir en el mercado contra las bicicletas y scooter eléctricas, además de ser una opción versátil que utiliza la potencia del usuario y la potencia eléctrica, amigable con el ambiente y de fácil mantenimiento. Además, si se realiza una producción en masa su precio se vería reducido lo cual haría que este proyecto fuera una buena opción en el mercado.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Alcaldía de Bucaramanga, «El Parque Automotor De Bucaramanga Y El Área Metropolitana Ascende A Los 703.075 Vehículos,» 2019. [En línea]. Available: [Bucaramanga.gov.co](http://Bucaramanga.gov.co).
- [2] AMB, «Calidad del aire,» 2020. [En línea]. Available: [AMB.gov.co](http://AMB.gov.co).
- [3] El Tiempo, «Bicicletas eléctricas, ¿la verdadera clave para ciudades post covid?,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.eltiempo.com/bogota/bicicletas-electricas-razones-para-apoyarlas-en-las-ciudades-524778>.
- [4] PNUD, «Objetivos De Desarrollo Sostenible,» 2020. [En línea]. Available: [UNDP.org](http://UNDP.org).
- [5] J. Jiménez, N. Terrados, G. Villa y P. Manonelles, «Medicina y fisiología del ciclismo,» *Librería deportiva*, vol. Tomo 1, p. 41, 2009.
- [6] M. Gutierrez, «BIOMECANICA Y CICLISMO,» *Revista motricidad*, p. 86, 1994.
- [7] ElliptiGo, «HOW DOES STAND UP CYCLING COMPARE?,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.elliptigo.com/stand-up-cycling/>.
- [8] BBVA, «Patinetes eléctricos: ¿comprar o alquilar? Ventajas y desventajas para ahorrar,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.bbva.com/es/patinetes-electricos-comprar-o-alquilar-ventajas-y-desventajas-para-ahorrar/>.
- [9] ESPACIOS, «Movilidad en bicicleta eléctrica vs convencional, análisis comparativo en tiempos de recorrido. Caso de estudio: Bogotá,» *ESPACIOS*, 2017.
- [10] the health secure, 2022. [En línea]. Available: <https://www.thehealthsecure.xyz/ProductDetail.aspx?iid=794389347&pr=76.88>.
- [11] R. Travé Murcia, «Convertidor Estático para una Bicicleta Eléctrica con Frenado Regenerativo,» 2012. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/14156>.
- [12] P. P. Cabal, 2002. [En línea]. Available: <https://patents.google.com/patent/US6648353B1/en>.
- [13] gymstogo, 2022. [En línea]. Available: <https://www.gymstogo.com>.
- [14] A. Schaeffe, «Diseño de un cuadro de bicicleta optimizado para mensajeros urbanos,» 2011. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/browse?value=Schaefer%20Ferrer,%20Albert&type=author>.
- [15] J. Heyes, A. Montoya, A. Diez y J. Bohórquez, «Investigación, diseño y prototipo de una bicicleta eléctrica y tecnologías emergentes en baterías,» 2014. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/267324789\\_INVESTIGACION\\_DISENO\\_Y\\_PROTOTIPO\\_DE\\_UNA\\_BICICLETA\\_ELECTRICA\\_Y\\_TECNOLOGIAS\\_EMERGENTES\\_EN\\_BATERIAS](https://www.researchgate.net/publication/267324789_INVESTIGACION_DISENO_Y_PROTOTIPO_DE_UNA_BICICLETA_ELECTRICA_Y_TECNOLOGIAS_EMERGENTES_EN_BATERIAS).
- [16] A. Areces y A. Noriega, «Diseño y construcción de una bicicleta de transmisión eléctrica,» 2014. [En línea]. Available: <http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/28474>.
- [17] E. Herrera y J. Loor, «Diseño y construcción de un sistema híbrido generador y acumulador de energía para bicicleta de ciudad,» 2015. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10647>.

- [18] Y. A. SHAIKHANAG, M. SURANGIWALA, F. NAAZ SHAIKH y S. ASLAM KHAN, «DESIGN AND FABRICATION OF ELLIPTICAL BICYCLE FOR COST OPTIMIZATION,» 2016. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/55305328.pdf> .
- [19] Perthe electric bicycles, «Electric Elliptigo,» 2016. [En línea]. Available: <http://perthelectricbicycles.com/2016/06/electric-elliptigo/> .
- [20] J. Perales García, «Diseño de una bicicleta eléctrica urbana,» 2017. [En línea]. Available: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/26267>.
- [21] C. García, «CONSTRUCCIÓN DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA CON ASISTENCIA AL PEDALEO EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL SEDE SANTO DOMINGO,» 2017. [En línea]. Available: [http://192.188.51.77/bitstream/123456789/20083/1/9323\\_1.TEC.%20CRISTIAN%20GARCIA.pdf](http://192.188.51.77/bitstream/123456789/20083/1/9323_1.TEC.%20CRISTIAN%20GARCIA.pdf).
- [22] J. Morales Morcillo, «Conversión de bicicletas a eléctricas y abastecimiento autónomo,» 2018. [En línea]. Available: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/7059>.
- [23] «BIOMECAÁNICA DE LA MARCHA HUMANA,» [En línea]. Available: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lep/hernandez\\_s\\_f/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/hernandez_s_f/capitulo3.pdf).
- [24] L. González, «LA BICICLETA EN EL LABORATORIO DE FÍSICA: UNA FORMA AMENA Y DIVERTIDA DE APRENDER,» 2015. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/2767224-La-bicicleta-en-el-laboratorio-de-fisica-una-forma-amena-y-divertida-de-aprender.html>.
- [25] R. Aparicio De Las Llanderas, «Diseño de un patinete de bajo coste: medio de transporte rápido y ecológico para desplazamientos dentro del Campus de la Universidad de Almería,» 2012. [En línea]. Available: <http://repositorio.ual.es/handle/10835/1285>.
- [26] Foursight, 2022. [En línea]. Available: <https://foursightonline.com>.
- [27] R. Avila, L. Prado y E. González, «Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana: México, Cuba, Colombia, Chile,» Enero 2007. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/31722433\\_Dimensiones\\_antropometricas\\_de\\_la\\_poblacion\\_latinoamericana\\_Mexico\\_Cuba\\_Colombia\\_Chile\\_R\\_Avila\\_Chaurand\\_LR\\_Prado\\_Leon\\_EL\\_Gonzalez\\_Munoz](https://www.researchgate.net/publication/31722433_Dimensiones_antropometricas_de_la_poblacion_latinoamericana_Mexico_Cuba_Colombia_Chile_R_Avila_Chaurand_LR_Prado_Leon_EL_Gonzalez_Munoz).
- [28] J. Salas, «Trayectorias para subir y bajar escaleras en un exoesqueleto,» 2018. [En línea]. Available: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/15216?show=full>.
- [29] Terra.org, «Ergonomía en la bicicleta, la importancia de los componentes,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.terra.org/categorias/articulos/ergonomia-en-la-bicicleta-la-importancia-de-los-componentes>.
- [30] Brizon, 2022. [En línea]. Available: <http://www.brizon.com.tw>.
- [31] La bicikleta, 2022. [En línea]. Available: <https://www.labicikleta.com> .
- [32] M. B. OYAGA, «CALCULO DE VIDA A FATIGA DE UN CHASIS MONOCASCO DE MATERIALES COMPUESTOS,» *UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA*, 2014.
- [33] A. G. Pérez, «Análisis a fatiga del chasis de la motocicleta MotoStudent debido a las fuerzas del motor,» *Univerisdad Carlos III de Madrid*, 2011.
- [34] J. C. O. CORTÉS, «EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA DE MARCOS DE BICICLETAS HECHOS EN BAMBÚ,» *UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE*, 2019.
- [35] J. F. J. VIDALES, «DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN MODELO DE ELEMENTOS FINITOS PARA REPRESENTAR UN ENSAYO DE PRESIÓN NEGATIVA PARA LA DETECCIÓN DE DELAMINACIONES EN MATERIALES COMPUESTOS,» *UNIVERSIDAD DE LOS ANDES*, 2017.

- [36] Mercado libre, 2022. [En línea]. Available: [www.Mercadolibre.com](http://www.Mercadolibre.com).
- [37] Bicimex, 2022. [En línea]. Available: [www.bicimex.com](http://www.bicimex.com).
- [38] J. Úcar Hernández, «Diseño de una bicicleta tipo MTB plegable,» 2016. [En línea]. Available: <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/22212>.
- [39] J. Toral Valdivieso, «Desarrollo del freno regenerativo en un motor sin escobillas para una bicicleta,» 2019. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16918?locale=en>.
- [40] I. Sánchez Córdoba, «MOPLFLOOR ROBOT Estudio, Diseño y Construcción de un Robot Limpiador,» 2016. [En línea]. Available: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/107502/ismael.sanchez.cordoba\\_110387.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/107502/ismael.sanchez.cordoba_110387.pdf).
- [41] P. Navarro, J. Rui-Wamba, A. Fernández, O. Altisench, C. García, J. Julià y M. Rui-Wamba, LA INGENIERÍA DE LA BICICLETA, Fundación Esteyco, 2010.
- [42] C. Morante Pita, «Estudio, diseño y montaje de un patinete eléctrico fabricado con materiales reciclados y análisis de viabilidad económica de su comercialización como kit lúdico-educativo de automontaje,» 2019. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/178741>.
- [43] C. Melgarejo, «De la violencia policial al malestar ciudadano / Opinión,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.eltiempo.com/bogota/bogota-de-la-violencia-policial-al-malestar-ciudadano-opinion-omar-orostegui-537209>.
- [44] J. Joya, «MONOGRAFÍA BICICLETAS PLEGABLES ELÉCTRICAS,» 2017. [En línea]. Available: <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/521/00004253.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [45] P. Jarande, S. Murakar, N. Vast, N. Ubale y S. Saraf, «Robotic Vacuum Cleaner Using Arduino with wifi,» 2018. [En línea]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.aure.unab.edu.co/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8473256&tag=1>.
- [46] J. Y. Hahm, K. Eduard, H. W. H. Jeong y J. M. Joo. Patente US7861366B2, 2007.
- [47] J. E. M. Gutiérrez Arias, R. M. Rugerio Escalona y M. M. Morín Castillo, «Modelado y Planificación de las Trayectorias de un Robot Limpiador,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.mecamex.net/revistas/LMEM/revistas/LMM-V02N01-03.pdf>.
- [48] D. Gonzáles, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MARCO PROTOTIPO DE UNA BICICLETA,» 2018. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8088/2/ARTÍCULO.pdf>.
- [49] D. Cabrera Cabrera y M. Domínguez Ochoa, «Diseño y construcción de un vehículo personal híbrido propuesto como una alternativa para movilidad,» 2019. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16872>.
- [50] J. Burrell Castarlenas, «E-Bike Fenix,» 2014. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/21427>.
- [51] P. Bernal Méndez y J. Torres Albarracín, «Diseño e implementación de un sistema de asistencia eléctrico en una bicicleta mediante la reutilización de baterías de Ni-MH,» 2019. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17183>.
- [52] Nestlé nutrition institute, «A guide to completing the mini nutritional assesstment,» [En línea]. Available: [https://www.mna-elderly.com/forms/mna\\_guide\\_english.pdf](https://www.mna-elderly.com/forms/mna_guide_english.pdf).
- [53] A. G. G. VERGARA, «ANÁLISIS DE FATIGA EN EJES DE ACERO 1020 CD CON DIFERENTES CONCENTRADORES DE ESFUERZO SOMETIDOS A MOMENTO,» *UNIVERSIDAD DE LOS ANDES*, 2005.

## ANEXO 1. SIMULACIONES ADICIONALES

En el presente anexo se muestran todas aquellas simulaciones adicionales que brindan más información sobre el comportamiento de los componentes ante diversos esfuerzos.

### 1.1. Análisis de esfuerzo delantero - Chasis

Para este análisis, además del peso de la carga de 1000N ubicada en el centro del chasis se ejerce una fuerza de 450N en la zona delantera.

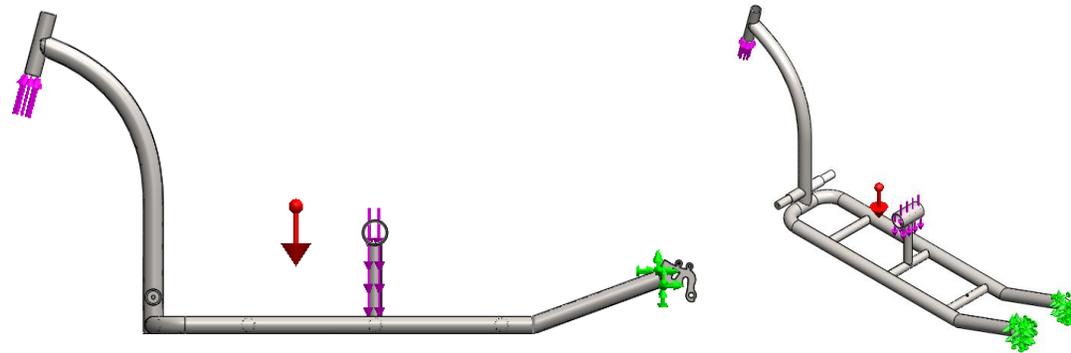


Figura 82 Preparación análisis de esfuerzo delantero

#### 1.1.1. Análisis de tensión en chasis – esfuerzo delantero

Se evidencia que con dicha fuerza el chasis empieza a acercarse a su límite de tensión máximo justo en el punto crítico antes mencionado, el cual se encuentra en la zona de unión del tubo vertical con la base del chasis.

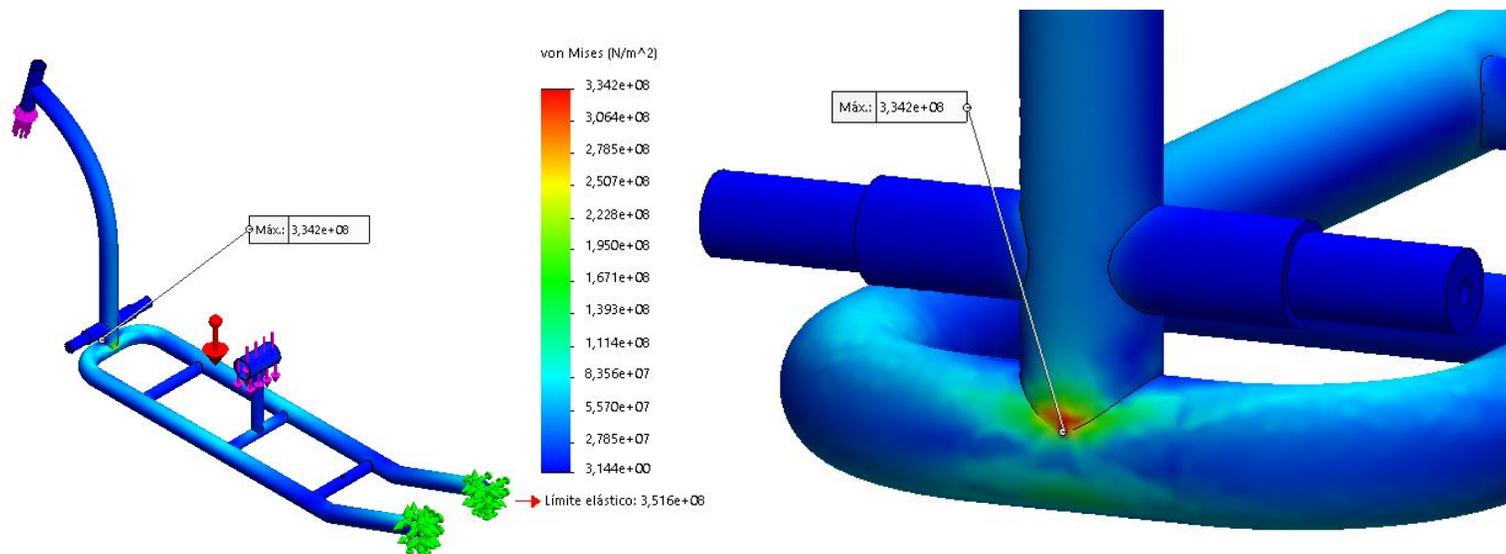


Figura 83 Resultados análisis de esfuerzo delantero - Tensión

### 1.1.2. Análisis de desplazamiento en chasis – esfuerzo delantero

Luego, al analizar el desplazamiento con dicho esfuerzo delantero, se aprecia un desplazamiento máximo de 7.1mm en la parte delantera, sin embargo, al no llegar al límite elástico en la simulación anterior, el chasis volverá a su normalidad una vez la fuerza delantera desaparezca.

