



1859



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales
no Renovables

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Dimensionamiento y construcción de una bicicleta eléctrica

**Trabajo de Titulación previo a la obtención
del Título de Ingeniero Electromecánico**

AUTOR:
Jean Paúl Herrera Ordóñez

DIRECTOR:
Ing. Jorge Enrique Carrión González, PhD.

Loja - Ecuador
2022

Certificación

Ing. Jorge Enrique Carrión González, PhD.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Haber dirigido, revisado y corregido el presente trabajo de titulación, en su proceso de investigación cuyo tema versa en: “**Dimensionamiento y construcción de una bicicleta eléctrica**”, previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por el señor egresado: **Jean Paúl Herrera Ordóñez**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 21 de marzo de 2022



Firmado electrónicamente por:
JORGE ENRIQUE
CARRION
GONZALEZ

.....
Ing. Jorge Enrique Carrión González, PhD.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo **Jean Paúl Herrera Ordóñez**, declaro ser autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula: 1105385130

Fecha: 09 de junio del 2022

Teléfono: 0980387947

Correo electrónico: jean.herrera@unl.edu.ec

Carta de autorización

Yo, **Jean Paúl Herrera Ordóñez**, declaro ser autor del trabajo de titulación: **Dimensionamiento y construcción de una bicicleta eléctrica**, como requisito para optar el grado de: **Ingeniero Electromecánico**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional. Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para la constancia de esta autorización en la ciudad de Loja, a los nueve días del mes de junio del dos mil veintidós.



Firma:

Jean Paúl Herrera Ordóñez
C.I.: 1105385130
Dirección: Catamayo, Calle Reina del Cisne 1^{era} etapa.
Teléfono celular: 0980387947
Correo electrónico: jean.herrera@unl.edu.ec

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del trabajo de titulación: Ing. Jorge Enrique Carrión González, PhD.

Tribunal de grado:

Presidente: Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg.Sc

Vocales: Ing. Julio Roberto Gómez Peña

Ing. Cristian Vinicio Ortega Reyes

Dedicatoria

Principalmente dedico este trabajo de titulación a Dios, por ser mi amparo, mi fortaleza y por brindarme una ayuda segura en los momentos de angustia.

A mis abuelitos, quienes me han inculcado valores, con su ejemplo han sabido enseñarme el poder de la humildad y la solidaridad. Por haberme brindado sus sabios consejos en el tiempo que llevo de vida, por las veces que me han reprendido y por las veces en las que me han impulsado para que logre todos mis propósitos.

A mi madre, con mucho afecto por apoyarme a lo largo de mi vida estudiantil, con sus opiniones, su forma de ver el mundo, con su carisma y cariño. Esperando seguir siendo un orgullo para ti mamá.

A mi grupo de amigos con quienes hemos afrontado los pequeños y grandes retos que surgían durante la carrera, por extenderme sus manos en los momentos inciertos y por celebrar las victorias en cada cierre de ciclo.

El Autor.

Agradecimiento

Levanto mi sentido de gratitud a Dios sobre todas las cosas, de quien me siento muy bendecido por haber depositado en mi la oportunidad de tener una vida libre, una gran familia y todas las capacidades para ser una persona de bien, en mi formación académica y moral.

Para aquellos miembros de mi familia que desinteresadamente me han dado ánimos para continuar aprendiendo, a quienes me apoyaron en mis proyectos, necesidades y quienes me dieron respaldo en los diversos escenarios de mi vida.

Con sinceridad y respeto, manifiesto un perenne agradecimiento a mi director de trabajo de titulación el Ingeniero Jorge Enrique Carrión González, por su actitud comedida y servicial desde los cimientos hasta el desenlace de este trabajo de titulación, siempre mostrando el interés pertinente en la revisión de los avances y con cortesía aclaraba los errores o equivocaciones que surgían.

Finalmente agradezco a los docentes de la carrera de Ingeniería Electromecánica por difundir sus conocimientos, los consejos para el ámbito laboral y el anhelo de cada vez ir mejorando el sistema educativo. Al Instituto de Fomento al Talento Humano por contribuir a mi formación académica a través de la asistencia técnica, seguimiento académico y financiero.

El Autor.

Índice de contenido

Portada.....	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenido.....	vii
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos.....	xv
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
3.1. Objetivos.....	4
3.1.1. Objetivo general.....	4
3.1.2. Objetivos específicos.....	4
3.2. Antecedentes.....	5
3.3. Situación Problemática.....	5
4. Marco teórico.....	7
4.1. Diseño y Dimensionamiento de Bicicletas.....	7
4.1.1. Diseño mecánico.....	7
4.1.1.1. Parámetros para el diseño mecánico de bicicletas.....	7
1.1.1.1.1. Generalidades.....	7
4.1.1.1.1. Partes de una bicicleta.....	7
4.1.1.1.2. Geometría de una bicicleta.....	7
4.1.1.1.3. Altura y Alcance.....	8
4.1.1.1.4. Tubo direccional.....	8
4.1.1.1.5. Inclinación y desviación de la horquilla.....	9
4.1.1.1.6. Tubo del asiento.....	10
4.1.1.1.7. Longitud de la vaina.....	10
4.1.1.1.8. Elevación de la caja del pedalier.....	10
4.1.1.1.9. Selección de materiales.....	11
4.1.1.1.10. Densidad.....	11
4.1.1.1.11. Módulo de Young.....	11
4.1.1.1.12. Coeficiente de Poisson.....	11

4.1.1.1.13.	Resistencia a la fatiga.....	12
4.1.1.1.14.	Límite de tracción.....	12
4.1.1.1.15.	Límite elástico.....	12
4.1.1.2.	Parametrización de diseño.....	15
4.1.1.2.1.	Ergonomía.....	15
4.1.1.3.	Elementos estandarizados.....	18
4.1.1.3.1.	Aro.....	18
4.1.1.3.2.	Masas.....	19
4.1.1.3.3.	Neumáticos.....	19
4.1.1.3.4.	Cámara de aire.....	20
4.1.1.3.5.	Transmisión.....	21
4.1.1.3.6.	Cassette trasero.....	21
4.1.1.3.7.	Juego de platos.....	21
4.1.1.3.8.	Desviador delantero.....	22
4.1.1.3.9.	Desviador trasero.....	22
4.1.1.3.10.	Cadena.....	23
4.1.1.3.11.	Eje de centro o pedalier.....	23
4.1.1.3.12.	Pedales.....	24
4.1.1.3.13.	Sistemas de freno.....	25
4.1.1.3.14.	Frenos de aro o llanta.....	25
4.1.1.3.15.	Frenos de masa.....	26
4.1.1.3.16.	Suspensión.....	26
4.1.1.3.17.	Tija del sillín.....	27
4.1.1.3.18.	Sillín.....	28
4.1.1.3.19.	Dirección.....	28
4.1.1.3.20.	Potencia.....	29
4.1.1.3.21.	Manubrio.....	29
4.1.1.3.22.	Manetas de freno.....	30
4.1.1.3.23.	Maneta de cambio.....	30
4.1.1.3.24.	Puños.....	31
4.1.1.4.	Análisis estructural.....	31
4.1.1.4.1.	Análisis estático.....	31
4.1.1.4.2.	Análisis a la fatiga.....	33
4.1.1.4.3.	Factor de superficie ka	34
4.1.1.4.4.	Factor de tamaño kb	34
4.1.1.4.5.	Factor de modificación por la carga kc	34
4.1.1.4.6.	Factor de temperatura kd	34

4.1.1.4.7.	Factor de confiabilidad ke .	35
4.1.1.4.8.	Factor de efectos varios kf .	35
4.1.1.5.	Modelación y simulación.	35
4.1.1.5.1.	Software SolidWorks®.	35
4.1.1.5.2.	Modelación.	36
4.1.1.5.3.	Simulación.	37
4.1.2.	Componente eléctrico y electrónico.	38
4.1.2.1.	Motor eléctrico para bicicletas.	38
4.1.2.1.1.	Motor en el buje delantero.	39
4.1.2.1.2.	Motor en el buje trasero.	39
4.1.2.1.3.	Motor en eje de pedaliar.	39
4.1.2.2.	Baterías para bicicletas eléctricas.	39
4.1.2.2.1.	Batería de plomo – ácido.	40
4.1.2.2.2.	Baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd).	41
4.1.2.2.3.	Batería de Níquel y Metal Hidruro (Ni Mh).	42
4.1.2.2.4.	Batería de Ion de Litio (Li-Ion).	43
4.1.2.3.	Componentes electrónicos de bicicletas.	44
4.1.2.3.1.	Controlador.	44
4.1.2.3.2.	Sensor de pedaleo (P.A.S).	44
4.1.2.3.3.	Panel de control o pantalla LCD.	45
4.2.	Parametrización de la Bicicleta Eléctrica.	46
4.2.1.	Procedimiento de diseño y dimensionamiento del cuadro.	46
4.2.1.1.	Requerimientos del diseño.	46
4.2.1.2.	Función índice del material.	47
4.2.1.3.	Valores umbral.	49
4.2.1.4.	Resistencia a la fatiga.	52
4.2.1.5.	Resistencia a la corrosión.	54
4.2.1.6.	Materiales seleccionados.	55
4.2.1.7.	Acero SAE 1020.	56
4.2.1.8.	Procedimiento de diseño y Análisis estructural del cuadro seleccionado como caso de estudio.	57
4.2.1.8.1.	Análisis estático.	57
4.2.1.8.2.	Resultados del análisis a la fatiga.	59
4.2.1.8.3.	Simulación a la fatiga.	63
4.2.1.9.	Selección del cuadro para la bicicleta eléctrica.	64
4.2.1.9.1.	Características del aluminio 6061.	66

4.2.1.9.2. Modelado y simulación del cuadro RAPTOR TITAN II.

66

4.2.2.	Dimensionamiento del motor y selección del sistema de control eléctrico....	68
4.2.2.1.	Dimensionamiento del motor.	69
4.2.2.1.1.	Fuerza aerodinámica o resistencia aerodinámica al avance.	70
4.2.2.1.2.	Fuerza de resistencia a la rodadura.....	72
4.2.2.1.3.	Fuerza de resistencia a la pendiente.	74
4.2.2.1.4.	Fuerza de aceleración.	75
4.2.2.1.5.	Potencia del motor a seleccionar.	76
4.2.2.1.6.	Selección del motor eléctrico.	78
4.2.2.2.	Batería seleccionada.....	80
4.2.2.3.	Componentes electrónicos complementarios.	82
4.2.2.4.	Diagrama de conexión del sistema eléctrico.	83
4.3.	Ensamblaje de la Bicicleta Eléctrica	84
4.3.1.	Desarrollo.....	84
4.3.2.	Pruebas de funcionamiento en circuitos abiertos	88
4.3.2.1.	Resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento en circuito abierto.	89
4.3.3.	Pruebas de funcionamiento en circuito cerrado	91
4.3.3.1.	Resultados de las pruebas de funcionamiento en circuito cerrado.	92
4.3.4.	Análisis técnico económico.....	94
4.3.4.1.	Costos de materiales y ensamblaje de la bicicleta eléctrica.	94
4.3.4.2.	Costos por consumo de energía eléctrica.	97
4.3.4.3.	Factores para determinar el consumo energético, contaminación ambiental y costos.	98
4.3.4.3.1.	Costo de energía eléctricas y combustible.	98
4.3.4.3.2.	Factor de emisión de contaminantes.	99
4.3.4.3.3.	Cálculo de contaminantes.....	101
4.3.4.3.4.	Rendimiento.	101
4.3.4.3.5.	Consumo energético.....	102
4.3.4.3.6.	Contaminación ambiental.....	105
4.3.4.3.7.	Costo.	109
5.	Metodología.....	114
5.1.	Materiales.....	114
5.2.	Métodos.....	115
6.	Resultados.....	117

7. Discusión	118
8. Conclusiones.....	121
9. Recomendaciones	122
10. Bibliografía.....	123
11. Anexos.....	130

Índice de tablas

Tabla 1. Medidas para el diseño de una bicicleta.....	16
Tabla 2. Dimensiones generales para una bicicleta de competición.	17
Tabla 3. Parámetros en el factor de condición superficial de <i>Marin</i>	34
Tabla 4. Factores de confiabilidad <i>ke</i>	35
Tabla 5. Comparación entre tipos de baterías eléctricas	40
Tabla 6. Requerimientos para seleccionar un material.....	47
Tabla 7. Ecuaciones para sección cilíndrica hueca	47
Tabla 8. Dimensiones de componentes del cuadro para cálculo de valores umbral.....	49
Tabla 9. Valores umbral calculados	55
Tabla 10. Rango de valores de las propiedades de los materiales seleccionados.....	55
Tabla 11. Ponderación de familias de materiales	56
Tabla 12. Composición química del Acero SAE 1020.....	56
Tabla 13. Propiedades mecánicas del acero SAE 1020.....	57
Tabla 14. Resultados de los factores en el análisis a la fatiga para el acero SAE 1020	62
Tabla 15. Ficha descriptiva del ciclista	65
Tabla 16. Modelos de cuadros para bicicleta	65
Tabla 17. Propiedades de la aleación de aluminio 6061	66
Tabla 18. Valores de densidad y de viscosidad cinemática en función de la altitud.....	70
Tabla 19. Coeficientes de resistencia aerodinámica para varios cuerpos.....	71
Tabla 20. Factor de resistencia a la rodadura según el vehículo y la superficie donde se desplaza.....	73
Tabla 21. Porcentaje de inclinación en carreteras normales y montañas	75
Tabla 22. Parámetros principales del motor eléctrico Brushless 1 000 W	79
Tabla 23. Parámetros de la batería de litio 48 V 13 Ah marca <i>Hailong Plus</i>	80
Tabla 24. Componentes electrónicos complementarios	83
Tabla 25. Componentes seleccionados para el ensamblaje de la bicicleta.....	84
Tabla 26. Resultados de la prueba efectuada a la ruta N°1	89
Tabla 27. Resultados de la prueba efectuada a la ruta N°2	90
Tabla 28. Resultados de la prueba efectuada a la ruta N°3	90
Tabla 29. Características del terreno para las pruebas de funcionamiento en ciclo cerrado	91
Tabla 30. Resultados de la prueba en circuito cerrado para 800 m.....	92
Tabla 31. Distancia recorrida en función del voltaje de la batería.	94

Tabla 32. Precio de los componentes mecánicos de la bicicleta eléctrica.....	95
Tabla 33. Precio del kit eléctrico para la bicicleta.....	96
Tabla 34. Precio por mano de obra para el ensamblaje de la bicicleta eléctrica	96
Tabla 35. Costo total del prototipo.....	96
Tabla 36. Estimado de consumo de energía eléctrica.....	98
Tabla 37. Cargos tarifarios únicos.....	99
Tabla 38. Factores de emisión de vehículos a gasolina.....	100
Tabla 39. Factores de emisión en termoeléctrica de Fuel Oil	100
Tabla 40. Consumo energético por rutas (kWh).	102
Tabla 41. Consumo energético (kWh/100 km)	104
Tabla 42. Emisiones de contaminantes (g/recorrido).....	105
Tabla 43. Emisiones mensuales y anual de contaminantes (g).....	108
Tabla 44. Costos de recorrido en vehículo (USD)	110
Tabla 45. Costos del recorrido en bicicleta eléctrica (USD/recorrido)	110
Tabla 46. Estimación del costo por recorrido en vehículo (USD).....	111
Tabla 47. Estimación de costos del recorrido en bicicleta eléctrica (USD)	112
Tabla 48. Relación de contaminación vehículo - bicicleta eléctrica	120
Tabla 49. Ahorro anual de dinero al cambiar el vehículo por la bicicleta eléctrica (USD).....	120

Índice de figuras

Figura 1. Partes que conforman una bicicleta estándar	7
Figura 2. Altura y alcance de una bicicleta estándar	8
Figura 3. Tubo direccional en una bicicleta estándar	9
Figura 4. <i>Offset</i> (compensación) y <i>Trail</i> (rastros) de una bicicleta estándar	9
Figura 5. Tubo del asiento de una bicicleta estándar.....	10
Figura 6. Longitud de la vaina de una bicicleta estándar	10
Figura 7. Altura del pedalier de una bicicleta estándar	11
Figura 8. Gráfica del módulo de young (E) – densidad (ρ).....	13
Figura 9. Gráfica del límite elástico (σ_f) – densidad (ρ)	13
Figura 10. Gráfica del módulo de young (E) - costo relativo por unidad de volumen ($C_{V,R}$)	14
Figura 11. Gráfica del límite elástico (σ_f) - costo relativo por unidad de volumen ($C_{V,R}$)	14
Figura 12. Dimensiones humanas de mayor uso para el diseñador de espacios interiores	16
Figura 13. Medidas generales de una bicicleta de competición.	17
Figura 14. Ejemplos de aro para bicicleta	19
Figura 15. Masa trasera <i>SHIMANO</i> modelo <i>FH-M9010</i> para <i>MTB</i>	19
Figura 16. Neumáticos para bicicleta de carretera y de montaña.....	20
Figura 17. Cámara de aire para <i>MTB</i>	20

Figura 18. Cassete <i>SHIMANO XRT M980 11-36T 12 velocidades</i>	21
Figura 19. Juego de bielas <i>SHIMANO XTR HOLLOWTECH II MTB 2X12 velocidades</i>	22
Figura 20. Desviador <i>SHIMANO XRT SIDE SWING de 2 x 12 velocidades</i>	22
Figura 21. Desviador trasero <i>SHIMANO XTR</i> caja larga de <i>12 velocidades</i>	23
Figura 22. Cadena de <i>MTB de 12 velocidades XTR</i>	23
Figura 23. Pedalier <i>SHIMANO</i> de tipo cuadrado <i>BB-UN101-K</i>	24
Figura 24. Tipos de pedales para bicicleta	25
Figura 25. Frenos cantiléver de tiro central.....	26
Figura 26. Freno de disco hidráulico.....	26
Figura 27. Suspensión de aire <i>DFS</i>	27
Figura 28. Tija de sillín <i>Bontrager Elite</i>	28
Figura 29. Sillín <i>Ergon Sms Sport Gel</i>	28
Figura 30. Tipos de direcciones para bicicleta	29
Figura 31. Potencia para bicicleta de carretera.....	29
Figura 32. Manillar plano para <i>MTB</i>	30
Figura 33. Maneta de freno hidráulico <i>SHIMANO DEORE I-SPEC EV BL-M6100</i>	30
Figura 34. Maneta de cambio derecha de 8 velocidades <i>SHIMANO SL-M315-8R</i>	31
Figura 35. Puños con abrazadera de bloqueo (<i>lock - on</i>)	31
Figura 36. Teoría de energía de distorsión (ED) de estados de esfuerzo plano.....	32
Figura 37. Procedimiento general de modelado	37
Figura 38. Flujograma del ciclo de diseño en <i>SolidWorks</i> ®	38
Figura 39. Ubicación del motor eléctrico en una bicicleta.....	38
Figura 40. Estructura de una batería de plomo – ácido	40
Figura 41. Componentes de una batería de níquel-cadmio (Ni-Cd).....	42
Figura 42. Batería de Ni-MH del <i>Toyota Prius</i>	43
Figura 43. Batería Li-Ion de 40 V con autonomía de 40 Ah de la marca <i>VARTA</i>	44
Figura 44. Controlador electrónico para motor Brushless.....	44
Figura 45. Modelos de sensores <i>P.A.S.</i>	45
Figura 46. Panel de control, pantalla LCD para bicicleta eléctrica (<i>E-Bike</i>).....	45
Figura 47. Tipos de aceleradores para bicicletas eléctricas.....	46
Figura 48. Resultado de los desplazamientos en la simulación.....	51
Figura 49. Diagrama de resistencia-vida de <i>Wohler</i>	52
Figura 50. Fuerza ejercida para el cálculo a la fatiga	53
Figura 51. Fuerza aplicada en el pedal en función del ángulo de la biela	54
Figura 52. Diagrama de fuerzas para el cuadro de bicicleta.....	57
Figura 53. Esfuerzo de Von Mises para el cuadro de bicicleta	58
Figura 54. Factor de seguridad para el cuadro de bicicleta	59