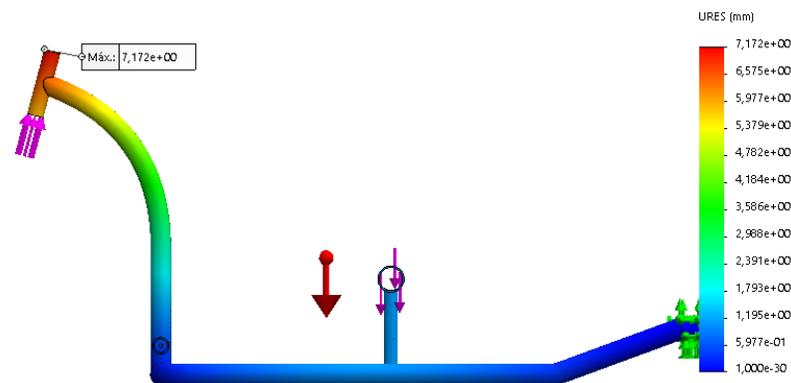


Figura 84 Resultado análisis de esfuerzo delantero – Desplazamientos.

### 1.1.3. Análisis de factor de seguridad en chasis – esfuerzo delantero

Con respecto al factor de seguridad, dicha fuerza aplicada en la parte delantera se presenta un factor de seguridad cercano a 1, el cual indica que el chasis está justo en el límite de  $t$  permitido.

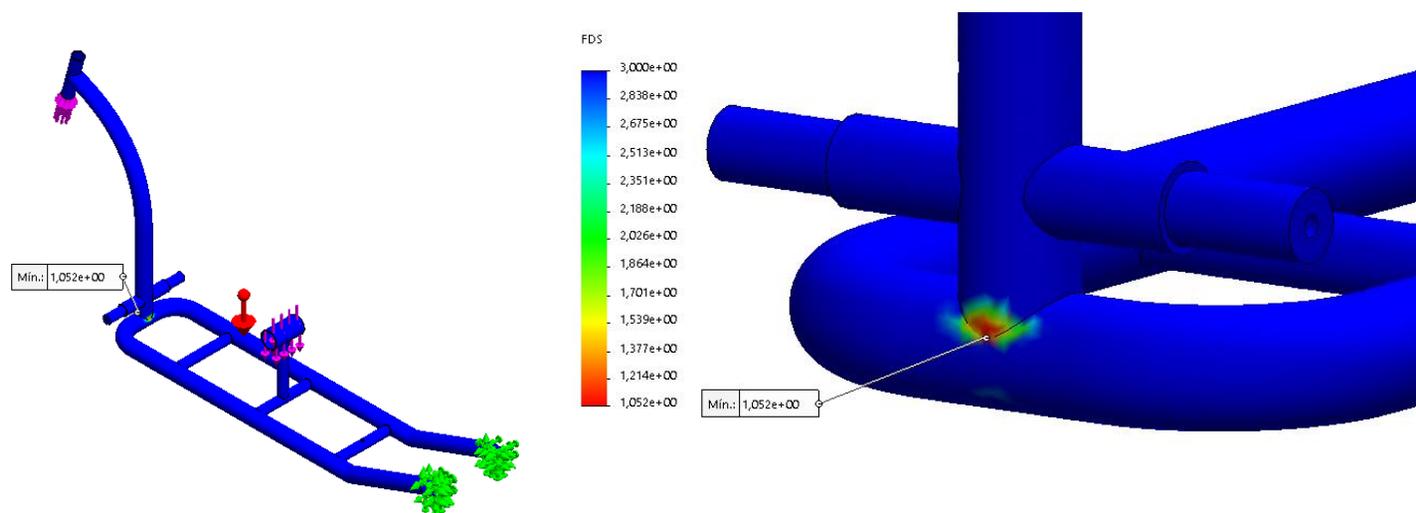


Figura 85. Factor de seguridad en análisis de esfuerzo delantero.

## 1.2. Análisis de esfuerzo trasero - Chasis

Para este análisis, además de la carga de 1000N aplicada en el centro de la pieza se ejerce una fuerza de 500N en la zona trasera.

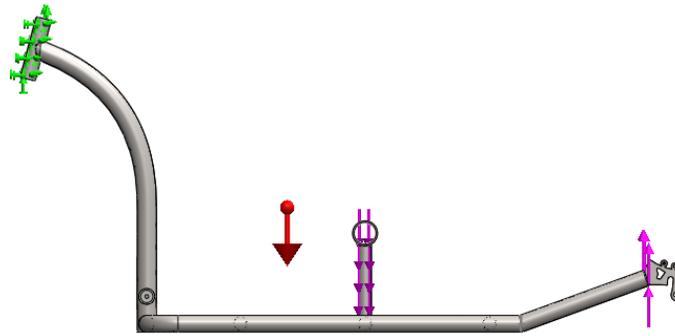


Figura 86. Preparación análisis de esfuerzo trasero.

### 1.2.1. Análisis de tensión en chasis – esfuerzo trasero

Con dicha fuerza el chasis está alejado de su límite elástico justo en la zona donde la base empieza a realizar el levantamiento de la rueda trasera.

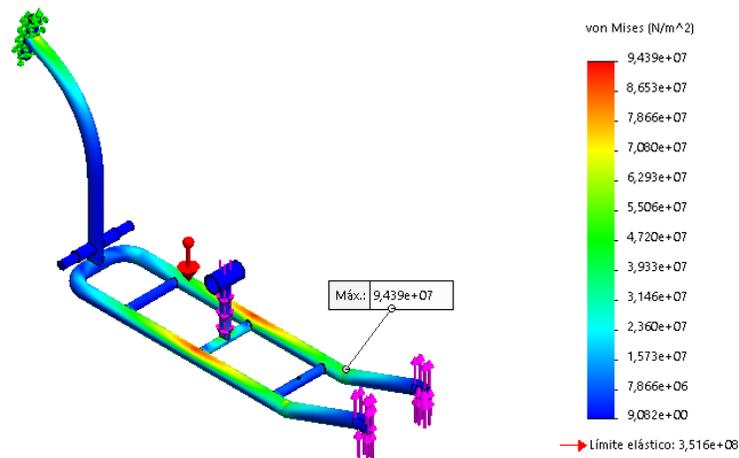


Figura 87. Resultado análisis de esfuerzo trasero - Tensión.

### 1.2.2. Análisis de desplazamiento en chasis – esfuerzo trasero

Con respecto a los desplazamientos, el desplazamiento máximo es de 3.7mm justo en la zona donde se suje la rueda trasera

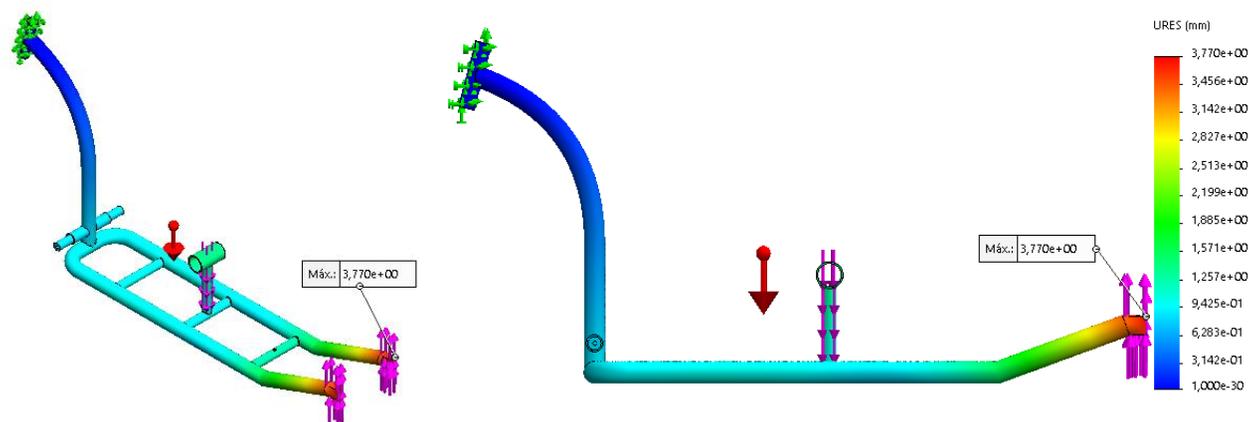


Figura 88. Desplazamiento en análisis de esfuerzo trasero.

### 1.2.3. Análisis de factor de seguridad en chasis – esfuerzo trasero

Para este análisis el factor de seguridad en este estudio da resultados superiores a 3 por lo tanto no hay riesgo de fallos

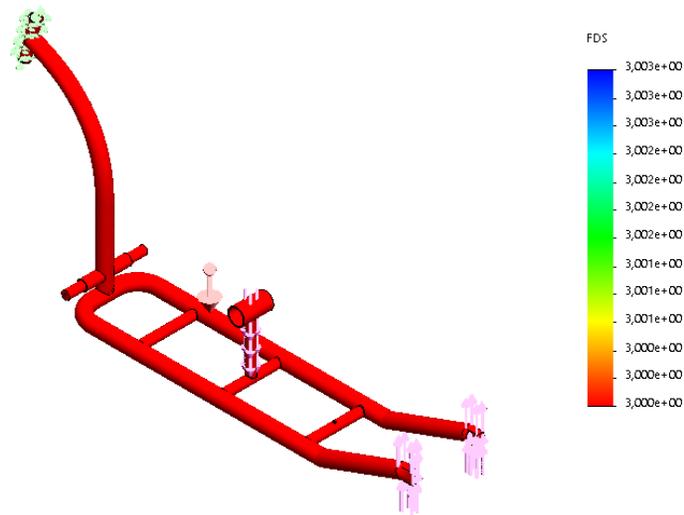


Figura 89. Factor de seguridad en análisis de esfuerzo trasero.

### 1.3. Análisis de pedal

Para este análisis se aplican una carga de 500N en la parte superior del pedal y se aplican sujeciones en la parte inferior y la zona donde se acopla al chasis. Del mismo modo, se configura una malla estándar para realizar las simulaciones necesarias en la pieza.



Figura 90. Modelo y mallado del pedal.

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	4 puntos
Tamaño de elemento	0.617419 cm
Tolerancia	0.030871 cm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	27353
Número total de elementos	13773
Cociente máximo de aspecto	11.835
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	38.1
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0.0218
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Número de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:07
Nombre de computadora	

Figura 91. Parámetros de malla utilizada en pruebas al pedal.

### 1.3.1. Análisis de tensión en pedales

Como resultado se observa que la zona donde se une el “tacón” con la base del pedal es donde se presentan tensiones de  $1.7 \times 10^8$  [N/m<sup>2</sup>]. Sin embargo, este resultado se encuentra por debajo del límite elástico del elemento.

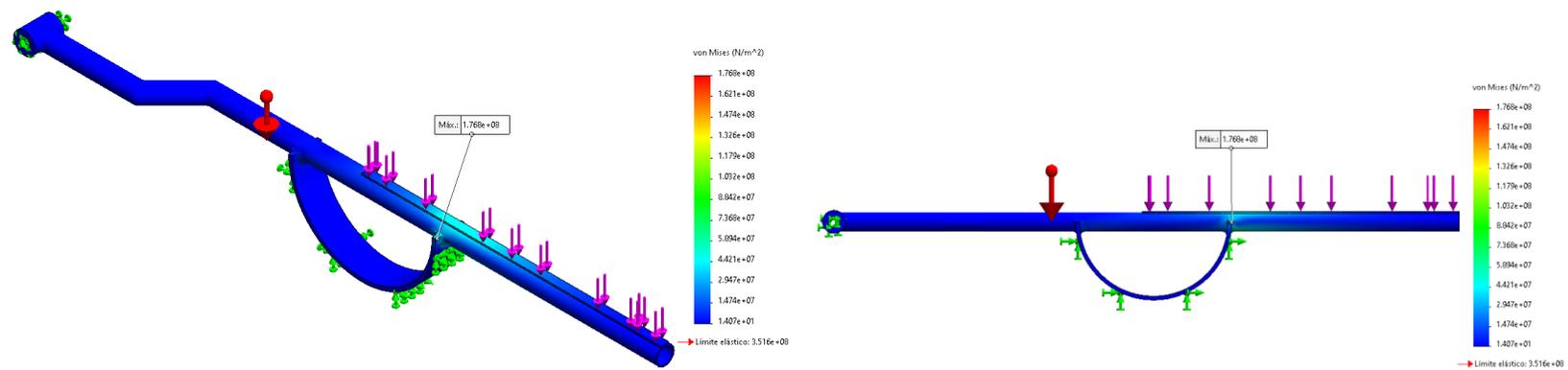


Figura 92. Tensiones presentadas en pedales.

### 1.3.2. Análisis de desplazamientos en pedales

Con respecto a los desplazamientos, como era de esperarse el mayor recorrido presentado se encuentra en el extremo donde está aplicando la carga de 500N, pero este valor es de 0.6mm lo cual es muy bajo para este tipo de piezas.

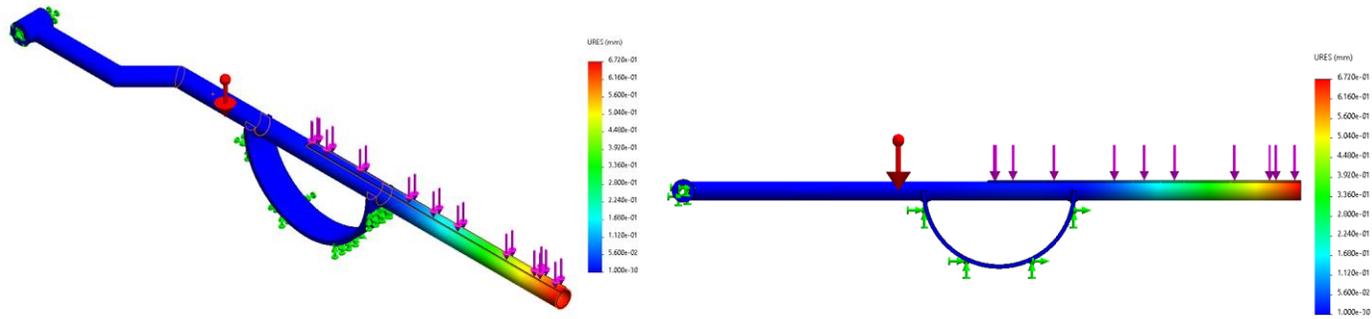


Figura 93. Desplazamientos presentados en pedales.

### 1.3.3. Análisis de Factor de seguridad en pedales

Al igual que el análisis de factor de seguridad realizado para el chasis, en este se toma 3 como valor máximo con el fin de evidenciar las zonas crítica que estuviesen propensas a fallar en la pieza. Por lo tanto, la unión del “tacón” con la base del pedal es donde se tiene un valor de 1.9 como factor de seguridad, lo cual es bastante aceptable en este caso.