Figura 55. Punto crítico del cuadro de bicicleta	60
Figura 56. Sección transversal del punto crítico	60
Figura 57. Representación de esfuerzo fluctuante sinusoidal.....	62
Figura 58. Resultado de daño en estudio a la fatiga	64
Figura 59. Resultado de vida mediante el análisis a la fatiga.....	64
Figura 60. Simulación estática con aleación de aluminio 6061	67
Figura 61. Factor de seguridad para el cuadro de aleación de aluminio 6061.....	67
Figura 62. Análisis a la fatiga - porcentaje de daño al cuadro de aleación de aluminio 6061.....	68
Figura 63. Vida del cuadro de aleación de aluminio 6061	68
Figura 64. Diagrama de flujo para el dimensionamiento del motor y selección del sistema de control eléctrico de la bicicleta.....	69
Figura 65. Diagrama de fuerzas externas sobre la bicicleta	69
Figura 66. Área frontal de la bicicleta eléctrica	71
Figura 67. Convergencia – divergencia del neumático	74
Figura 68. Diagrama del plano inclinado	74
Figura 69. Evaluación de diferentes sistemas de tracción para vehículos eléctricos.....	78
Figura 70. Motor eléctrico tipo Brushless 1 000 W marca <i>SAILI</i>	79
Figura 71. Batería de litio 48 V 13 Ah marca <i>Hailong Plus</i>	80
Figura 72. Esquema básico de conexión para el kit eléctrico de bicicleta	84
Figura 73. Cuadro de aluminio 6061 <i>Raptor Titán II</i>	85
Figura 74. Instalación de la suspensión delantera y el manubrio	85
Figura 75. Ubicación de la batería en el cuadro de la bicicleta.	86
Figura 76. Radiado de la rueda delantera y montaje del disco de freno.....	86
Figura 77. Montaje de la rueda en la horquilla de enganche trasera	87
Figura 79. Ubicación del sensor de pedaleo, disco magnético y controlador en la bicicleta	88
Figura 80. Ensamblaje de la bicicleta eléctrica	88
Figura 81. Vía de acceso al aeropuerto ciudad de Catamayo.....	92
Figura 82. Descarga de energía de la batería.....	93
Figura 83. Monitor <i>Efergy E2 classic</i>	97
Figura 84. Consumo energético con mínimo rendimiento (kWh).....	103
Figura 85. Consumo energético con máximo rendimiento (kWh)	103
Figura 86. Consumo energético por recorrido (kWh)	104
Figura 87. Consumo energético (kWh/100 km)	105
Figura 88. Emisiones de NOx por recorrido	106
Figura 89. Emisiones de CO por recorrido.....	106
Figura 90. Emisiones de CO2 por recorrido.....	107
Figura 91. Emisiones de contaminantes por recorrido	107

Figura 92. Estimación anual de emisiones de NOx.....	108
Figura 93. Estimación anual de emisiones de CO.....	108
Figura 94. Estimación anual de emisiones de CO2.....	109
Figura 95. Estimación anual de emisiones	109
Figura 96. Costos del recorrido en vehículo (USD/recorrido)	110
Figura 97. Costos del recorrido en bicicleta eléctrica (USD/recorrido)	111
Figura 98. Estimación de costos con gasolina ecopaís (USD)	111
Figura 99. Estimación de costos con gasolina súper (USD).....	112
Figura 100. Estimación de costos con tarifa residencial (USD).....	112
Figura 101. Estimación de costos con tarifa comercial (USD)	113

Índice de anexos

Anexo 1. Promedios de peso y talla en adolescentes de 12 a 19 años y adultos > 19 años.....	130
Anexo 2. Tallas y dimensiones para un modelo de bicicleta Trek.....	131
Anexo 3. Dimensiones de los tubos tirante y el tubo vertical	132
Anexo 4. Pandeo de columnas, placas y armazones	133
Anexo 5. Factores para determinar el coeficiente de seguridad en materiales dúctiles	134
Anexo 6. Selección de materiales en los mapas de Ashby.....	135
Anexo 7. Informe energético diario <i>Elink Efergy</i>	137
Anexo 8. Plano del cuadro de bicicleta.	138
Anexo 9. Diagrama de conexión del sistema eléctrico.....	139
Anexo 10. Certificación de traducción del resumen	140

1. Título

Dimensionamiento y construcción de una bicicleta eléctrica

2. Resumen

En el presente trabajo de titulación se abordaron temas como el dimensionamiento de un sistema eléctrico, selección de componentes mecánicos, selección de un marco de bicicleta, mediante los cuales se ensambló una bicicleta eléctrica.

Se recopiló información extraída de páginas web, artículos científicos, libros de mecánica, trabajos de titulación referentes a bicicletas convencionales y eléctricas con lo que fue posible instaurar un estado del arte capaz de brindar al lector una amplia perspectiva sobre la ingeniería de la bicicleta.

Se desarrollaron los fundamentos teóricos dispuestos en el estado del arte, como el proceso de selección del material adecuado para el cuadro de la bicicleta, el modelado y simulación del cuadro en el software SolidWorks®, el dimensionamiento y selección del motor eléctrico, así como también los componentes electrónicos.

Además, se llevó a cabo la selección de los componentes mecánicos de la bicicleta y posteriormente se efectuó el proceso de ensamblaje. La fase de las pruebas de funcionamiento permitió conocer el comportamiento del prototipo en distintas rutas y fue posible determinar la autonomía de la batería. Finalmente se concluyó con el análisis técnico económico del prototipo en el cual se efectuaron comparaciones entre tres medios de transporte para determinar el consumo energético, las emisiones de contaminantes y costos.

Palabras claves: Selección de materiales, motores eléctricos, baterías eléctricas, diseño estructural, pruebas de funcionamiento, consumo energético, emisiones, costos.

2.1. Abstract

In this degree work, topics such as the dimensioning of an electrical system, selection of mechanical components, selection of a bicycle frame, through which an electric bicycle was assembled, were addressed.

Information extracted from web pages, scientific articles, mechanics books, degree works referring to conventional and electric bicycles was compiled, with which it was possible to establish a state of the art capable of offering the reader a broad perspective on bicycle engineering.

The theoretical foundations provided in the state of the art were developed, such as the selection process of the appropriate material for the bicycle frame, the modeling and simulation of the frame in SolidWorks ® software, the dimensioning and selection of the electric motor, as well as the electronic components.

In addition, the selection of the mechanical components of the bicycle was carried out and subsequently the assembly process was carried out. The performance testing phase allowed knowing the behavior of the prototype on different routes and it was possible to determine the autonomy of the battery. Finally, it was concluded with the economic technical analysis of the prototype in which comparisons were made between three means of transport to determine energy consumption, pollutant emissions and costs.

Keywords: Selection of materials, electric motors, electric batteries, structural design, performance tests, energy consumption, emissions, costs

3. Introducción

El uso de la bicicleta en territorio ecuatoriano ha ido evolucionando tanto en su uso como en el significado que esta representa, desde el momento en el que fue introducida a inicios del siglo XX donde se la utilizaba para transportar correspondencia, pero con el paso del tiempo se convirtió en un instrumento recreativo debido a la inserción del automóvil. Sin embargo, debido al evidente problema que representa el abultamiento de los automotores, la bicicleta resurge como alternativa viable de transporte que cumple el rol estratégico de sensibilizar a las personas sobre los problemas de movilidad y el uso en espacios públicos. (Pinto Alvaro, Fuentes, and Alcivar 2015)

Dependiendo de las características del terreno, la distancia que se debe recorrer o inclusive la condición física del usuario, la bicicleta convencional puede resultar en una alternativa de movilidad que demanda grandes esfuerzos. Ante esto la bicicleta eléctrica reduce el esfuerzo físico generado al pedalear permitiendo alcanzar largas distancias en un menor tiempo.

En este proyecto se presenta el procedimiento para la selección del material del cuadro de la bicicleta, así como el dimensionamiento del motor de la bicicleta eléctrica y la selección de los componentes electrónicos complementarios, además se expone el proceso de ensamblaje, el desarrollo de las pruebas de funcionamiento, y se determina el análisis técnico - económico que representa el dimensionar y ensamblar una bicicleta eléctrica con componentes disponibles en el país.

3.1. Objetivos

3.1.1. *Objetivo general*

Dimensionar y ensamblar una bicicleta eléctrica.

3.1.2. *Objetivos específicos*

- Análisis y selección del cuadro de la bicicleta.
- Dimensionar el sistema eléctrico y componentes complementarios de una bicicleta eléctrica.
- Análisis técnico económico.

3.2. Antecedentes

Las bicicletas eléctricas tuvieron su origen en las mismas fechas en las que fueron creadas las primeras bicicletas convencionales, en el año 1890 se otorgaron algunas patentes para motores que serían utilizados en bicicletas eléctricas. (ECOSEED 2019)

En el año de 1895, se otorgó la patente a Ogden Bolton para una bicicleta con baterías; en 1897 en Boston, Óseas W. Libbey inventó una bicicleta eléctrica la cual era impulsada por un motor doble, ubicado en el centro del plato del eje. (ECOSEED 2019)

Para el siglo XX, la bicicleta eléctrica toma un gran protagonismo, debido a su simplicidad y economía en comparación con el transporte motorizado de aquellos tiempos, al mismo tiempo que se desencadenó la segunda guerra mundial 1940, la industria de las motocicletas creció y se aprovechó su innovación para posteriormente utilizarla en prototipos de bicicletas eléctricas. (ECOSEED 2019)

Con la crisis energética del petróleo sufrida en 1973 en Estados Unidos, se consideró que la bicicleta eléctrica representaba una alternativa limpia ante el problema del petróleo. Más tarde en 1982 Egon Gelhar, diseño y creó un prototipo de bicicleta que otorgaba ayuda mientras pedaleaba a través de la tracción de motor. Para el año 1993 la empresa japonesa Yamaha, ayudó a propagar aquel prototipo teniendo un gran éxito en las ventas. (ECOSEED 2019)

Para el año 2005, con el auge de la batería de litio, se crean diseños mejorados, para el año 2008 se registraron 1'300.000 bicicletas eléctricas vendidas y a finales del año 2012 alrededor de 40'000.000. (ECOSEED 2019)

3.3. Situación Problemática

El uso de un medio de transporte eficiente, seguro y amigable con el medio ambiente, se traduce en una mejor movilidad, descartando el congestionamiento por tráfico vehicular, el descenso en las emisiones de CO₂ por efecto de la combustión, y la reducción significativa de contaminación acústica, este tipo de transporte se direcciona al uso de bicicletas eléctricas, capaz de dar asistencia durante la movilidad.

Existen usuarios que deben recorrer una distancia demasiado corta como para ir en automóvil y demasiado larga como para ir caminando, por ello una solución amigable con el ambiente que sea segura y de fácil acceso es sin duda la bicicleta eléctrica.

El uso de una bicicleta convencional por lo general se ve reducido debido a diversos factores como: el gran esfuerzo que se requiere para alcanzar largas distancias, el cansancio que produce el pedaleo constante y las bajas velocidades. Ante esto la bicicleta eléctrica representa la solución adecuada al mejorar la comodidad durante el trayecto, alcanzar el recorrido con el menor esfuerzo posible y mantener una velocidad constante. (Huerga 2019)

Actualmente la ciudad de Loja cuenta con varias ciclovías distribuidas dentro de la urbe, sin embargo, no son tan utilizadas dado que las personas prefieren el uso del transporte público, taxi o su vehículo particular. Esta cultura se crea debido a la ineficiencia que presenta la bicicleta convencional con respecto al tiempo requerido para transportarse de un sitio a otro. Con este enfoque la bicicleta eléctrica combina la sostenibilidad con la velocidad para ofrecer una circulación eficiente, rápida y segura.

4. Marco teórico

4.1. Diseño y Dimensionamiento de Bicicletas

4.1.1. Diseño mecánico

4.1.1.1. Parámetros para el diseño mecánico de bicicletas.

1.1.1.1.1. Generalidades.

Inicialmente es preciso tener una idea de lo que es una bicicleta y cuál es el principio de funcionamiento, “la bicicleta es un vehículo de dos ruedas alineadas, unidas a una estructura dotada de mecanismos de dirección y de propulsión accionado por las piernas del ciclista.” (RUI-WAMBA 2010).

4.1.1.1.1. Partes de una bicicleta.

Básicamente las bicicletas tienen 29 partes distintas (Villanueva Cortés 2015), esto depende del fabricante, algunos de ellos suelen sofisticar la bicicleta añadiendo componentes electrónicos, accesorios para el confort del ciclista y adaptaciones para llevar carga adicional. En la Figura 1 se presentan los componentes básicos de una bicicleta estándar.



Figura 1. Partes que conforman una bicicleta estándar

Nota. Fuente: (Villanueva Cortés 2015)

4.1.1.1.2. Geometría de una bicicleta.

Es necesario tener en cuenta la geometría de la bicicleta porque de esto va a depender la categoría y el uso que se le dé a la misma. Si se consigue la talla adecuada es muy probable que no surjan problemas a la hora de montar y sacar el mejor provecho de la bicicleta.

Los fabricantes de bicicletas presentan medidas de acuerdo a los estándares a los que estén ligados, sin embargo, estos no son necesariamente iguales en todo el mundo, por ejemplo: un cuadro de bicicleta puede categorizarse con una medida de 51 cm, 54 cm o 56 cm; mientras

que para otro fabricante el mismo cuadro de bicicleta puede catalogarse como S, M o L. (Arango 2019)

Es fundamental identificar las medidas que se consideran al momento de construir o seleccionar el cuadro de una bicicleta, a continuación, se presentan las dimensiones.

4.1.1.1.3. Altura y Alcance.

La altura se mide desde el fondo de la caja de pedalier (bujes del pedal), hasta la punta del tubo direccional, para las bicicletas de resistencia la altura es mayor en comparación con las bicicletas de ruta o carretera.

El alcance se mide de forma horizontal desde la caja del pedalier (bujes del pedal), hasta el centro de la punta del tubo direccional, entre más aerodinámica sea la disciplina más largo es su alcance, esto conlleva una postura más agresiva, para una bicicleta de resistencia el alcance es corto con una posición erguida. De manera gráfica se presentan estas dimensiones en la Figura 2. (Arango 2019)



Figura 2. Altura y alcance de una bicicleta estándar
Nota. Fuente: (Arango 2019)

4.1.1.1.4. Tubo direccional.

Esta sección de la bicicleta es fundamental para identificar a qué disciplina corresponde la bicicleta, para ello se consideran dos aspectos:

- 1. El ángulo del tubo direccional:** Se refiere a la inclinación que posee respecto al terreno y será "inclinado" o "erguido". Un tubo inclinado requiere mayor esfuerzo al conducir, pero lo compensa con estabilidad en altas velocidades. Un tubo erguido es fácil de dirigir, permitiendo maniobrar terrenos complicados sin problema. Por ejemplo, una bicicleta de pista tendrá un tubo mucho más inclinado que una de Down Hill (descenso). (Arango 2019)
- 2. La longitud del tubo de dirección:** Se mide desde la cabina hasta donde comienza la horquilla. Las bicicletas con tubos más largos elevan el manubrio lo que obliga a optar

una posición erguida. Mientras que los tubos más cortos exigen una posición encorvada. (Arango 2019).

Estas dimensiones se presentan en la Figura 3.



Figura 3. Tubo direccional en una bicicleta estándar

Nota. Fuente: (Arango 2019)

4.1.1.1.5. *Inclinación y desviación de la horquilla.*

El offset (compensación) es el avance de la horquilla, es decir, la distancia hacia adelante generada por la posición del eje de la rueda delantera con respecto al eje de dirección.

El Trail (rastros) es la distancia en horizontal desde el punto de apoyo de la rueda con el suelo en la dirección del eje vertical de la rueda y la proyección de la recta que representa el eje de dirección hasta el suelo. Estas medidas se presentan en la Figura 4.



Figura 4. Offset (compensación) y Trail (rastros) de una bicicleta estándar

Nota. Fuente: (Guevara 2021b)

Un mayor Trail (rastros) es igual a un mayor control sobre el manejo esto significa que se tendrá una mayor estabilidad a gran velocidad, y por el contrario con un menor Trail se tendrá mejor maniobrabilidad. El offset (compensación) sirve para encontrar un punto de equilibrio entre estabilidad y maniobrabilidad, modificando la distancia del Trail.

4.1.1.1.6. *Tubo del asiento.*

El ángulo del tubo del asiento se mide en relación con el terreno. Una forma sencilla de conocerlo es comparándolo con una línea entre los ejes de las ruedas. El tubo del asiento no cambia tanto como los anteriores, generalmente va a ser de 71-75 grados, sin importar el tipo de bicicleta, la representación gráfica corresponde a la Figura 5. (Arango 2019)



Figura 5. Tubo del asiento de una bicicleta estándar
Nota. Fuente: (Arango 2019)

4.1.1.1.7. *Longitud de la vaina.*

Corresponde a la distancia entre la caja de pedalier (bujes del pedal) hasta el eje de la rueda trasera, Figura 6, esta medida influye en la distancia entre ejes de las ruedas y la estabilidad general de la bicicleta. Mientras más corta sea la distancia de la vaina se tendrá mayor control y mientras más grande sea la medida se logrará una mayor estabilidad.



Figura 6. Longitud de la vaina de una bicicleta estándar
Nota. Fuente: (Arango 2019)

4.1.1.1.8. *Elevación de la caja del pedalier.*

Representa la distancia vertical entre el centro del eje de pedalier (bujes del pedal) y la línea horizontal que une los ejes de las ruedas como se expone en la Figura 7, esta distancia determina el control que se tendrá en la bicicleta, mientras mayor sea esta distancia, mayor control se tendrá, debido a que el centro de gravedad estará próximo al suelo. Dependiendo del tipo de bicicleta se sitúa el pedalier (bujes del pedal), para bicicletas de montaña MTB (Mountain

Bike), la elevación del pedalier es superior mientras que para bicicletas de ruta esta distancia es inferior.



Figura 7. Altura del pedalier de una bicicleta estándar
Nota. Fuente:(Arango 2019)

4.1.1.1.9. Selección de materiales.

Cuando se presenta la rotura de una herramienta, pieza o material, generalmente es un hecho no deseado y una de las principales causas podría ser una mala selección del material. Para seleccionar un material dependiendo del tipo de componente a diseñar se debe tener una estrategia, en la literatura especializada se identifica que para el diseño de bicicletas se utiliza las herramientas ideadas por Michael Ashby, expuestas en el libro “Material Selection in Mechanical Design” (Selección de Materiales en Diseño Mecánico) (3^{ed}). (Lazcano 2021)

En este análisis para selección de materiales se consideran algunos conceptos básicos como:

4.1.1.1.10. Densidad.

“La densidad es la masa de un objeto o sustancia por unidad de volumen, e indica qué tan compacta es esa masa.” (Wilson, Buffa, and Lou 2007)

4.1.1.1.11. Módulo de Young.

El módulo de elasticidad también conocido como módulo de Young (E), es una constante de proporcionalidad que nos indica la relación existente entre el aumento de esfuerzo y el aumento de la deformación, El módulo de elasticidad es una propiedad mecánica que indica la rigidez de un material. Los materiales que son muy rígidos tienen grandes valores de E . (Hibbeler 2011)

4.1.1.1.12. Coeficiente de Poisson.

La relación de Poisson, es una propiedad del material que indica la relación de la deformación unitaria lateral y longitudinal de un elemento en tensión. (Budynas and Nisbett 2012)

4.1.1.1.13. Resistencia a la fatiga.

Consiste en la capacidad que tiene un material para resistir cargas cíclicas, esto muestra, además, la vida que puede alcanzar el material sin que se produzca rotura trabajando con régimen de cargas de alto o bajo ciclo. (Lazcano 2021)

4.1.1.1.14. Límite de tracción.

También denominado como tensión de rotura es la máxima tensión que un material puede soportar al ser sometido a fuerzas de tracción antes que la sección transversal del material se comience a contraer de manera significativa. (Areces and Noriega 2014)

4.1.1.1.15. Límite elástico.

En el diagrama esfuerzo – deformación el límite elástico se encuentra sobre el límite de proporcionalidad y corresponde al punto en el que la deformación que sufre el material deja de ser reversible, es decir: Si la probeta se carga más allá de este punto, se dice que la deformación es plástica y que el material tomará una deformación permanente cuando se retire la carga. (Budynas and Nisbett 2012)

Para seleccionar un tipo de material se utilizan los mapas de Ashby, esta metodología sugiere que hay un parámetro de rendimiento (P) que puede permitir la optimización del proceso de diseño de un componente, este parámetro de rendimiento depende principalmente de la forma, función y exigencias físicas a las cuales se encuentra sometido. (Areces and Noriega 2014)

Requisitos que debe cumplir el material a seleccionar:

- Resistente a la Torsión.
- Resistente a la Fatiga.
- Rígido.
- Baja densidad.
- Resistente a la corrosión.
- Económico.
- Resistente a impactos.