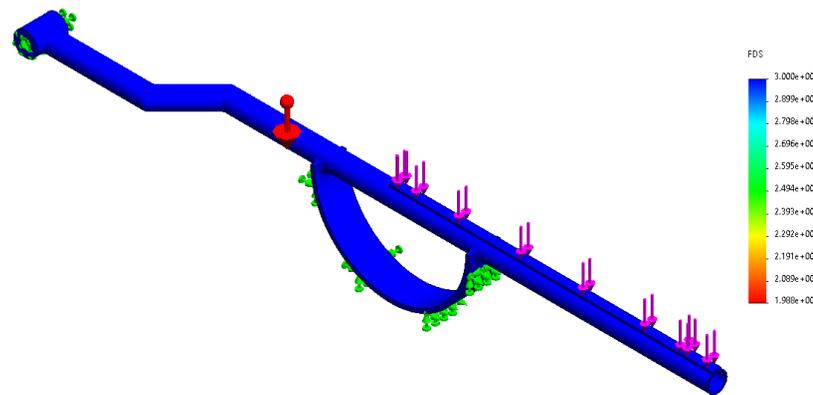


Figura 94. Factor de seguridad en pedales.

### 1.4. Análisis de ensamble

Además, se ensambla y se configura distintas posiciones de pedales con el fin de evaluar el comportamiento del prototipo en las distintas fases de su funcionamiento.

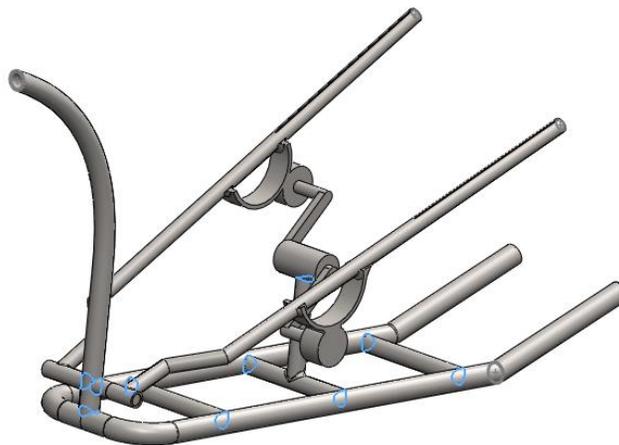


Figura 95 Preparación de chasis para las simulaciones en SolidWorks.

### 1.4.1. Análisis de tensión en ensamble

Una vez se realizan las adecuaciones al chasis, se sujetan los extremos de este con el fin de simular que están en contacto con el suelo y al mismo tiempo se le aplica fuerzas de 500N en cada pedal lo que equivaldría aproximadamente al peso de una usuario de 100Kg.

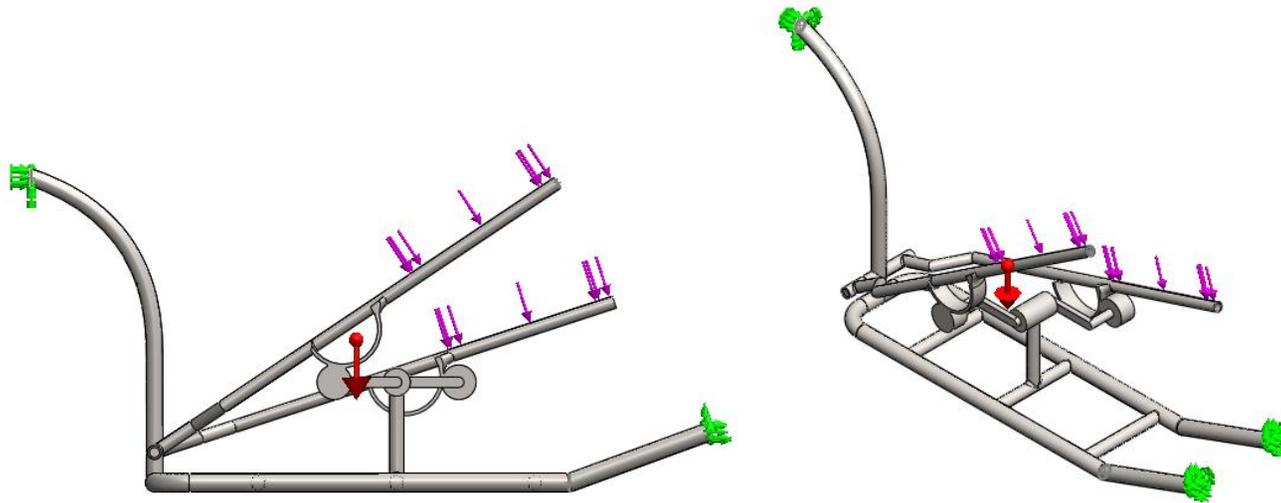


Figura 96. Sujeción y cargas en simulación – Pedales en horizontal.

Seguido se configura la malla con la que se va a trabajar:

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 [-prueba 1<Como mecanizada>-]
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño máx. de elemento	0.797259 cm
Tamaño mín. de elemento	0.26575 cm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	101275
Número total de elementos	52789
Cociente máximo de aspecto	305.09
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	47.1
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	2.78
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Número de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:20
Nombre de computadora	

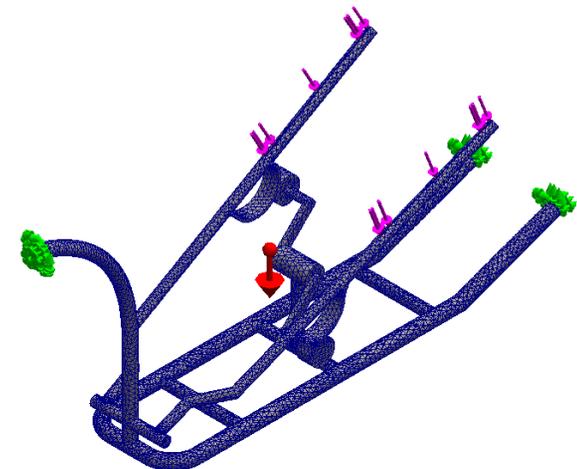


Figura 97. Parámetros de malla en análisis de ensamble.

Como resultado de aplicar esta fuerza se evidencia que la zona en donde la base del pedal está en contacto con el “tacón” es una de las zonas que presenta mayores tensiones.

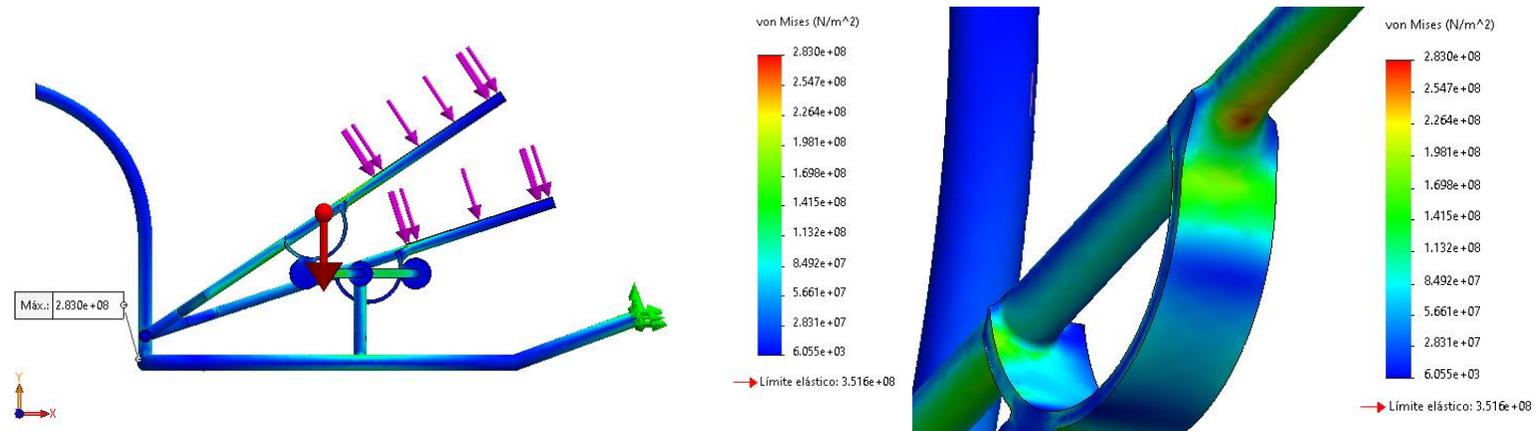


Figura 98. Tensiones presentadas en análisis con pedales en horizontal.

Sin embargo, la zona en donde se une el tubo vertical con la base del chasis es la que presenta la mayor tensión, la cual es  $2.8 \times 10^8 \text{ [N/m}^2\text{]}$

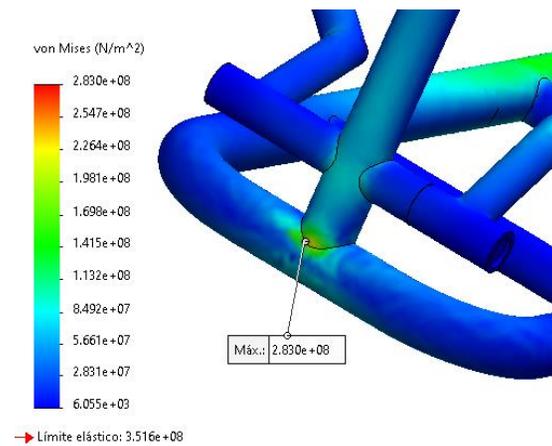


Figura 99 Zona con mayor tensión en análisis con pedales en horizontal.

#### 1.4.2. Análisis de desplazamientos en ensamble

A su vez, los desplazamientos producidos como era de esperarse son más notorios en el extremo de los pedales, en donde el máximo desplazamiento es de 1.5cm. Sin embargo, al no sobre pasar el límite elástico este volverá a su geometría original una vez se retire la carga aplicada.

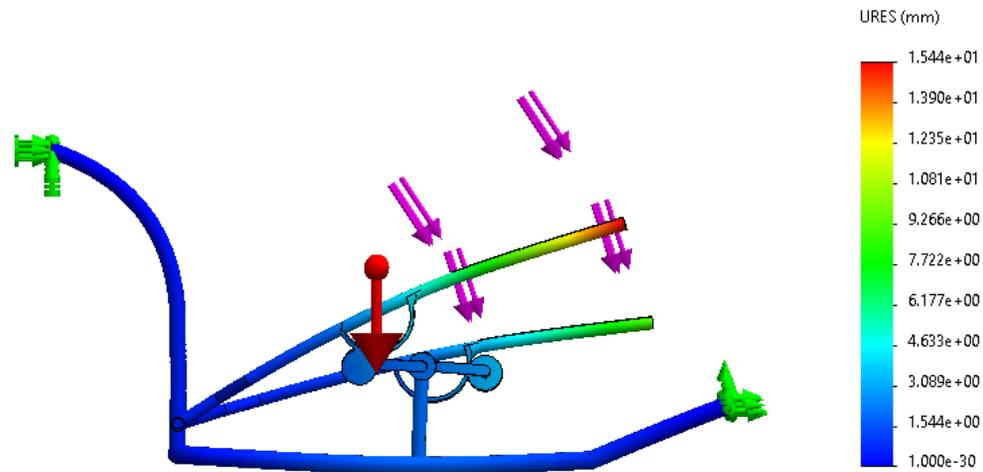


Figura 100. Desplazamientos presentados en análisis con pedales en horizontal.

### 1.4.3. Análisis de factor de seguridad en ensamble

Por otro lado, al comprobar el factor de seguridad del chasis esta evidencia que la zona de menor magnitud es la zona donde se encuentra en la unión del tubo vertical con la base del chasis, ya que es la que presenta la mayor cantidad de tensiones. Aun así, da como resultado que el factor de seguridad está por encima del valor mínimo aceptado.

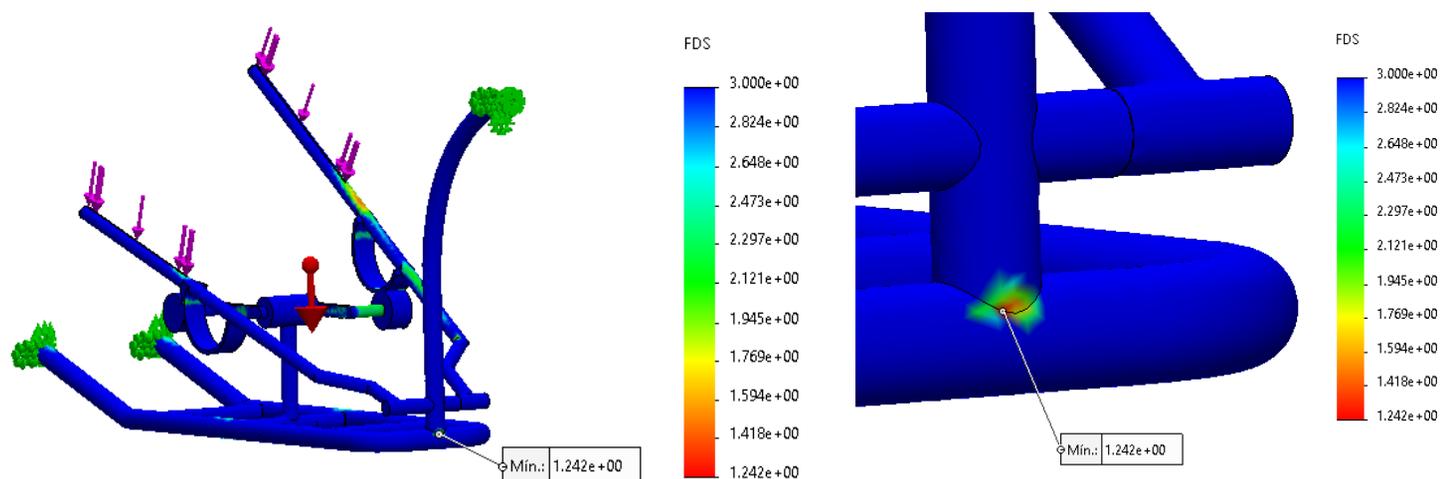


Figura 101. Factor de seguridad con pedales en horizontal.

### 1.5. Análisis de ensamble con diferente posición

Con las demás posiciones de pedales se observan resultados similares a los anteriores con excepción de la siguiente posición de pedales.

Tal y como se realizó el anterior estudio, en estas pruebas se aplican cargas de 500N en cada pedal y se aplican sujeciones en los extremos del chasis:

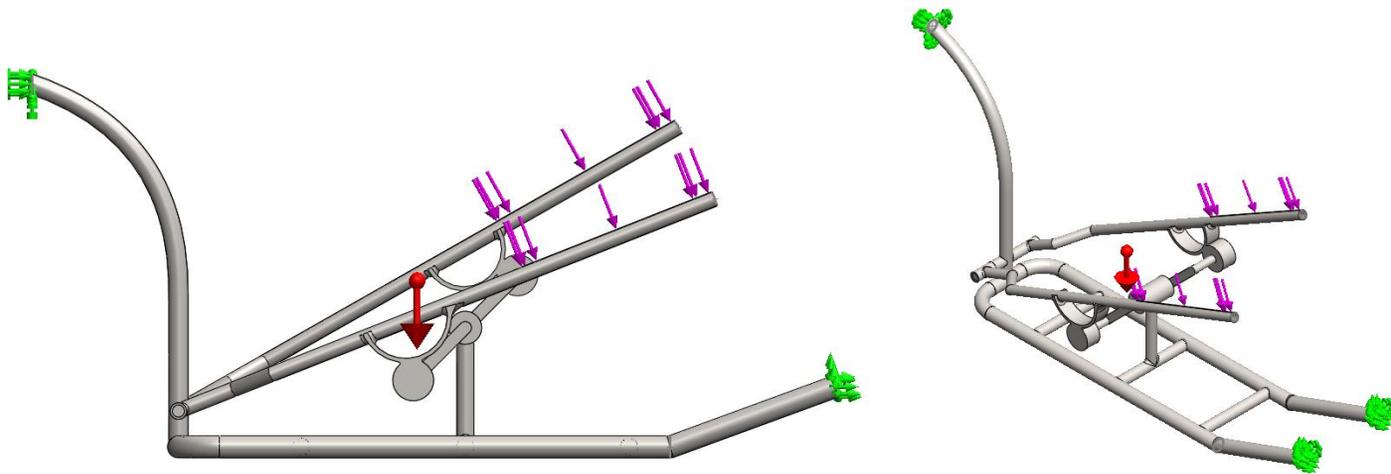


Figura 102. Simulación de ensamble con diferente posición de pedales.