A continuación, se presentan los mapas de Ashby para la selección del material de ingeniería:

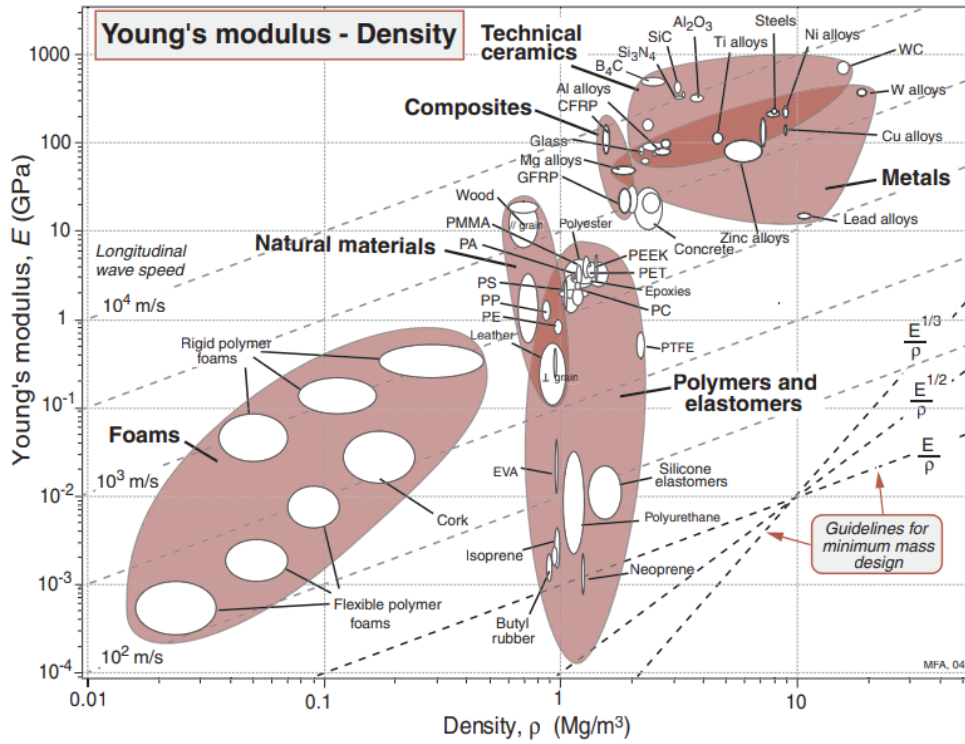


Figura 8. Gráfica del módulo de young (E) – densidad (ρ)
 Nota. Fuente: (Ashby 2005)

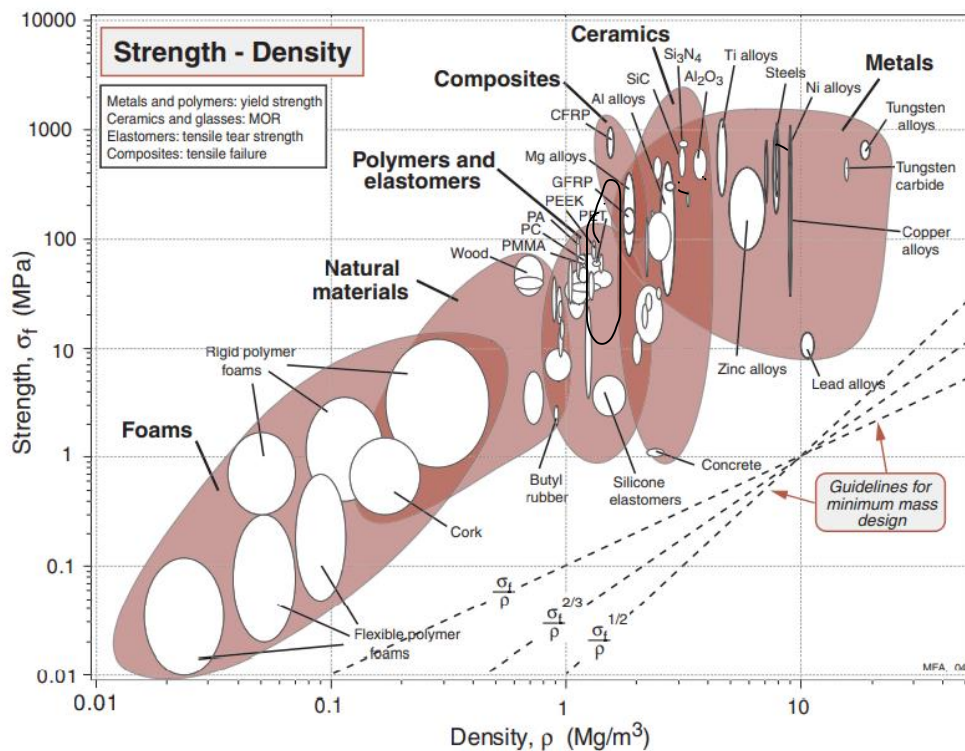


Figura 9. Gráfica del límite elástico (σ_f) – densidad (ρ)
 Nota. Fuente: (Ashby 2005)

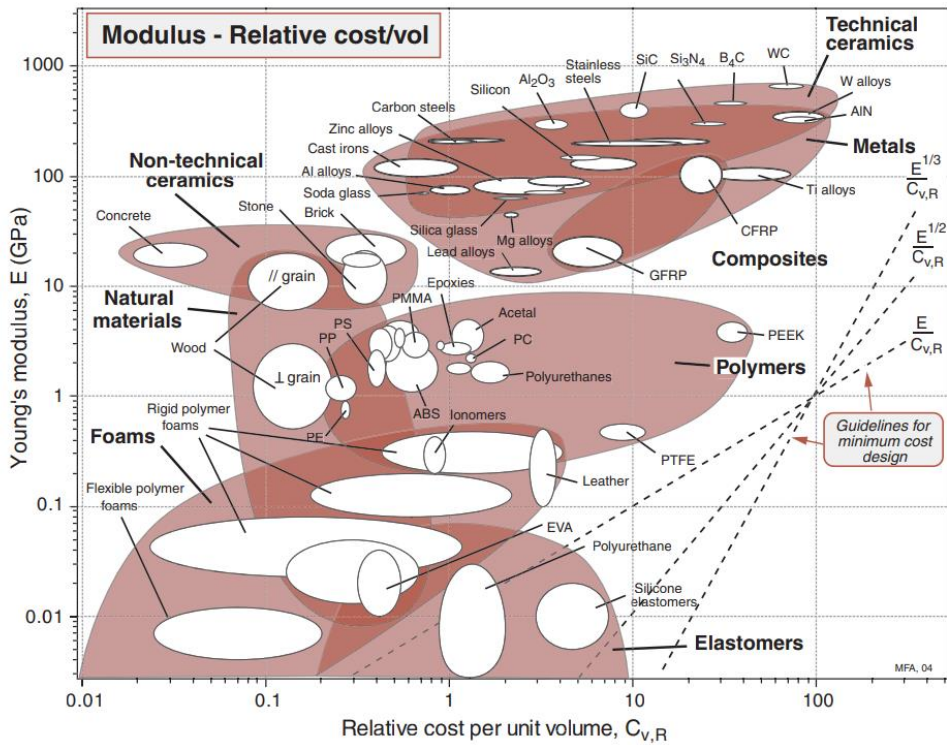


Figura 10. Gráfica del módulo de young (E) - costo relativo por unidad de volumen ($C_{v,R}$)
 Nota. Fuente: (Ashby 2005)

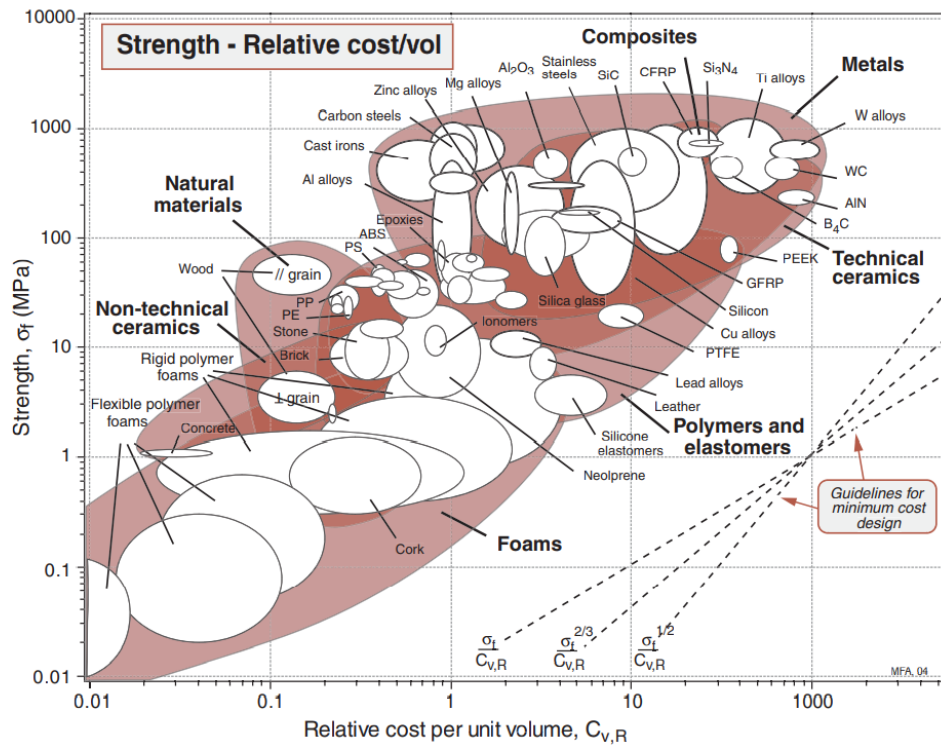


Figura 11. Gráfica del límite elástico (σ_f) - costo relativo por unidad de volumen ($C_{v,R}$)
 Nota. Fuente: (Ashby 2005)

La Figura 8 representa la relación del módulo de young sobre la densidad, $\frac{E}{\rho}$ se conoce como el módulo específico o la rigidez específica. “Esta relación es de particular interés cuando se desea minimizar el peso donde la limitación principal del diseño es la deflexión, la rigidez o la frecuencia natural en vez de la resistencia.” (Budynas and Nisbeth 2008)

Para limitar el número de materiales apropiados para el cuadro de la bicicleta se hace uso de las líneas punteadas ubicadas en el extremo inferior derecho de la Figura 8 las cuales representan distintos valores de módulo específico $\frac{E}{\rho}$.

Donde:

E = Módulo de Young (GPa)

ρ = Densidad (Mg/m³)

4.1.1.2. Parametrización de diseño.

4.1.1.2.1. Ergonomía.

Para escoger un cuadro de bicicleta es importante considerar el factor de la ergonomía, ya que si bien es cierto la bicicleta cumple la función de transportar al ciclista desde un punto hacia otro, además, el tiempo de uso que se le da a este medio de transporte es sustancial y por ello se deben dar características de confort para el usuario.

Para el diseño ergonómico se estudian las medidas antropométricas, según (Panero and Zelnik 1996), donde la antropometría es la ciencia que estudia en concreto las medidas del cuerpo, a fin de establecer diferencias en los individuos, grupos, etc.