Seguido se configura la malla a utilizar en los próximos análisis:

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 [-prueba 1<Como mecanizada>-]
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño máx. de elemento	0.797259 cm
Tamaño mín. de elemento	0.26575 cm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	101275
Número total de elementos	52789
Cociente máximo de aspecto	305.09
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	47.1
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	2.78
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Número de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:20
Nombre de computadora	

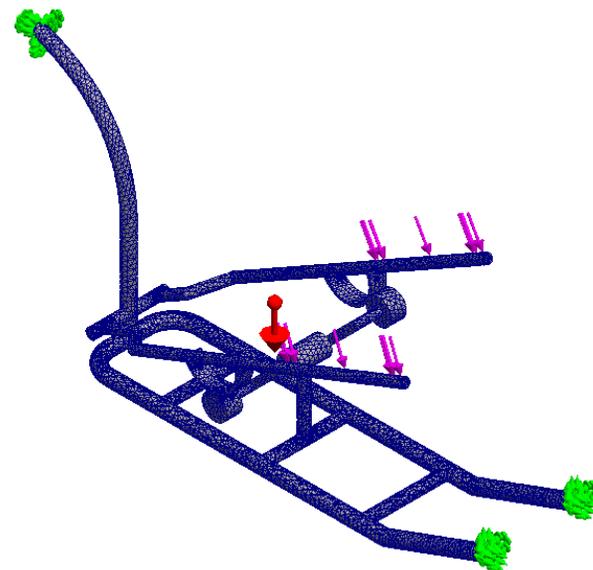


Figura 103. Parámetros de malla en análisis de ensamble 2.

### 1.5.1. Análisis de tensión en ensamble – Diferente posición

Lo que da como resultado que las tensiones presentadas son de  $3.04 \times 10^8 \text{ [N/m}^2\text{]}$  donde dicha magnitud se encuentra por debajo del límite elástico soportado

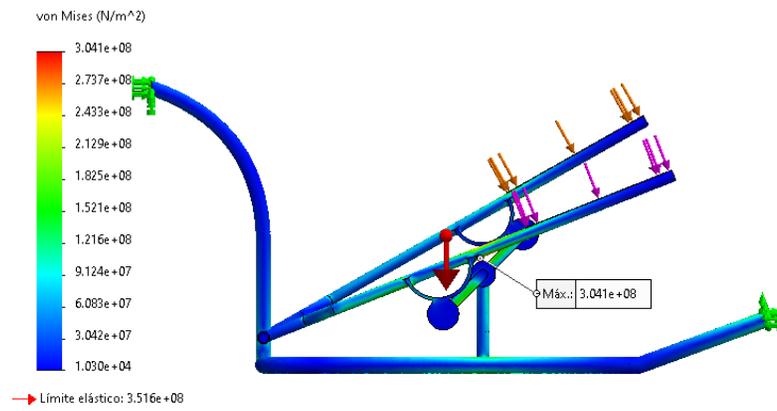


Figura 104. Análisis de tensiones con pedales en diagonal.

Se puede observar que en esta posición la mayor tensión se encuentra justo en la unión del “tacón” y la base del pedal.

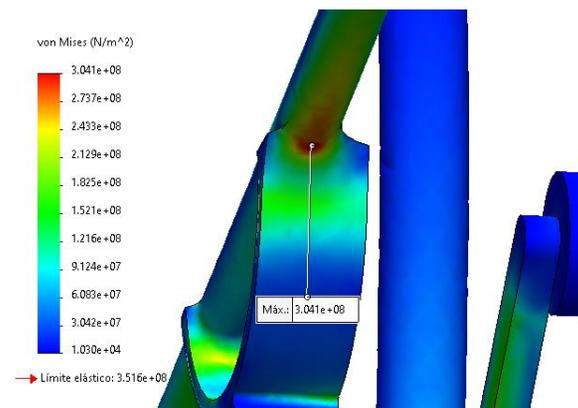


Figura 105. Punto de mayor tensión en análisis con pedales en diagonal.

### 1.5.2. Análisis de desplazamiento en ensamble – Diferente posición

De igual forma, al evaluar los desplazamientos presentados se evidencia que el extremo de la base de los pedales es la zona que tiene mayor deformación, sin embargo, al no sobre pasar su límite elástico esta regresará a su geometría inicial.

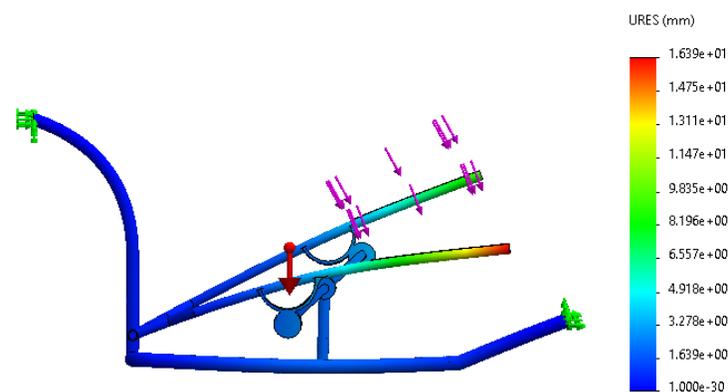


Figura 106. Desplazamientos en análisis con pedales en diagonal.

### 1.5.3. Análisis de factor de seguridad en ensamble – Diferente posición

Por otra parte, se estable un límite máximo de 3 para el factor seguridad, esto con el fin de evidenciar los puntos críticos del chasis. Dando como resultado que la unión del “tacón” y la base del pedal tiene un factor de seguridad de 1.1 lo que significa que está cercano al límite permitido para el factor de seguridad.

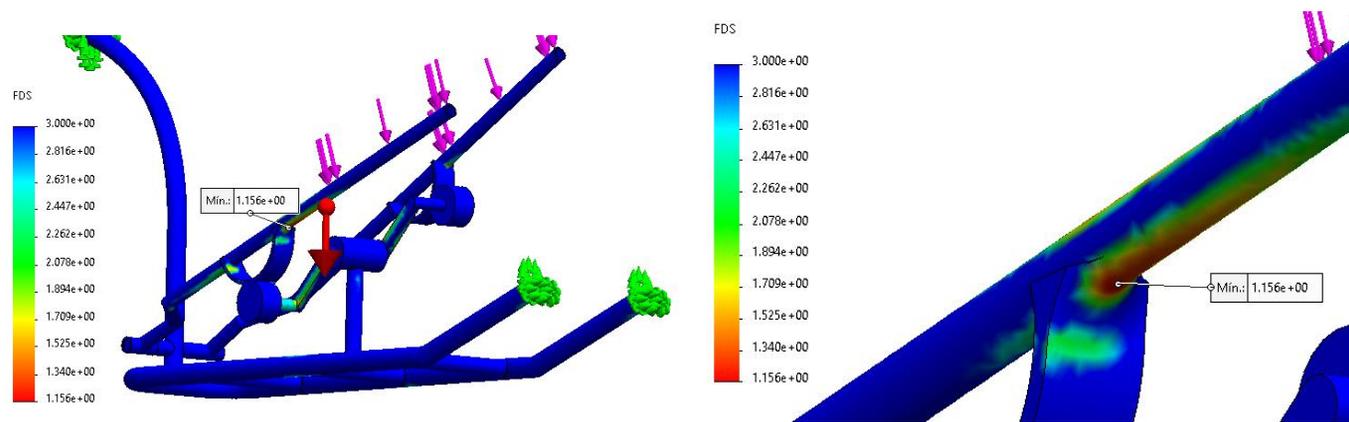


Figura 107. Factor de seguridad en análisis con pedales en diagonal.

## ANEXO 2. RESULTADOS DE PRUEBAS EN PISTA

### 2.1. Anexo resultados en pruebas de funcionamiento

Teniendo en cuenta las rutas mencionadas se muestra a continuación la tabla de resultados para cada una de las pruebas realizadas por los usuarios, los cuales tienen las siguientes características:

USUARIO	Peso [Kg]	Altura [m]	Longitud Pierna [m]	Longitud brazo [m]	Condición física
Usuario 1	65	1.72	1.02	0.63	Media
Usuario 2	92	1.8	1.14	0.67	Baja

Tabla 33. Características de los usuarios.

### 2.2. Resultados ruta 1 – usuario 1

Para estos recorridos se debe tener en cuenta que el tramo número 5 el usuario hace uso de la asistencia activa ya este tiene la pendiente de 10%, por tanto, su esfuerzo físico aplicado es mínimo. Por otro lado, en el tramo 2 consta de una pendiente negativa, por lo cual el usuario no hace uso de ningún esfuerzo para llegar a la próxima zona del circuito

RUTA 1 JARDIN/CSU (Usuario 1)	1				
PARAMETROS	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5
LONGITUD [m]	130	500	500	350	500
VARIACION DE ALTURA [m]	5	-27	-22	2	29
GRADO DE INCLINACION [°]	2.2	-3.1	-2.5	0.3	3.3
VELOCIDAD PROMEDIO [Km/h]	8.9	14.7	13.2	12.8	9.7
VELOCIDAD PROMEDIO [m/s]	2.4	4.0	3.6	3.5	2.6
TIEMPO [s]	52.6	122.4	136.4	98.4	185.6
NIVEL DE ASISTENCIA UTILIZADO	1.0	0.0	2.0	3.0	5.0
POTENCIA MIN REQUERIDA [W]	83.2	0.0	44.9	11.5	313.0
POTENCIA ELECTRICA [W]	70.0	0.0	22.4	5.7	350.0
POTENCIA MECANICA [W]	13.2	0.0	22.4	5.7	20.0
TRABAJO TOTAL REQUERIDO [J]	4373.4	0.0	6117.9	1130.5	58082.5
TRABAJO ELECTRICO REALIZADO [J]	3680.9	0.0	3059.0	565.2	64948.5
TRABAJO MECANICO REALIZADO [J]	692.5	0.0	3059.0	565.2	3711.3

RUTA 1 JARDIN/CSU (Usuario 1)	2				
PARAMETROS	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5
LONGITUD [m]	130	500	500	350	500

VARIACION DE ALTURA [m]	5	-27	22	2	29
GRADO DE INCLINACION [°]	2.2	-3.1	2.5	0.3	3.3
VELOCIDAD PROMEDIO [Km/s]	10.2	20.2	16.2	14.2	10.3
VELOCIDAD PROMEDIO [m/s]	2.8	5.5	4.4	3.8	2.8
TIEMPO [s]	45.9	89.1	111.1	88.7	174.8
NIVEL DE ASISTENCIA UTILIZADO	2	0	3	4	5
POTENCIA MIN REQUERIDA [W]	95.3	0.0	55.1	15.7	340.8
POTENCIA ELECTRICA [W]	140.0	0.0	27.5	7.8	350.0
POTENCIA MECANICA [W]	20.0	0.0	27.5	7.8	30.0
TRABAJO TOTAL REQUERIDO [J]	4373.4	0.0	6117.9	1391.3	59557.3
TRABAJO ELECTRICO REALIZADO [J]	6423.5	0.0	3059.0	695.7	61165.0
TRABAJO MECANICO REALIZADO [J]	917.6	0.0	3059.0	695.7	5242.7

RUTA 1 JARDIN/CSU (Usuario 1)	3				
PARAMETROS	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5
LONGITUD [m]	130	500	500	350	500
VARIACION DE ALTURA [m]	5	-27	22	2	29
GRADO DE INCLINACION [°]	2.2	-3.1	2.5	0.3	3.3
VELOCIDAD PROMEDIO [Km/s]	11.3	21.8	15.7	16.1	12.3
VELOCIDAD PROMEDIO [m/s]	3.1	5.9	4.2	4.3	3.3
TIEMPO [s]	41.4	82.6	114.6	78.3	146.3
NIVEL DE ASISTENCIA UTILIZADO	2	0	4	3	5
POTENCIA MIN REQUERIDA [W]	105.6	0.0	53.4	22.9	349.8
POTENCIA ELECTRICA [W]	140.0	0.0	26.7	11.4	350.0
POTENCIA MECANICA [W]	35.0	0.0	26.7	11.4	25.0
TRABAJO TOTAL REQUERIDO [J]	4373.4	0.0	6117.9	1788.5	51190.2
TRABAJO ELECTRICO REALIZADO [J]	5798.2	0.0	3059.0	894.3	51219.5
TRABAJO MECANICO REALIZADO [J]	1449.6	0.0	3059.0	894.3	3658.5

Tabla 34. Resultados Ruta 1 - Usuario 1.

Como resumen de resultado se tiene:

<b>VELOCIDAD PROM [Km/h]</b>	<b>13.8</b>
<b>POTENCIA PROM MOTOR [W]</b>	125.1
<b>TIEMPO PROM [min]</b>	8.7
<b>TRABAJO ELECTRICO PROMEDIO [J]</b>	68189.2
<b>TRABAJO MECANICO PROMEDIO [J]</b>	9001.4
<b>CONSUMO ENERGETICO [Kcal]</b>	2.1

Tabla 35. Resumen de resultados Ruta 1 - Usuario 1.