Las dimensiones del cuerpo humano que influyen en el diseño de espacios interiores son de dos tipos esenciales: estructurales y funcionales. Las dimensiones estructurales, denominadas estadísticas, son las de la cabeza, tronco y extremidades en posiciones estándar. Las dimensiones funcionales, llamadas a veces dinámicas, tal como sugiere el término, incluye medidas tomadas en posiciones de trabajo o durante el movimiento que se asocia a ciertas actividades. (Panero and Zelnik 1996) en la Figura 12 se presentan las dimensiones.

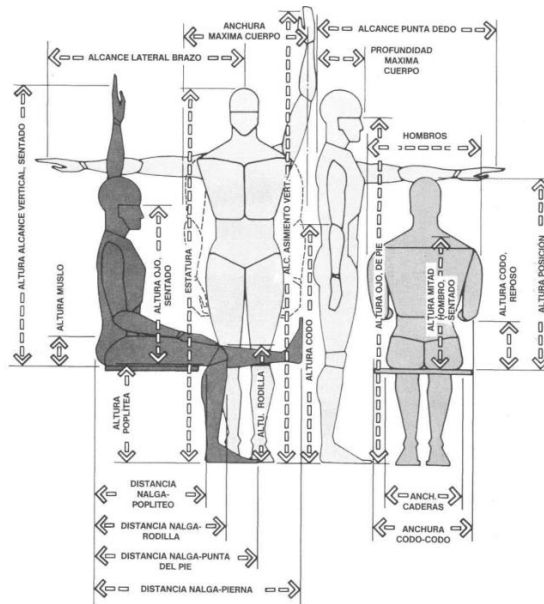


Figura 12. Dimensiones humanas de mayor uso para el diseñador de espacios interiores
 Nota. Fuente: (Panero and Zelnik 1996)

Un método para determinar cuál es la talla de bicicleta adecuada dependiendo de la antropometría del ciclista, consiste en medir la distancia entre el suelo y la entrepierna para ello se considera:

- Con los pies descalzos pararse en una superficie plana, manteniendo la parte posterior del cuerpo arrimada a una pared.
- La distancia entre los pies no debe ser mayor al ancho de los hombros.
- Con la ayuda de un libro o un objeto rectangular, lo ubicamos entre las piernas de manera que se tenga una referencia horizontal recta para tomar la medida.
- Con una cinta métrica o un flexómetro medir la distancia existente entre el piso y la entrepierna.

Con el valor medido se pueden obtener ciertos datos utilizando las relaciones presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Medidas para el diseño de una bicicleta.

Talla del cuadro	Distancia suelo – entrepierna x 0,61 (cm)
Altura correcta del sillín	Distancia suelo – entrepierna x 0,885 (cm)
Distancia Planos sillín – manillar	Entre 5 y 11 cm
Distancia punta sillín – manillar	Distancia suelo – entrepierna x 0,66 cm
Longitud de las bielas	Estándar: 175 (mm). Competición: hasta 185 (mm).

Nota. Fuente: (González Sánchez 2018)

Otro método para conocer la talla de bicicleta, es considerando únicamente la estatura del ciclista, esto según algunos fabricantes de bicicletas como GIANT, Trek, SPECIALIZED. Las dimensiones de algunos modelos de bicicletas se encuentran en el Anexo 2.

Para el modelado de un cuadro de bicicleta según la normativa UCI (Unión Ciclista Internacional), se establecen medidas que deben ser consideradas, esto en el ámbito competitivo, para lo cual se presenta la Figura 13 con una serie de códigos cuyos significados se detallan en la Tabla 2.

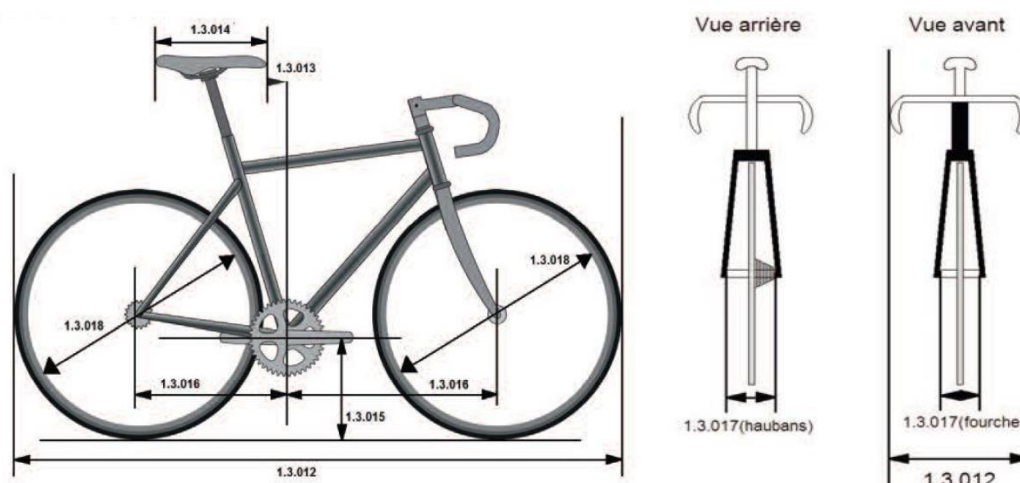


Figura 13. Medidas generales de una bicicleta de competición.
Nota. Fuente: (UCI 2020)

Los rangos de valores que se exponen en la Tabla 2 son aprobados por la normativa UCI (Unión Ciclista Internacional).

Tabla 2. Dimensiones generales para una bicicleta de competición.

Código	Detalle	Descripción
1.3.012	Volumen	<185 cm de longitud; < 50 cm de ancho
1.3.013	Punta del Sillín	Situarse como mínimo 5 cm detrás de la vertical que pasa por el eje de pedalier.
1.3.014	Ángulo del sillín	Dentro del rango $-9^\circ < X < 9^\circ$
1.3.015	Eje de pedalier	La distancia entre el suelo y el eje de pedalier estará en el rango $24 \text{ cm} < X < 30 \text{ cm}$.
1.3.016	Distancia entre ejes	Entre el eje de pedalier y eje de la rueda delantera la distancia estará $54 \text{ cm} < X < 65 \text{ cm}$. Entre el eje de pedalier y el eje de la rueda trasera la distancia estará $35 \text{ cm} < X < 50 \text{ cm}$.
1.3.017	Ancho de horquillas	Distancia interior de horquilla delantera <11.5 cm Distancia interior de horquilla trasera <14.5 cm
1.3.018	Diámetro de las ruedas	Estará en el rango $55 \text{ cm} < X < 70 \text{ cm}$.

Nota. Fuente: (UCI 2020)

4.1.1.3.Elementos estandarizados.

Al momento de ensamblar una bicicleta se eligen los componentes estandarizados que se adapten a los requerimientos del fabricante o del ciclista. En este apartado se detalla las funciones que cumplen cada uno de ellos y su representación gráfica.

4.1.1.3.1. Aro.

También llamado rin, es la pieza circular generalmente fabricada de aluminio, acero o fibra de carbono que se conecta a la manzana mediante los rayos. Brinda el soporte en las dos ruedas de la bicicleta y su dimensión está ligada a la talla de la bicicleta. (Guevara 2021a)

Para identificar los diferentes tipos de aros disponibles en el mercado existen nomenclaturas. En la nomenclatura imperial o inglesa se utiliza las pulgadas de la cubierta para distinguir los aros por ejemplo (29”), se utilizan únicamente para aros de bicicleta de montaña.

En la nomenclatura Francesa se distinguen los aros para bicicletas de carretera o urbanas utilizando los milímetros como unidad de medida, por ejemplo 700C; en donde 700 equivale a la medida del diámetro exterior del neumático en mm y la letra C indica que el diámetro interior de este neumático es de 622 mm. (Guevara 2021a)

Además existe el sistema estandarizado ETRTO por sus siglas en inglés (Organización Técnica Europea de Neumáticos y Llantas), que establecen medidas precisas para todo tipo de aro, utilizan los milímetros como unidad de medida que representan básicamente el diámetro interior del aro, por ejemplo 622mm. (Guevara 2021a)

Las medidas de los aros están disponibles para los diferentes tipos de cubiertas de bicicletas, por ejemplo, para bicicletas de montaña se utilizan aros con diámetros para cubiertas de: 29” (622 mm), de 27,5” (548 mm) y con menor frecuencia de 26” (559 mm) con anchos desde 19 mm a 40 mm. Para bicicletas de ruta se ocupan rines de 700C (622 mm), de 650C (571mm) y anchos que van desde los 13mm a los 25 mm.(Guevara 2021a)

En la Figura 14: a) Se presenta un tipo de aro de bicicleta de montaña MTB modelo WTB KOM fabricado de aleación de aluminio. b) Aro para bicicleta de ruta modelo DT SWISS R460 fabricado de aleación de aluminio para uso con frenos de aro.



Figura 14. Ejemplos de aro para bicicleta
 Nota. Fuente: (Guevara 2021a)

4.1.1.3.2. Masas.

Este componente se ubica en la parte central de la rueda de la bicicleta, se conecta con el rin mediante los rayos y con un par de rodamientos que permiten que la rueda gire libremente. Estas masas son específicas, no se pueden intercambiar la masa delantera con la trasera debido a la complejidad que presenta la masa trasera con respecto a la delantera. (BiCiCLUB 2020)

Al igual que otros componentes, existen masas para bicicletas de montaña y de carretera, dependiendo de la gama y la marca las dimensiones de los ejes puede variar, por ejemplo, en una manzana de gama baja, la masa delantera tiene un eje hueco de 9 mm y un eje de cierre de 5 mm, mientras que una masa de gama alta ocupa un eje pasante de 12, 15 y 20 mm para garantizar rigidez y seguridad. (BiCiCLUB 2020)

En la Figura 15 se presenta una masa trasera SHIMANO FH-M9010 para MTB con capacidad para 32 radios.



Figura 15. Masa trasera SHIMANO modelo FH-M9010 para MTB
 Fuente: (SHIMANO 2021f)

4.1.1.3.3. Neumáticos.

Las llantas o cubiertas son la parte exterior de la rueda y son aquellas que están en contacto con el suelo, se fabrican principalmente de goma y su misión es propiciar de agarre.

Si el terreno es la carretera, éstas serán lisas, mientras que para montaña tendrán tacos o surcos. (BikeAnslitics n.d.)

En la Figura 16 se expone los tipos de cubiertas para diferentes terrenos, de goma con superficie lisa ocupados en bicicletas de carretera, y con tacos o surcos para ciclismo de montaña.



Figura 16. Neumáticos para bicicleta de carretera y de montaña
Nota. Fuente: (BikeAnslitics n.d.)