### 2.3. Resultados ruta 2 – usuario 1

Una vez terminada la ruta 1, el usuario comienza la ruta 2 dando como resultado los siguientes datos:

RUTA 2 CSU/JARDIN		1			
PARAMETROS	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	
LONGITUD [m]	500	650	700	650	
VARIACION DE ALTURA [m]	-29.0	7.0	21.0	22.0	
GRADO DE INCLINACION [°]	-3.3	0.6	1.7	1.9	
VELOCIDAD PROMEDIO [Km/h]	11.9	13.4	17.2	14.4	
VELOCIDAD PROMEDIO [m/s]	3.2	3.6	4.6	3.9	
TIEMPO	151.3	174.6	146.5	162.5	
NIVEL DE ASISTENCIA UTILIZADO	2.0	2.0	5.0	5.0	
POTENCIA MIN REQUERIDA [W]	82.9	34.2	125.7	118.7	
POTENCIA ELECTRICA [W]	41.5	17.1	350.0	350.0	
POTENCIA MECANICA [W]	41.5	17.1	100.0	100.0	
TRABAJO TOTAL REQUERIDO [J]	12540.4	5965.1	18412.8	19283.7	
TRABAJO ELECTRICO REALIZADO [J]	6270.2	2982.5	51279.1	56875.0	
TRABAJO MECANICO REALIZADO [J]	6270.2	2982.5	14651.2	16250.0	

RUTA 2 CSU/JARDIN		2			
PARAMETROS	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	
LONGITUD [m]	500	650	700	650	
VARIACION DE ALTURA [m]	29.0	7.0	21.0	22.0	
GRADO DE INCLINACION [°]	3.3	0.6	1.7	1.9	
VELOCIDAD PROMEDIO	9.6	15.5	22.0	15.7	
VELOCIDAD PROMEDIO [m/s]	2.6	4.2	5.9	4.2	
TIEMPO	187.5	151.0	114.5	149.0	
NIVEL DE ASISTENCIA UTILIZADO	2.0	4.0	5.0	5.0	
POTENCIA MIN REQUERIDA [W]	66.9	39.5	160.7	129.4	
POTENCIA ELECTRICA [W]	140.0	19.8	350.0	350.0	
POTENCIA MECANICA [W]	150.0	19.8	100.0	100.0	
TRABAJO TOTAL REQUERIDO [J]	12540.4	5965.1	18412.8	19283.7	
TRABAJO ELECTRICO REALIZADO [J]	26250.0	2982.5	40090.9	52165.6	
TRABAJO MECANICO REALIZADO [J]	28125.0	2982.5	11454.5	14904.5	

RUTA 2 CSU/JARDIN		3			
PARAMETROS	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	
LONGITUD [m]	500	650	700	650	
VARIACION DE ALTURA [m]	29.0	7.0	21.0	22.0	
GRADO DE INCLINACION [°]	3.3	0.6	1.7	1.9	
VELOCIDAD PROMEDIO	8.8	14.2	23.8	15.9	
VELOCIDAD PROMEDIO [m/s]	2.4	3.8	6.4	4.3	
TIEMPO	204.5	164.8	105.9	147.2	
NIVEL DE ASISTENCIA UTILIZADO	2.0	3.0	5.0	5.0	
POTENCIA MIN REQUERIDA [W]	61.3	36.2	173.9	131.0	
POTENCIA ELECTRICA [W]	30.7	18.1	350.0	350.0	

<b>POTENCIA MECANICA [W]</b>	30.7	18.1	100.0	100.0
<b>TRABAJO TOTAL REQUERIDO [J]</b>	12540.4	5965.1	18412.8	19283.7
<b>TRABAJO ELECTRICO REALIZADO [J]</b>	6270.2	2982.5	37058.8	51509.4
<b>TRABAJO MECANICO REALIZADO [J]</b>	6270.2	2982.5	10588.2	14717.0

Tabla 36. Resultado Ruta 2 - Usuario 1.

Como resumen de esta ruta 2 se tiene los siguientes datos:

<b>VELOCIDAD PROM [Km/h]</b>	<b>15.2</b>
<b>POTENCIA PROM MOTOR [W]</b>	197.3
<b>TIEMPO PROM [min]</b>	10.3
<b>TRABAJO ELECTRICO PROMEDIO</b>	112238.9
<b>TRABAJO MECANICO PROMEDIO</b>	44059.5
<b>CONSUMO ENERGETICO [Kcal]</b>	10.1

Tabla 37. Resumen de resultados - Ruta 2 Usuario 1.

#### 2.4. Resultados ruta 1 – usuario 2

Para estos recorridos se debe tener en cuenta que el tramo número 5 el usuario hace uso de la asistencia activa ya este tiene la pendiente de 10%, por tanto, su esfuerzo físico aplicado es mínimo. Por otro lado, en el tramo 2 consta de una pendiente negativa, por lo cual el usuario no hace uso de ningún esfuerzo para llegar a la próxima zona del circuito

<b>RUTA 1 JARDIN/CSU (Usuario 2)</b>	<b>1</b>				
<b>PARAMETROS</b>	<b>TRAMO 1</b>	<b>TRAMO 2</b>	<b>TRAMO 3</b>	<b>TRAMO 4</b>	<b>TRAMO 5</b>
<b>LONGITUD [m]</b>	130.0	500.0	500.0	350.0	500.0
<b>VARIACION DE ALTURA [m]</b>	5.0	-27.0	-22.0	2.0	29.0
<b>GRADO DE INCLINACION [°]</b>	2.2	-3.1	-2.5	0.3	3.3
<b>VELOCIDAD PROMEDIO [Km/s]</b>	7.1	10.7	11.2	10.3	7.8
<b>VELOCIDAD PROMEDIO [m/s]</b>	1.9	2.9	3.0	2.8	2.1
<b>TIEMPO [s]</b>	65.7	168.2	160.7	122.3	230.8
<b>NIVEL DE ASISTENCIA UTILIZADO</b>	2.0	0.0	3.0	3.0	5.0
<b>POTENCIA MIN REQUERIDA [W]</b>	86.1	0.0	49.2	7.7	350.0
<b>POTENCIA ELECTRICA [W]</b>	140.0	0.0	24.6	140.0	350.0

POTENCIA MECANICA [W]	20.0	0.0	24.6	20.0	20.0
TRABAJO TOTAL REQUERIDO [J]	5656.9	0.0	7913.4	946.9	80769.2
TRABAJO ELECTRICO REALIZADO [J]	9202.2	0.0	3956.7	17126.2	80769.2
TRABAJO MECANICO REALIZADO [J]	1314.6	0.0	3956.7	2446.6	4615.4
<b>RUTA 1 JARDIN/CSU (Usuario 2)</b>	<b>2</b>				
<b>PARAMETROS</b>	<b>TRAMO 1</b>	<b>TRAMO 2</b>	<b>TRAMO 3</b>	<b>TRAMO 4</b>	<b>TRAMO 5</b>
LONGITUD [m]	130	500	500	350	500
VARIACION DE ALTURA [m]	5	-27	-22	2	29
GRADO DE INCLINACION [°]	2.2	-3.1	-2.5	0.3	3.3
VELOCIDAD PROMEDIO [Km/s]	8	12.5	12.1	13.2	9.5
VELOCIDAD PROMEDIO [m/s]	2.16	3.375	3.267	3.564	2.565
TIEMPO [s]	58.5	144.0	148.8	114.0	227.0
NIVEL DE ASISTENCIA UTILIZADO	2	0	3	3	5
POTENCIA MIN REQUERIDA [W]	96.7	0.0	53.2	11.4	350.0
POTENCIA ELECTRICA [W]	140.0	0.0	26.6	140.0	350.0
POTENCIA MECANICA [W]	20.0	0.0	26.6	20.0	20.0
TRABAJO TOTAL REQUERIDO [J]	5656.9	0.0	7913.4	1302.1	79450.0
TRABAJO ELECTRICO REALIZADO [J]	8190.0	0.0	3956.7	15960.0	79450.0
TRABAJO MECANICO REALIZADO [J]	1170.0	0.0	3956.7	2280.0	4540.0

Tabla 38. Resultados Ruta 1 - Usuario 2.

Como resumen de resultados se tiene:

<b>POTENCIA PROM MOTOR [W]</b>	<b>145.7</b>
<b>VELOCIDAD PROM [Km/h]</b>	<b>10.2</b>
<b>TIEMPO PROMEDIO DE RECORRIDOS</b>	<b>11.0</b>
<b>TRABAJO MECANICO PROMEDIO</b>	<b>12140.0</b>
<b>CONSUMO ENERGETICO [Kcal]</b>	<b>2.79219804</b>

Tabla 39. Resumen de resultados Ruta 1 - Usuario 2.

## 2.5. Resultados ruta 2 – usuario 2

Una vez el usuario termina la ruta 1, comienza la ruta 2 dando como resultado los siguientes datos:

RUTA 2 CSU/JARDIN	1			
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4
PARAMETROS				
LONGITUD [m]	500	650	700	650
VARIACION DE ALTURA [m]	-29.0	7.0	21.0	22.0
GRADO DE INCLINACION [°]	-3.3	0.6	1.7	1.9
VELOCIDAD PROMEDIO [Km/h]	7.5	11.7	19.2	14.4
VELOCIDAD PROMEDIO [m/s]	2.0	3.2	5.2	3.9
TIEMPO	240.0	200.0	221.0	302.0
NIVEL DE ASISTENCIA UTILIZADO	2.0	3.0	5.0	5.0
POTENCIA MIN REQUERIDA [W]	67.6	38.6	181.5	153.5
POTENCIA ELECTRICA [W]	70.0	70.0	350.0	350.0
POTENCIA MECANICA [W]	33.8	-31.4	40.0	30.0
TRABAJO TOTAL REQUERIDO [J]	16220.8	7715.7	40102.4	46355.6
TRABAJO ELECTRICO REALIZADO [J]	16800.0	14000.0	77350.0	105700.0
TRABAJO MECANICO REALIZADO [J]	8110.4	-6284.3	8840.0	9060.0

RUTA 2 CSU/JARDIN	2			
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4
PARAMETROS				
LONGITUD [m]	500	650	700	650
VARIACION DE ALTURA [m]	-29.0	7.0	21.0	22.0
GRADO DE INCLINACION [°]	-3.3	0.6	1.7	1.9
VELOCIDAD PROMEDIO [Km/h]	7.5	13.4	19.6	15.2
VELOCIDAD PROMEDIO [m/s]	2.025	3.618	5.292	4.104
TIEMPO	240.0	174.6	128.6	153.9
NIVEL DE ASISTENCIA UTILIZADO	2.0	2.0	5.0	5.0
POTENCIA MIN REQUERIDA [W]	67.6	44.2	185.2	162.0
POTENCIA ELECTRICA [W]	70.0	70.0	350.0	350.0
POTENCIA MECANICA [W]	33.8	-25.8	35.0	40.0
TRABAJO TOTAL REQUERIDO [J]	16220.8	7715.7	23816.5	24943.0
TRABAJO ELECTRICO REALIZADO [J]	16800.0	12223.9	45000.0	53881.6
TRABAJO MECANICO REALIZADO [J]	8110.4	-4508.2	4500.0	6157.9

Tabla 40. Resultados Ruta 2 - Usuario 2.

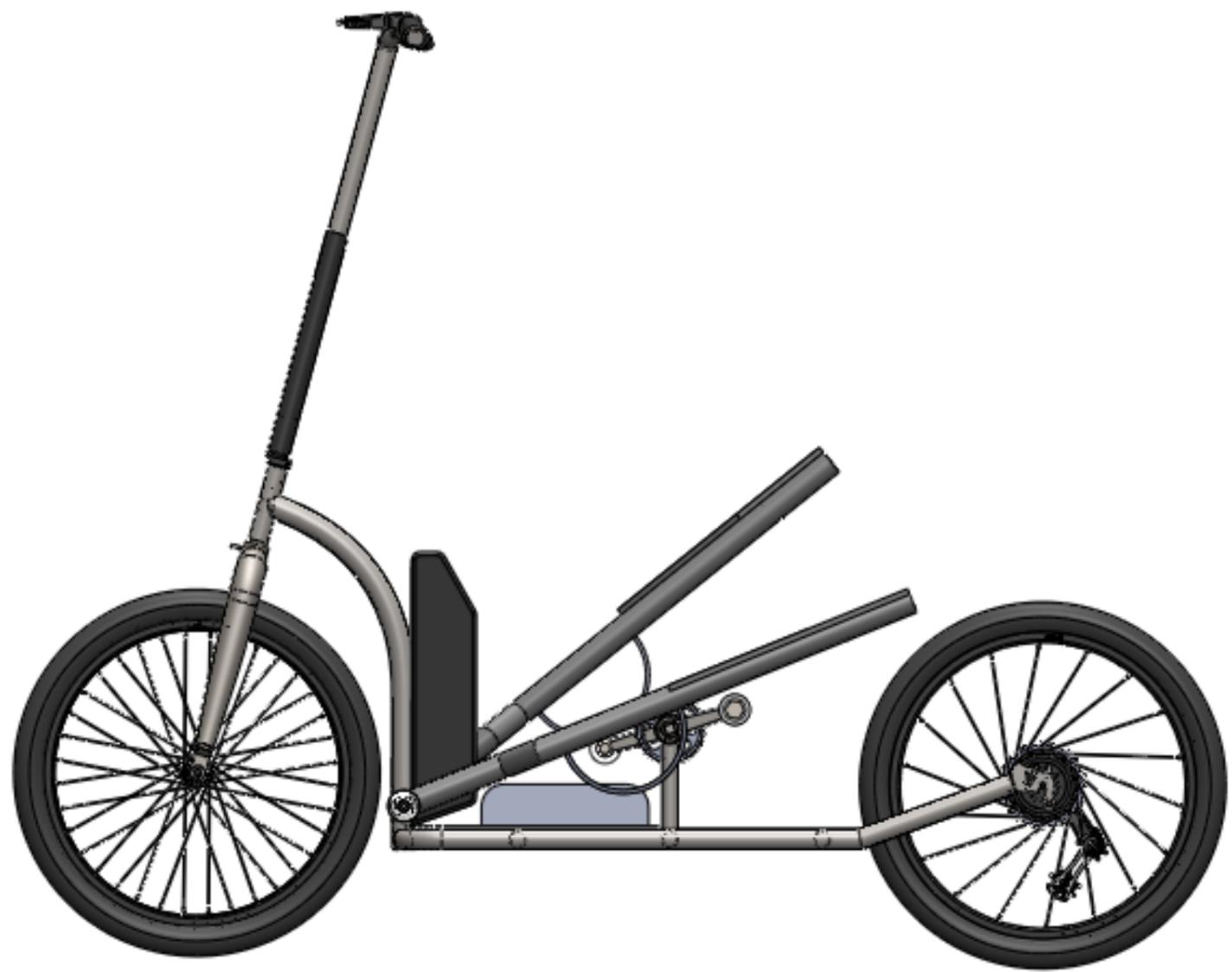
Como resultados se tiene los siguientes datos:

POTENCIA PROM MOTOR [W]	210.0
VELOCIDAD PROM [Km/h]	13.6
TIEMPO PROMEDIO DE RECORRIDOS	13.8
TRABAJO MECANICO PROMEDIO	16993.1
CONSUMO ENERGETICO [Kcal]	3.90840196
NIVEL DE BATERIA UTILIZADO	10.09

Tabla 41. Resumen de resultados Ruta 2 - Usuario 2.