Actualmente existen en el mercado las cubiertas “Tubeless” (sin cámara), es decir, no contienen un tubo o cámara de aire, sino que son especializadas para mantener el aire a presiones medias y bajas, el costo es elevado en comparación con las cubiertas convencionales.

4.1.1.3.4. Cámara de aire.

Es un elemento que se ubica entre la cubierta y la llanta, están fabricadas principalmente de butilo o látex Figura 17, su función es proporcionar la presión necesaria para que las ruedas soporten el peso del ciclista y de la bicicleta en sí. (BikeAnslitics n.d.)



Figura 17. Cámara de aire para MTB
Nota. Fuente:(BikeAnslitics n.d.)

4.1.1.3.5. Transmisión.

El sistema de transmisión en la bicicleta se encarga de mover de forma sincrónica los platos y piñones mediante la cadena de transmisión que es accionada por los pedales bajo la acción de las piernas del ciclista. (TodoMountainBike 2017)

4.1.1.3.6. Cassete trasero.

Corresponde al grupo de engranes que pueden estar constituidos desde 7 hasta 12 piñones con una configuración de dientes propia de cada fabricante, por ejemplo, en la Figura 18 se presenta el modelo CS-M980 11-36T del grupo SHIMANO XRT es un cassette de 12 velocidades en donde el piñón más pequeño tiene 11 dientes mientras que el piñón más grande tiene 36 dientes. La configuración completa es 11-13-15-17-19-21-24-28-32-36T.



Figura 18. Cassete *SHIMANO XRT M980 11-36T 12 velocidades*
Nota. Fuente: (*SHIMANO 2021d*)

4.1.1.3.7. Juego de platos.

Corresponde al grupo de piñones que generalmente son de 3,2 o 1 plato, en algunos modelos el plato viene en conjunto con las bielas, para seleccionar el plato que se va a utilizar se dispone de un desviador accionado por un shifter. La función principal del juego de platos en el eje de pedalier es proporcionar de una configuración cómoda al momento de pedalear. En la Figura 19 se presenta un modelo de plato delantero SHIMANO XRT-HOLLOWTECH II con bielas MTB de 2 x 12 velocidades con una combinación de dientes 38-28D.



Figura 19. Juego de bielas *SHIMANO XTR HOLLOWTECH II MTB 2X12 velocidades*
Nota. Fuente: (SHIMANO 2021g)

4.1.1.3.8. Desviador delantero.

Este componente fue concebido a principios de la década de 1900, la función principal es mover la cadena entre los platos, para bicicletas de carretera la función es bastante simple mientras que para modelos MTB se han adaptado múltiples montajes según el diseño del cuadro. Lo ideal es seleccionar un desviador del mismo modelo de los platos, sin embargo, se pueden adaptar otras marcas siempre y cuando cumplan con el número de desviaciones posibles. (Bicicleta Ciclismo 2022)

Por ejemplo, en la Figura 20 se presenta un desviador compatible con los platos delanteros, el modelo es SHIMANO XRT SIDE SWING de 2x12 velocidades.



Figura 20. Desviador *SHIMANO XRT SIDE SWING de 2 x 12 velocidades*
Nota. Fuente: (SHIMANO 2021e)

4.1.1.3.9. Desviador trasero.

El desviador trasero o comúnmente llamado pata de cambios es un accesorio que trabaja de manera similar al desviador delantero. Este componente cumple con dos funciones

principales, cambiar la cadena de piñón y mantener la cadena tensionada al momento de la transición de un piñón grande a uno más pequeño. (Ramírez Meza 2021)

Para modelos de bicicleta MTB comúnmente se utilizan desviadores de caja larga, es decir la distancia entre las poleas es mayor para mantener tensionada la cadena, en la Figura 21 se presenta un cambio SHIMANO XTR de caja larga y 12 velocidades.



Figura 21. Desviador trasero *SHIMANO XTR* caja larga de 12 velocidades
Nota. Fuente: (*SHIMANO 2021h*)

4.1.1.3.10. Cadena.

Es el elemento encargado de transmitir la potencia de tracción entre los pedales y la rueda posterior, están hechas de acero al carbono o aleaciones, el paso estándar es de 1/2 pulgada. En la Figura 22 se aprecia una cadena SHIMANO XTR- 12 velocidades – HYPERGLIDE.



Figura 22. Cadena de MTB de 12 velocidades XTR
Nota. Fuente:(*SHIMANO 2021c*)

4.1.1.3.11. Eje de centro o pedalier.

También conocido como “Bottom Bracket” (BB), se conforma por un eje sólido, rodamientos y una carcasa que se une a las bielas, la función principal es permitir que los pedales transmitan de forma sincronizada la potencia a la cadena. Se ubica en la intersección

del tubo vertical, el tubo horizontal y las vainas inferiores, en un tubo denominado caja del pedalier. (Castillo 2021)

Existen varios tipos de ejes de centro, se pueden clasificar como: eje de centro con rosca, caja de pedalier roscada, ejes sin rosca. Dependiendo del cuadro de la bicicleta se pueden adaptar los distintos tipos de ejes. En la Figura 23 se presenta un eje de pedalier cuadrado SHIMANO para MTB con un paso de rosca BC 1.37 x 24.



Figura 23. Pedalier SHIMANO de tipo cuadrado BB-UN101-K

Nota. Fuente: (SHIMANO 2021a)

4.1.1.3.12. Pedales.

Los pedales son una parte imprescindible de la bicicleta, en estos elementos el ciclista conecta directamente la energía de sus piernas a la bicicleta para darle movimiento y velocidad. Dependiendo del tipo de ciclismo existen diferentes tipos de pedales. (tuttobike 2021)

- Pedales planos – son los más simples, funcionan con apoyar directamente el pie sirven tanto para montaña como para carretera.
- Pedales automáticos – están hechos para fusionar el calzado con la bicicleta, se ajustan mediante unos “cleats” (tacos) y sirven principalmente para carretera.
- Pedales mixtos – tienen doble cara, es decir por un lado cuentan con el mecanismo de pedales automáticos y por el otro se puede utilizar cualquier zapatilla. Sirven tanto para montaña como para carretera.

En la Figura 24 se presenta la tipología de pedales para bicicleta.



Figura 24. Tipos de pedales para bicicleta

Nota. Fuente: (tuttobike 2021)

4.1.1.3.13. *Sistemas de freno.*

El sistema de freno es fundamental para mantener el control y se consideran como las piezas más importantes porque permiten reducir la velocidad y alcanzar un grado efectivo de seguridad para el ciclista en cualquier tipo de terreno. Los sistemas de freno se dividen en dos grandes categorías los frenos de aro y los frenos de buje. (MundoBici 2019)

4.1.1.3.14. *Frenos de aro o llanta.*

Corresponde al sistema de freno tradicional que consiste en aplicar la fuerza de frenado en las caras laterales del aro de la llanta, suelen escogerse este tipo de frenos porque son económicos, sencillos, disipan el calor, no generan grandes esfuerzos y no causan mucha tensión a la horquilla (MundoBici 2019), existen tres sistemas que cumplen las características:

- Caliper de tiro lateral de pivote sencillo.
- Caliper de tiro lateral de pivote dual.
- Caliper de tiro central. (2019)

En la Figura 25 se presenta un tipo de frenos cantiléver de tiro central.



Figura 25. Frenos cantiléver de tiro central

Nota. Fuente: (MundoBici 2019)

4.1.1.3.15. Frenos de masa.

Este tipo de frenos se encargan de aplicar la fuerza de frenado directamente en la masa o el buje de la rueda. Existen algunos modelos, a continuación se describen los más comunes: (MundoBici 2019)

- Freno de tambor.
- Freno a contrapedal.
- Freno de disco.

Como ejemplo se aprecia en la Figura 26 un modelo de freno de disco hidráulico.



Figura 26. Freno de disco hidráulico

Nota. Fuente: (MundoBici 2019)

4.1.1.3.16. Suspensión.

Corresponde al sistema utilizado para amortiguar al ciclista y a la bicicleta en general con la finalidad de protegerlos de la irregularidad del terreno sobre el que se desplazan. Actualmente existen sistema de suspensión completa y suspensión únicamente delantera.

Existen tres tipos de horquillas para suspensión delantera: suspensión de muelle, de aire y rígidas, en las dos primeras se ocupa aceite para accionar la amortiguación.(Vargas 2019)

- Horquillas de muelle – son económicas se venden principalmente en bicicletas de gama media y baja tienen un peso elevado lo que dificulta un poco la maniobrabilidad.
- Horquillas de aire – tienen la tecnología más avanzada, son livianas y se adaptan mejor al ciclista, además, son bastante costosas y conllevan de un mantenimiento especializado.
- Horquillas rígidas – son ligeras, no asisten con la amortiguación, en trayectorias largas resultan un poco incómodas.

En la Figura 27 se presenta una suspensión delantera de aire con telescopio 32 mm marca DFS.



Figura 27. Suspensión de aire DFS
 Nota. Fuente: (Vargas 2019)

4.1.1.3.17. Tija del sillín.

Es un tubo cilíndrico que conecta el asiento con el cuadro de la bicicleta, se fabrican principalmente de carbono, aluminio, titanio y aleaciones. El diámetro de este tubo varía desde los 21 mm hasta los 32 mm, actualmente existen tijas telescópicas, es decir su altura puede ser ajustada según la posición más confortable para el ciclista. (Sprinter 2022)

En la Figura 28 se aprecia una tija de sillín Bontrager Elite construida con aleación 2014 adaptable para bicicletas de montaña y carretera.



Figura 28. Tija de sillín *Bontrager Elite*
Nota. Fuente: (Trek Bikes 2021a)

4.1.1.3.18. Sillín.

Es el componente donde se asienta la mayor parte del peso del ciclista, dependiendo del tipo de bicicleta las características del sillín varían, por ejemplo, cuando la bicicleta es de paseo o montaña el sillín será más acolchado y voluminoso, por otro lado, al tratarse de bicicleta de carretera se tiene un sillín delgado y ligero para ganar aerodinamismo. (Sánchez 2022)

En la Figura 29 se presenta un sillín Ergon Smc Sport Gel construido con microfibra y acolchada de espuma ortopédica.



Figura 29. Sillín *Ergon Smc Sport Gel*
Nota. Fuente: (Amazon 2022)

4.1.1.3.19. Dirección.

Es un componente que se ubica entre el cuadro y la horquilla, tiene la función de que la rueda delantera gire correctamente y con suavidad, existen algunas medidas del diámetro, sin embargo, la más común es de 1 1/8". Se clasifican en dos grupos de direcciones las roscadas y las "ahead" (adelante).