8 7 6 5 4 3 2 1

F  
E  
D  
C  
B  
A



F  
E  
D  
C  
B  
A

8 7 6 5 4 3 2 1

INSTITUCIÓN:  	FECHA:	Revisión	
	AUTOR:	Brayan Jesus Garavito Uriza	
MATERIAL:	PIEZA:	ENSAMBLE	
	PROYECTO:	SCOOTER ELÍPTICA	A3
PESO:	ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1	

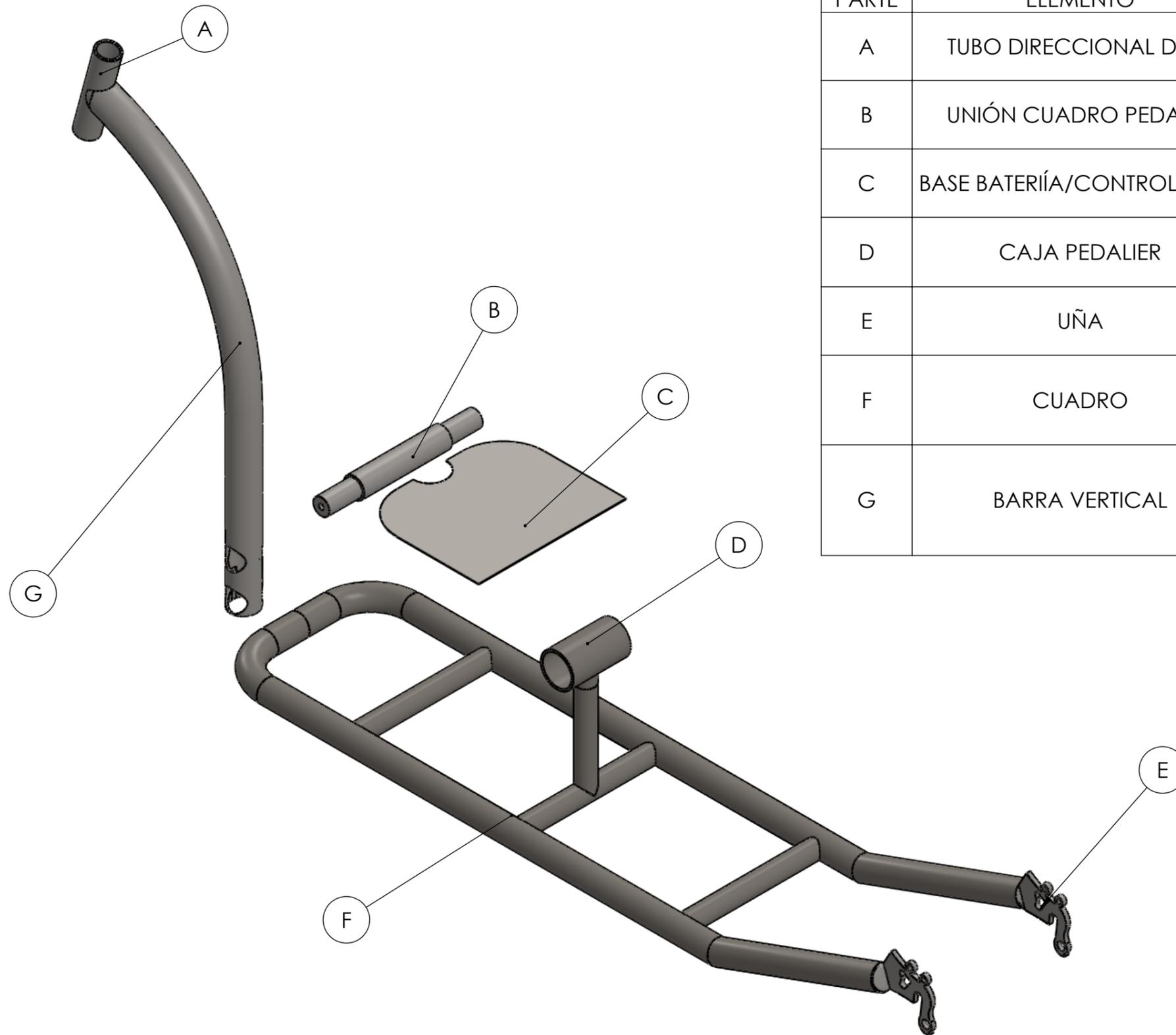


PARTE	SUBSISTEMA
A	SISTEMA DE DIRECCIÓN
B	SISTEMA DE ASISTENCIA ELÉCTRICA
C	SISTEMA DE PEDALEO
D	SITEMA BASE
E	SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

INSTITUCIÓN:	FECHA:	Revisión
	AUTOR:	Brayan Jesus Garavito Uriza
	PIEZA:	<b>SUBENSAMBLAJES</b>
MATERIAL:	PROYECTO:	SCOOTER ELÍPTICA
PESO:	ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1

A3

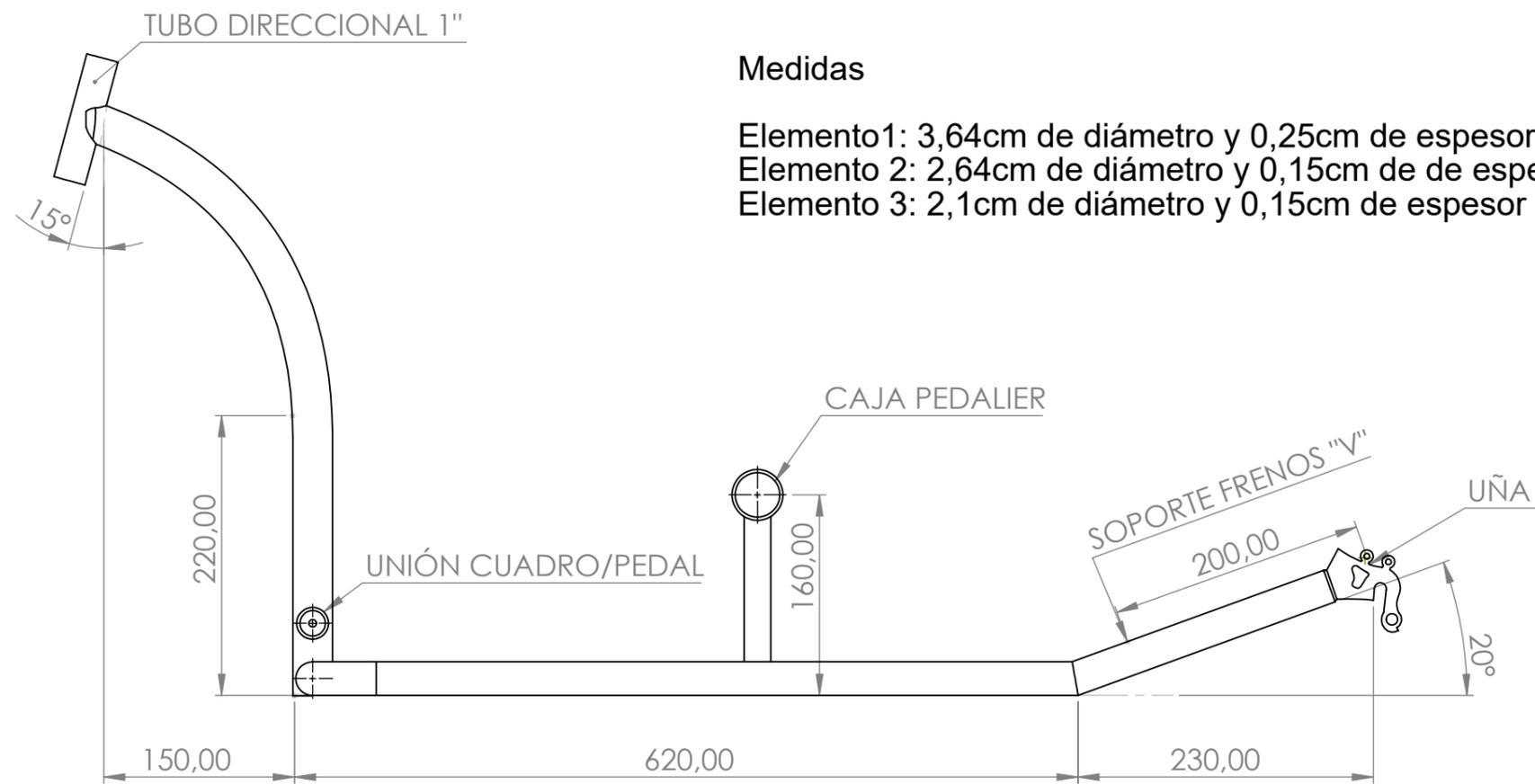
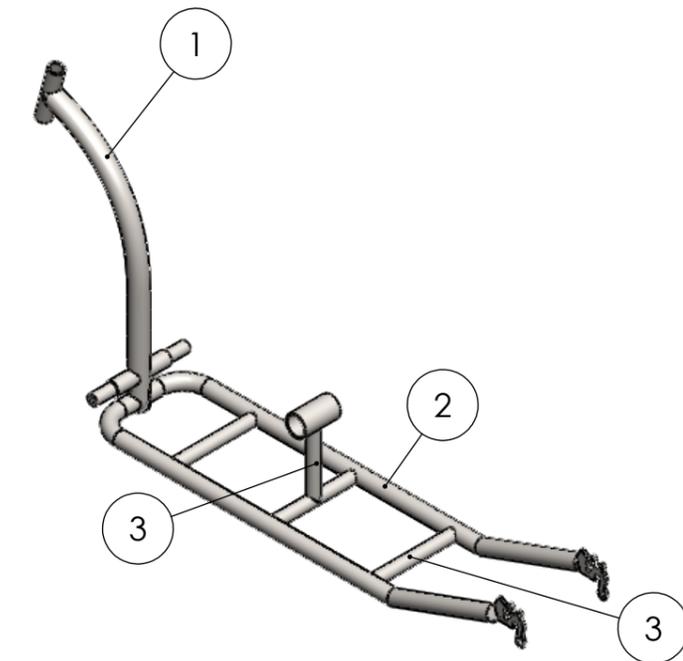
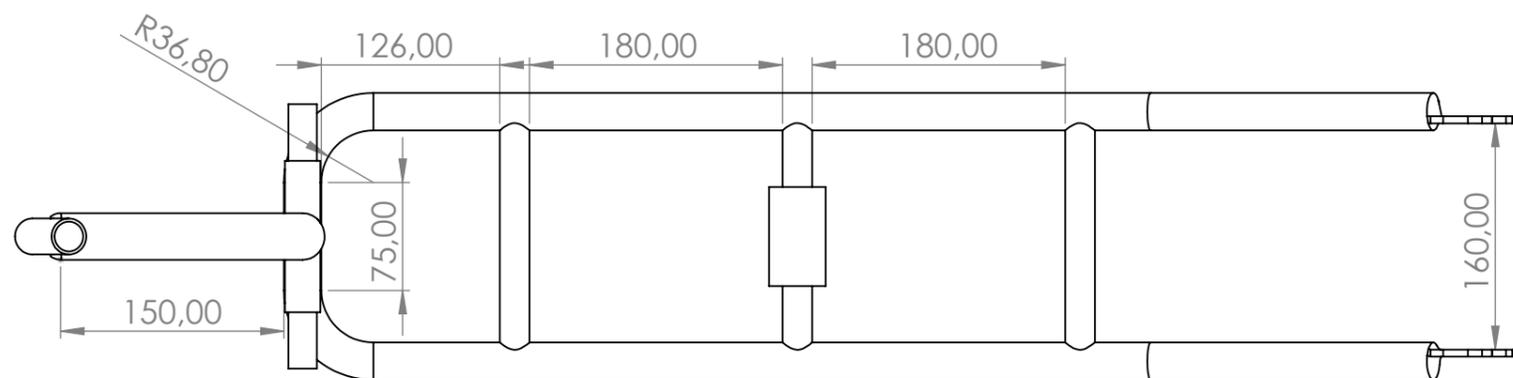
Diseñado para soportar una persona de 70Kg y máximo una persona de 100Kg



PARTE	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTID.
A	TUBO DIRECCIONAL DE 1"	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	1
B	UNIÓN CUADRO PEDALES	DISEÑADO Y FABRICADO CON ACERO 1020	2
C	BASE BATERÍA/CONTROLADOR	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	1
D	CAJA PEDALIER	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	1
E	UÑA	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	2
F	CUADRO	DISEÑADO Y FABRICADO CON TUBERÍA DE ACERO 1020	1
G	BARRA VERTICAL	DISEÑADO Y FABRICADO CON TUBERÍA DE ACERO 1020	1

INSTITUCIÓN:	FECHA:	Revisión
	AUTOR:	Brayan Jesus Garavito Uriza
	PIEZA:	SUBENSAMBLAJE BASE
MATERIAL:	PROYECTO:	SCOOTER ELÍPTICA
PESO:	ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1

A3



**Medidas**

- Elemento 1: 3,64cm de diámetro y 0,25cm de espesor
- Elemento 2: 2,64cm de diámetro y 0,15cm de de espesor
- Elemento 3: 2,1cm de diámetro y 0,15cm de espesor

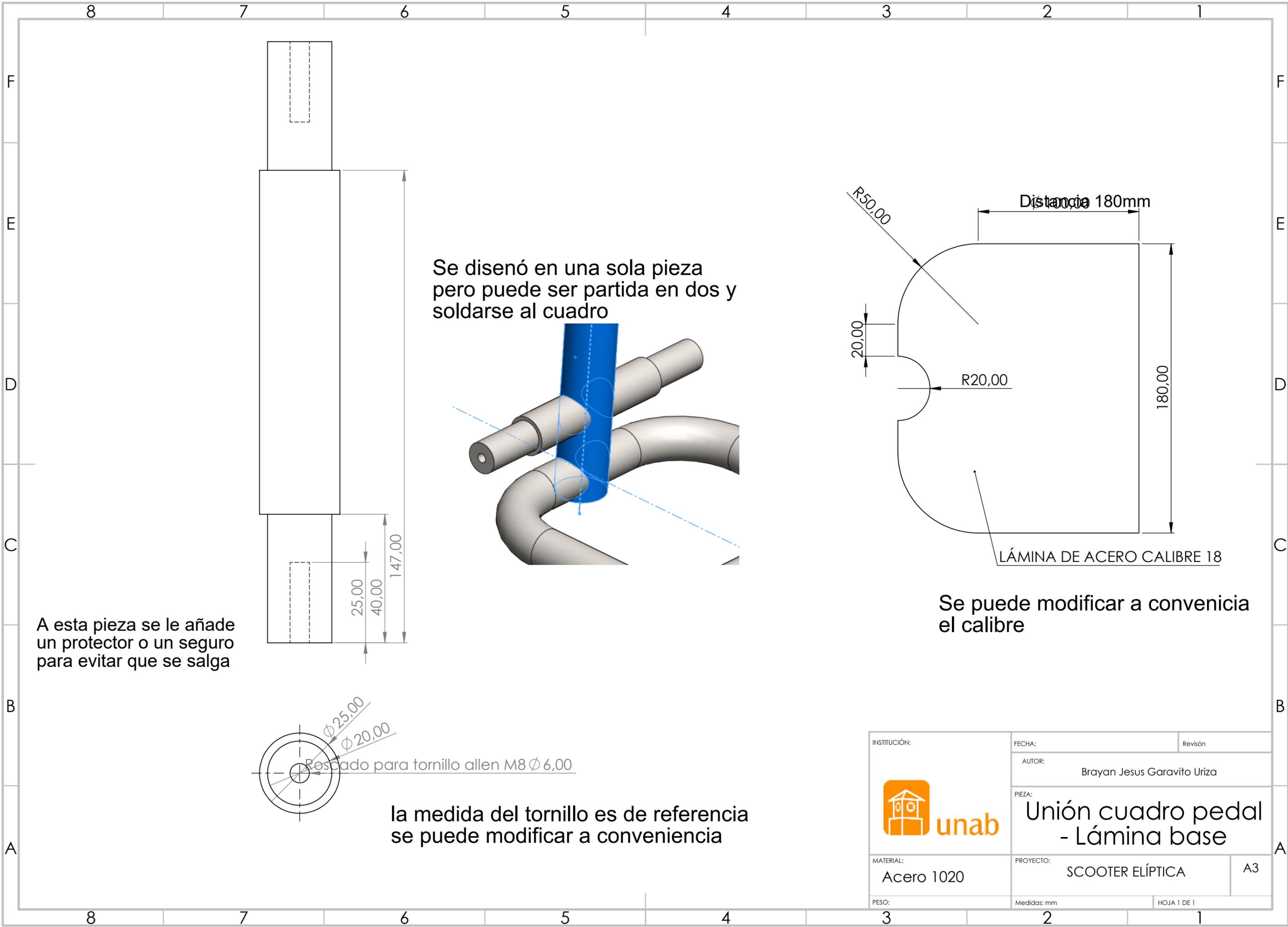
ELEMENTO	TUBERÍA AISI 1020
1	1"
2	3/4"
3	1/2"

Estas medidas son de referencia.  
Se pueden cambiar siempre y cuando soporten como máximo a una persona de 100Kg

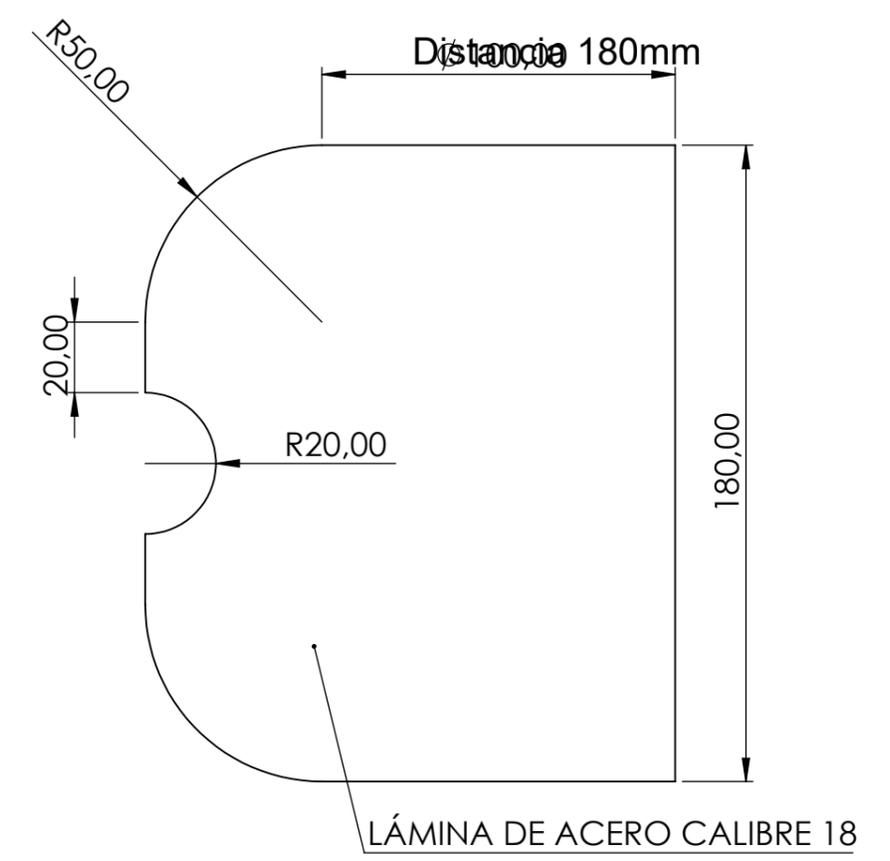
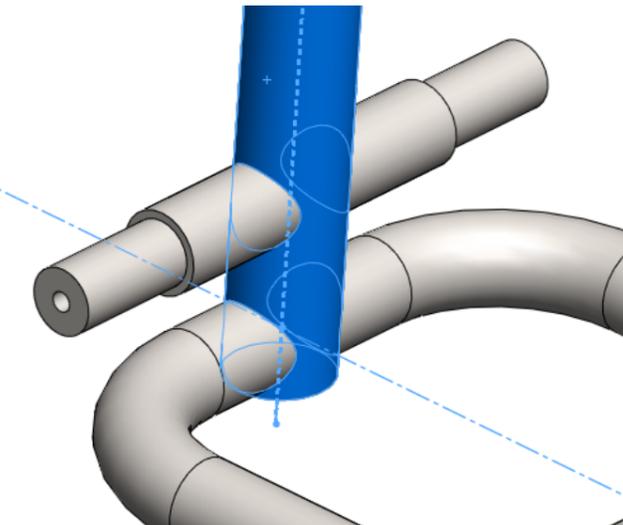
INSTITUCIÓN: 	FECHA:	Revisión
	AUTOR:	Brayan Jesus Garavito Uriza
MATERIAL:	ACERO 1020	
PESO:	PROYECTO:	SCOOTER ELÍPTICA
	Medidas: mm	
		HOJA 1 DE 1

**CUADRO**

A3

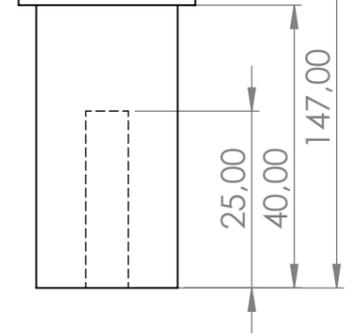


Se diseñó en una sola pieza pero puede ser partida en dos y soldarse al cuadro



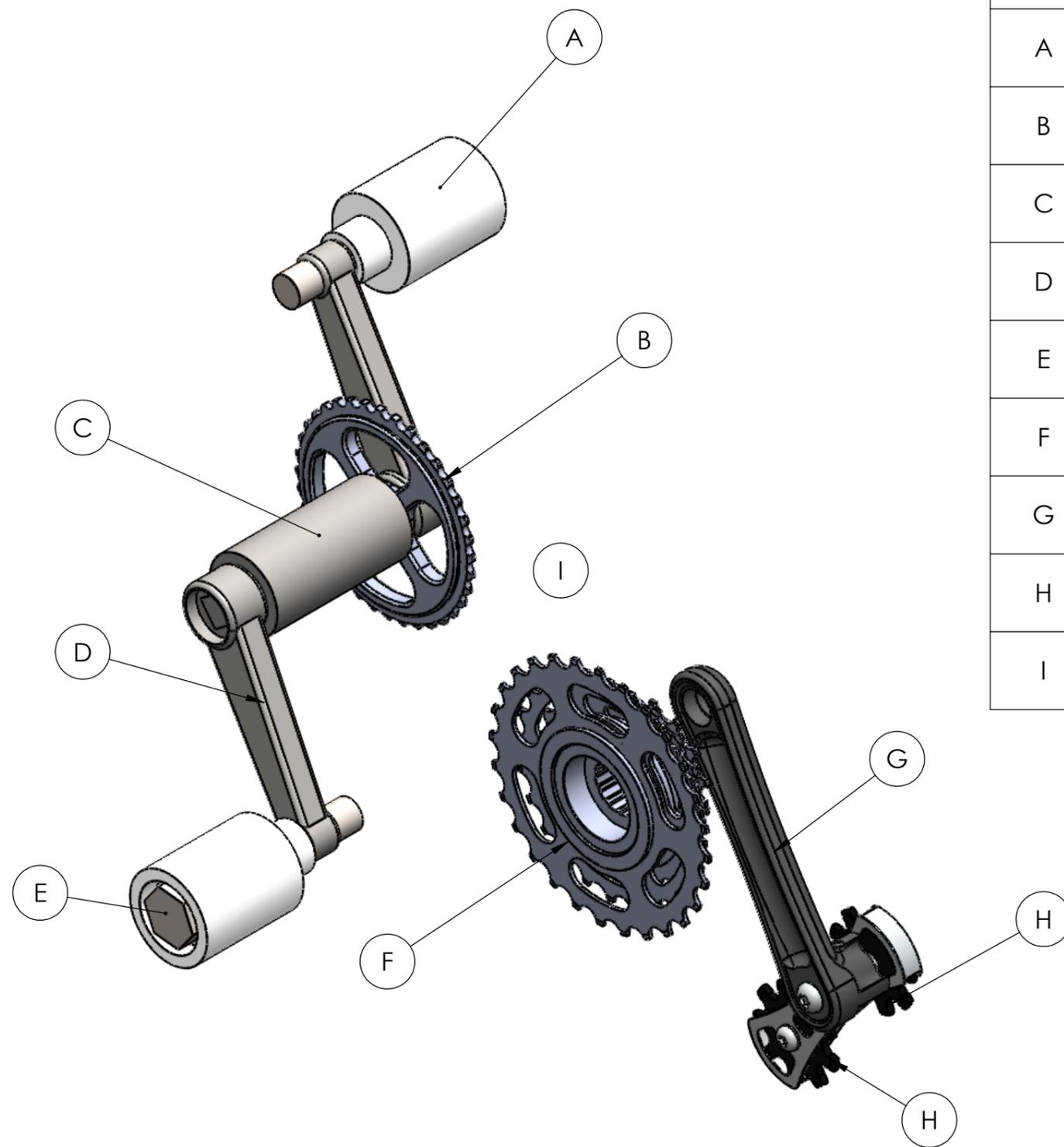
Se puede modificar a conveniencia el calibre

A esta pieza se le añade un protector o un seguro para evitar que se salga



la medida del tornillo es de referencia se puede modificar a conveniencia

INSTITUCIÓN:	FECHA:	Revisión
	AUTOR:	Brayan Jesus Garavito Uriza
	PIEZA:	Unión cuadro pedal - Lámina base
MATERIAL:	PROYECTO:	A3
Acero 1020	SCOOTER ELÍPTICA	
PESO:	Medidas: mm	HOJA 1 DE 1



PARTE	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTID.
A	RODILLO	DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN ABS	2
B	PLATO 36 DIENTES	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	1
C	CAJA PEDALIER	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	1
D	BIELA 89MM	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	2
E	TORNILLO RODILLO/BIELA	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	2
F	PIÑONE 14 - 28 DIENTE	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	1
G	DESVIADOR TRASERO	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	1
H	PIÑÓN DESVIADOR	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	2
I	CADENA	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	1

INSTITUCIÓN:	FECHA:	Revisión
	AUTOR:	Brayan Jesus Garavito Uriza
	PIEZA:	SUBENSAMBLAJE TRANSMISIÓN DE POTENCIA
MATERIAL:	PROYECTO:	SCOOTER ELÍPTICA
PESO:	ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1

A3

8 7 6 5 4 3 2 1

F  
E  
D  
C  
B  
A

F  
E  
D  
C  
B  
A



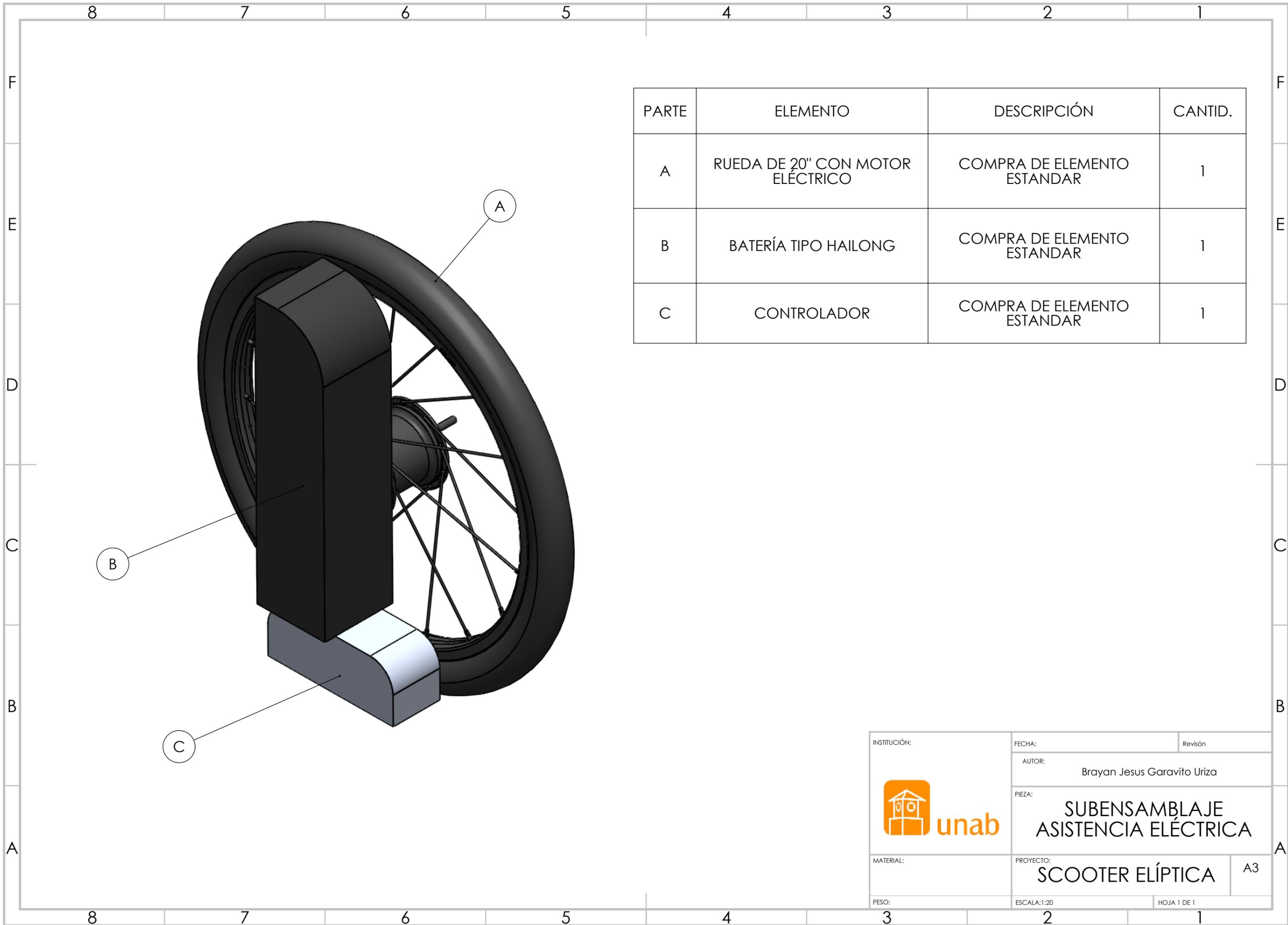
PARTE	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTID.
A	PALANCAS DE CAMBIOS Y ASISTENCIA ELÉCTRICA	COMPRA DE ELEMENTOS ESTANDAR	2
B	PALANCAS DE FRENOS	COMPRA DE ELEMENTOS ESTANDAR	2
C	MANUBRIO	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	1
D	MANILLARES	COMPRA DE ELEMENTOS ESTANDAR	2
E	BARRA DE ALTURA	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	1
F	TIJA PLEGABLE	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	2
G	TENEDOR 100MM	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	1
H	RUEDA 20"	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	1

Se usa una tija extensible para dar opciones de altura al usuario  
 La idea es que el manubrio pueda tener una altura mínima de 50cm y una altura máxima de 1m

INSTITUCIÓN:	FECHA:	Revisión
	AUTOR:	Brayan Jesus Garavito Uriza
	PIEZA:	<b>SUBENSAMBLAJE DIRECCIÓN</b>
MATERIAL:	PROYECTO:	<b>SCOOTER ELÍPTICA</b>
PESO:	ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1

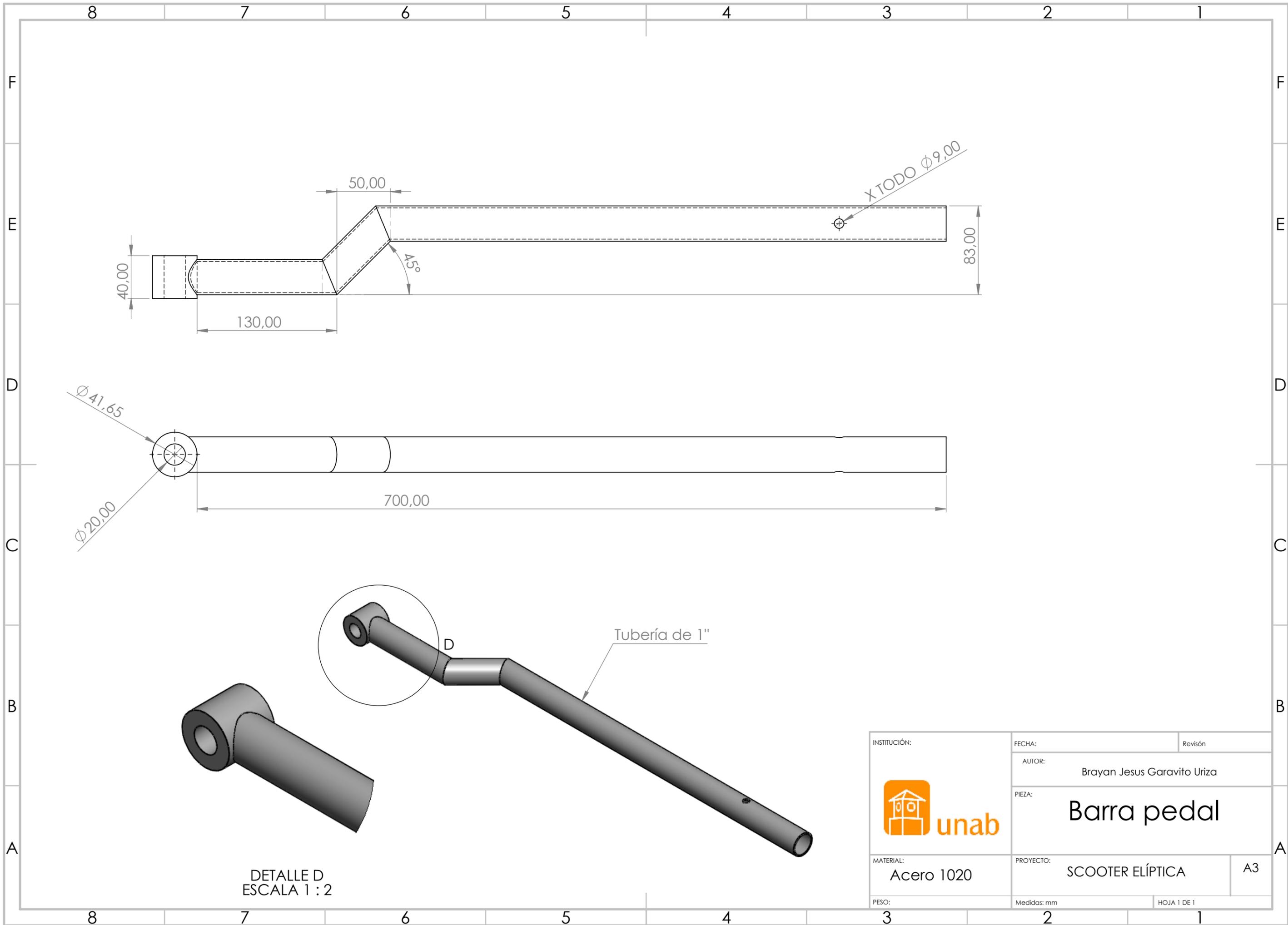
A3

8 7 6 5 4 3 2 1

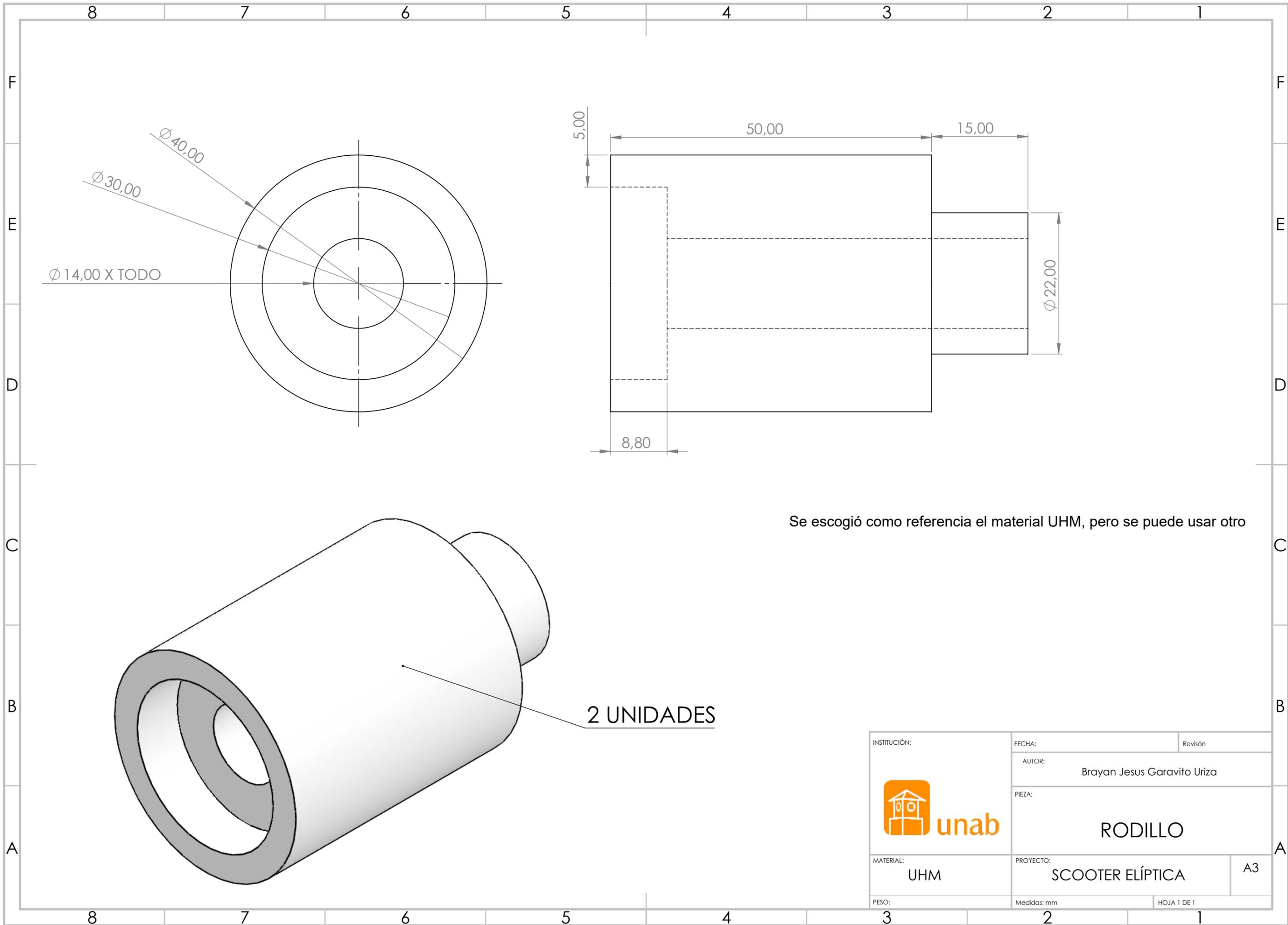


PARTE	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTID.
A	RUEDA DE 20" CON MOTOR ELÉCTRICO	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	1
B	BATERÍA TIPO HAILONG	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	1
C	CONTROLADOR	COMPRA DE ELEMENTO ESTANDAR	1

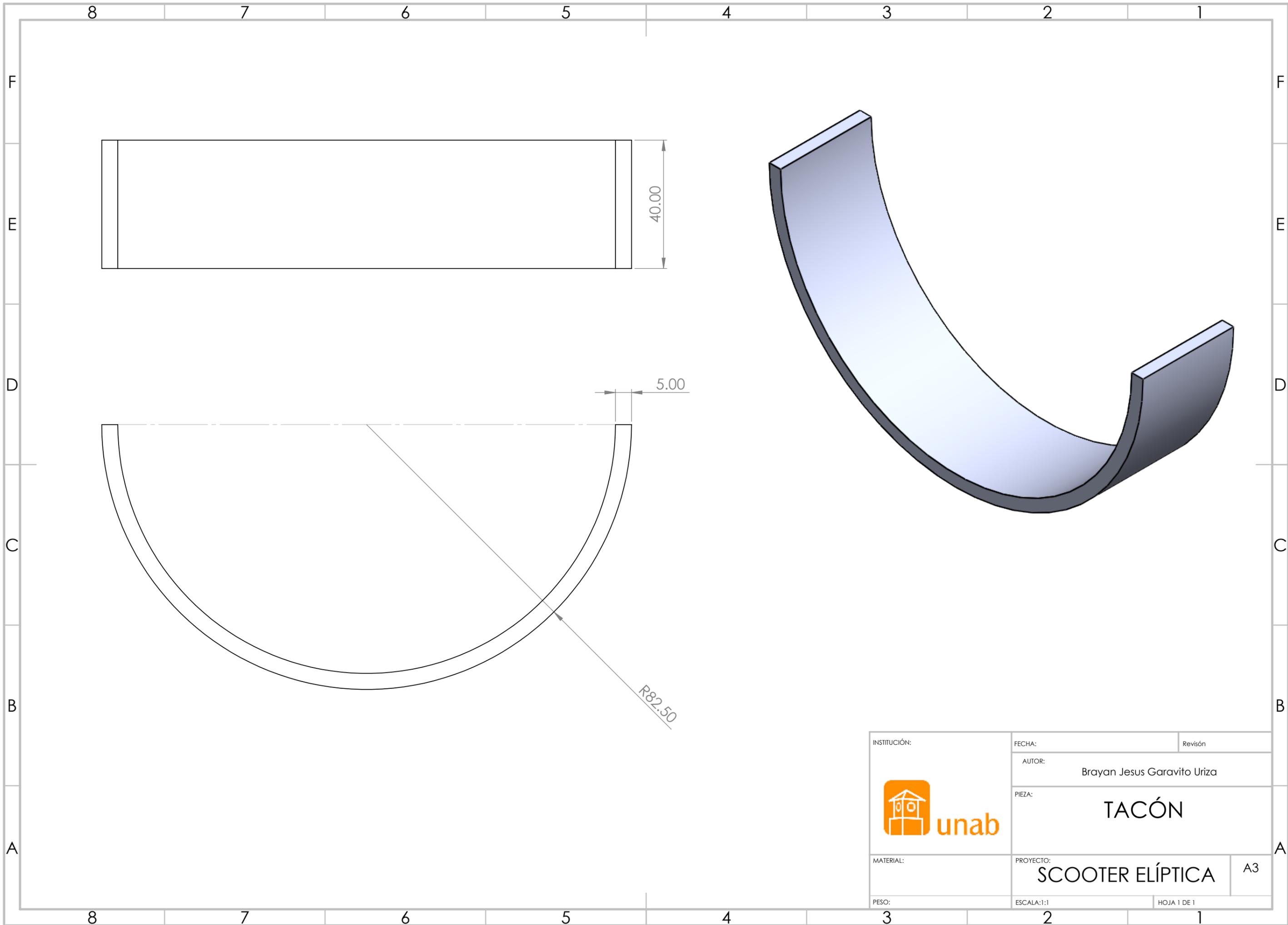
INSTITUCIÓN: 	FECHA:	Revisión
	AUTOR: Brayan Jesus Garavito Uriza	
MATERIAL:	PIEZA: <b>SUBENSAMBLAJE ASISTENCIA ELÉCTRICA</b>	
	PROYECTO: <b>SCOOTER ELÍPTICA</b>	A3
PESO:	ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1



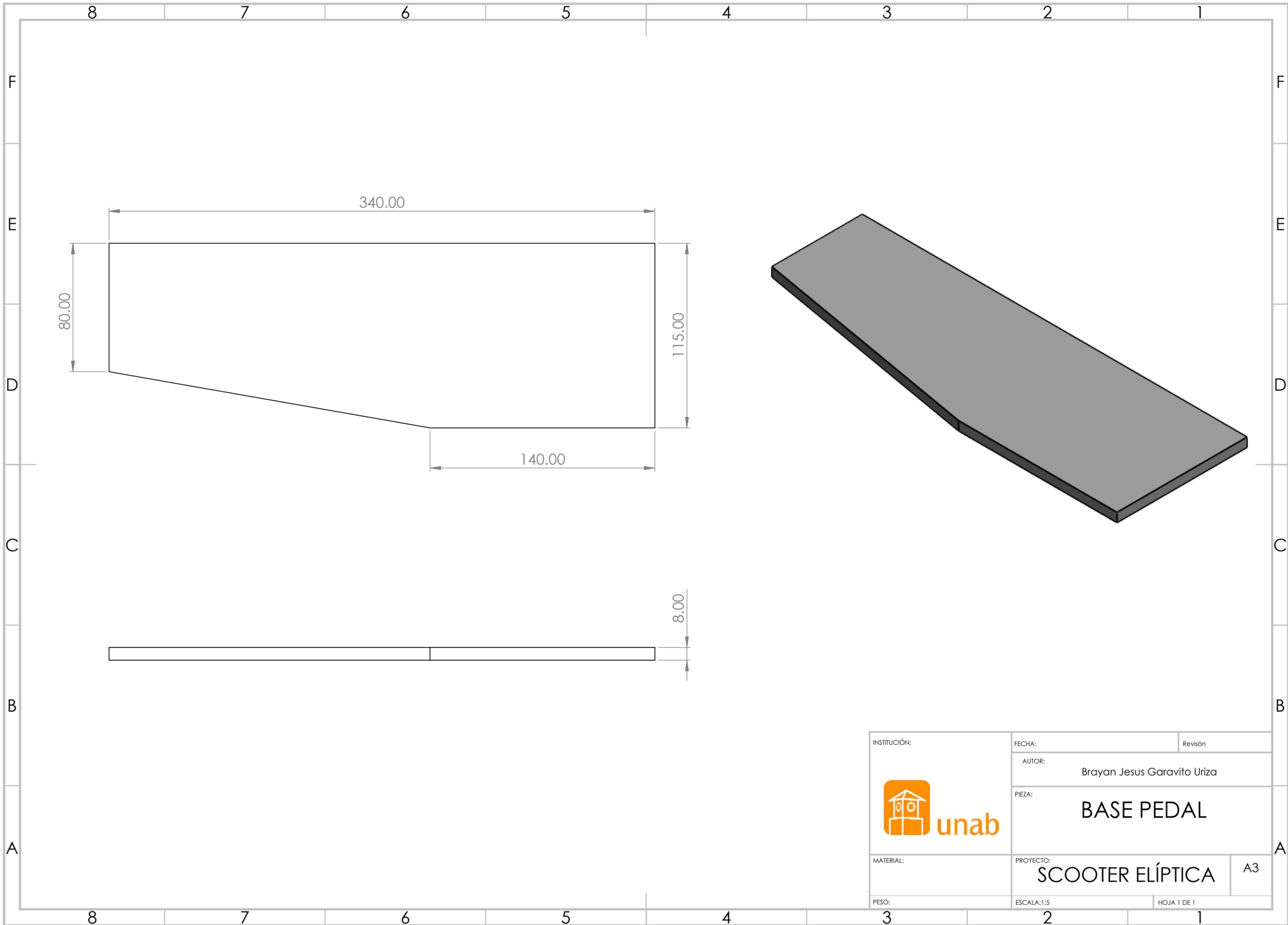
INSTITUCIÓN:	FECHA:	Revisión
	AUTOR:	Brayan Jesus Garavito Uriza
	PIEZA:	Barra pedal
MATERIAL:	PROYECTO:	A3
PESO:	Medidas: mm	HOJA 1 DE 1
Acero 1020	SCOOTER ELÍPTICA	



INSTITUCIÓN:	FECHA:	Revisión
	AUTOR:	Brayan Jesus Garavito Uriza
	PIEZA:	RODILLO
MATERIAL:	PROYECTO:	A3
UHM	SCOOTER ELÍPTICA	
PESO:	Medidas: mm	HOJA 1 DE 1



INSTITUCIÓN: 	FECHA:	Revisión
	AUTOR: Brayan Jesus Garavito Uriza	
MATERIAL:	PIEZA: TACÓN	
PESO:	PROYECTO: SCOOTER ELÍPTICA	A3
	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1



INSTITUCIÓN:	FECHA:	Revisión
	AUTOR:	Brayan Jesus Garavito Uriza
	PIEZA:	BASE PEDAL
MATERIAL:	PROYECTO:	A3
PESO:	ESCALA: 1:5	HOJA 1 DE 1