Las direcciones roscadas se utilizan en bicicletas de niños o de gama baja, tienen un modelo estandarizado y actualmente casi están en desuso, mientras que las direcciones ahead tienen las paredes exteriores lisas y van embutidas en el tubo direccional del cuadro de la bicicleta, en este grupo se encuentran las direcciones integradas, semiintegradas y las convencionales tal como se presentan en la Figura 30 . (emeb 2015)



Figura 30. Tipos de direcciones para bicicleta
 Nota. Fuente: (emeb 2015)

4.1.1.3.20. **Potencia.**

La potencia es un componente determinante en varios aspectos, influye en la comodidad del ciclista, es decir, en la posición de la espalda y la maniobrabilidad. Este elemento une la horquilla de dirección con el manillar o timón tal como se presenta en la Figura 31 , las medidas más comunes son de 1 1/8” (28,6 mm) para el tubo de la horquilla, y de 31,8 mm para el manillar. (Valero 2020)



Figura 31. Potencia para bicicleta de carretera
 Nota. Fuente: (Valero 2020)

4.1.1.3.21. **Manubrio.**

Este componente aporta a la comodidad y precisión en la conducción, debe ser resistente a los golpes, por otro lado, soporta una parte de peso del ciclista. Generalmente los estándares de los manubrios consisten en: el diámetro del manillar está entre 25,4 mm ; 31,8 mm o 35 mm. La forma del manillar puede ser plano o con elevación, con ángulo hacia atrás o hacia arriba.

El ancho del manillar está entre 560 mm y 860 mm. El manubrio está fabricado principalmente de aluminio, carbono y titanio. (Bikeshop 2022)

En la Figura 32 se presenta un modelo de manubrio para bicicleta de montaña MTB.



Figura 32. Manillar plano para *MTB*
Nota. Fuente: (Valero 2016)

4.1.1.3.22. Manetas de freno.

Son equipos móviles que se encargan de accionar los frenos de la bicicleta, se ubican en el manillar, la maneta izquierda acciona el freno delantero mientras que la derecha acciona el freno trasero. (Sánchez 2022)

Dependiendo del tipo de frenos que contenga la bicicleta, estas manetas pueden accionar la función mediante un cable trenzado de acero o mediante aceite mineral, en la Figura 33 se presenta una maneta de freno hidráulico SHIMANO DEORE I-SPEC EV modelo BL-M6100.



Figura 33. Maneta de freno hidráulico *SHIMANO DEORE I-SPEC EV BL-M6100*
Nota. Fuente: (SHIMANO 2021b)

4.1.1.3.23. Maneta de cambio.

Este mecanismo móvil permite modificar la marcha con la posición de la cadena en los platos y piñones de la bicicleta. Se ubican en el manillar al igual que las manetas de freno, la parte izquierda se encarga de variar la posición en los platos mientras que la derecha cambia las marchas en el piñón trasero. (Sánchez 2022)

Las manetas de cambio tradicionales como la presentada en la Figura 34 funcionan mediante cable trenzado de acero, actualmente existen modelos electrónicos que tienen una

batería recargable y se accionan directamente desde el manillar con el uso de botones sin la necesidad del esfuerzo mecánico por cable trenzado.



Figura 34. Maneta de cambio derecha de 8 velocidades *SHIMANO SL-M315-8R*
Nota. Fuente: (*SHIMANO 2021i*)

4.1.1.3.24. Puños.

Es un componente que va ubicado en los extremos del manubrio, cumple la función de generar un área confortable y segura para que el ciclista apoye sus manos y pueda maniobrar la dirección. Están fabricados de hule o plástico, piel, corcho o de algodón; existen varios modelos de entre los cuales se destacan los tradicionales, ergonómicos y con abrazadera de bloqueo, así como se presenta en la Figura 35. (Meza Ramírez 2022)



Figura 35. Puños con abrazadera de bloqueo (*lock-on*)
Nota. Fuente: (*Meza Ramírez 2022*)

4.1.1.4. Análisis estructural.

El análisis estructural para el cuadro de la bicicleta eléctrica está orientado a las fallas por carga estática y fallas a la fatiga por cargas dinámicas.

4.1.1.4.1. Análisis estático.

Si se tuviera un caso de simple tensión σ , entonces la fluencia podría ocurrir cuando $\sigma \geq S_y$. Por lo tanto, se considera como un esfuerzo simple, equivalente o efectivo. Este es el esfuerzo de von Mises σ' , así la ecuación de la fluencia puede escribirse como Ec. (1): (Budynas and Nisbett 2012)

$$\sigma' = S_y \quad \text{Ec. (1)}$$

Y el esfuerzo de von Mises se representa en la Ec. (2):

$$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_4)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. (2)}$$

En donde:

σ' : Esfuerzo de Von Mises.

S_y : Resistencia a la Fluencia.

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: Esfuerzos normales o principales máximos.

Para un esfuerzo plano, sean σ_A y σ_B los dos esfuerzos principales diferentes de cero entonces de la Ec. (2), se obtiene:

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A \sigma_B + \sigma_B^2)^{1/2} \quad \text{Ec. (3)}$$

En base a la Ec. (3), se representa la Figura 36 de la elipse para la energía de la distorsión, está situada en función de los esfuerzos σ_A y σ_B ubicados en los ejes (x , y).

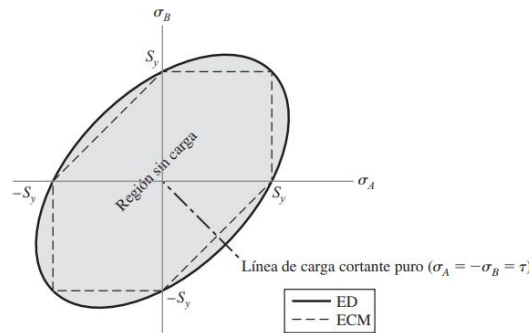


Figura 36. Teoría de energía de distorsión (ED) de estados de esfuerzo plano.

Nota. Fuente: (Budynas and Nisbett 2012)

Donde:

ED: Energía de distorsión.

ECM: Esfuerzo cortante máximo.

En síntesis, una situación de esfuerzo complejo puede representarse por medio de un solo valor, el esfuerzo de von Mises, a través de la Ec. (4):

$$\sigma' = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ec. (4)}$$

En donde:

S_y : Límite de fluencia del material.

n : Factor de seguridad.

σ' : Esfuerzo máximo de Von Mises.

En cuanto al factor de seguridad según (Budynas and Nisbett 2012), establece lo siguiente:

$$\begin{aligned}n &= 1 \rightarrow \sigma' = S_y \text{ (falla)} \\n &< 1 \rightarrow \sigma' > S_y \text{ (falla)} \\n &> 1 \rightarrow \sigma' < S_y \text{ (no excluye la falla)}\end{aligned}$$

Donde n es el factor de seguridad.

4.1.1.4.2. *Análisis a la fatiga.*

El análisis a la fatiga consiste en realizar ensayos de resistencia del material, el cual se prepara con mucho cuidado bajo condiciones controladas dentro de un laboratorio. El resultado del análisis va a depender básicamente de los siguientes aspectos:

- Material: composición, base de falla, variabilidad.
- Manufactura: Método, tratamiento térmico, corrosión superficial por frotamiento, acabado superficial.
- Entorno: temperatura, estado de los esfuerzos, tiempo de relajación.
- Diseño: tamaño, forma, vida, concentración de esfuerzos, velocidad, rozamiento. (Budynas and Nisbett 2012)

Sin embargo, cuando no se cuenta con un laboratorio, se utiliza la ecuación de Marin (“Joseph Marin fue uno de los pioneros en el acopio, desarrollo y divulgación del material sobre la falla de elementos de ingeniería”) (Budynas and Nisbett 2012), la cual identifica una serie de factores que cuantifican los efectos de la condición superficial, el tamaño de la carga, la temperatura entre otros. La Ec. (5) representa la ecuación de Marin y se muestra a continuación:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S'_e \quad \text{Ec. (5)}$$

En donde:

k_a = factor de modificación por la condición superficial.

k_b = factor de modificación por el tamaño.

k_c = factor de modificación por la carga.

k_d = factor de modificación por la temperatura.

k_e = factor de confiabilidad.

k_f = factor de modificación por efectos varios.

S'_e = límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

S_e = límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso. (Budynas and Nisbett 2012)

4.1.1.4.3. Factor de superficie k_a .

El factor de superficie depende de la calidad de acabado superficial que posea el material, se lo obtiene mediante la Ec. (6):

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b \quad \text{Ec. (6)}$$

En donde:

El valor de a corresponde a la mínima resistencia a la tensión y el valor de b es el exponente, estos datos se presentan en la Tabla 3:

Tabla 3. Parámetros en el factor de condición superficial de *Marin*

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} Kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1,34	1,58	-0,085
Maquinado o laminado en frío	2,70	4,51	-0,265
Laminado en caliente	14,4	57,7	-0,718
Como sale de la forja	39,9	272	-0,995

Nota. Fuente: (Budynas and Nisbett 2012)

4.1.1.4.4. Factor de tamaño k_b .

Para determinar el factor k_b se considera la Ec. (7) misma que ha sido obtenida de un análisis para un conjunto de puntos dados, los resultados para la flexión y torsión para un tubo hueco de diámetro d puede expresarse según (Budynas and Nisbett 2012) como:

$$\begin{cases} (d/0,3)^{-0,107} = 0,879d^{-0,107} & 0,11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0,91d^{-0,157} & 2 \leq d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7,62)^{-0,107} = 1,24d^{-0,107} & 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1,51d^{-0,157} & 51 \leq d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad \text{Ec. (7)}$$

4.1.1.4.5. Factor de modificación por la carga k_c .

Para estructuras que están sometidas a esfuerzos de flexión rotatoria, axial y de torsión se especifican ciertos valores medios del factor de carga según (Budynas and Nisbett 2012) como se presenta en la Ec. (8) :

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0,85 & \text{axial} \\ 0,59 & \text{torsión} \end{cases} \quad \text{Ec. (8)}$$

4.1.1.4.6. Factor de temperatura k_d .

Este factor se basa en el principio de que a temperaturas bajas un material puede sufrir la fractura frágil, mientras que a temperaturas elevadas el límite de resistencia a la fatiga disminuye y se compara con el comportamiento de la resistencia a la tensión. Por ello es importante conocer la temperatura de trabajo a la que estará sometido el material, según

(Budynas and Nisbett 2012) establece la Ec. (9) que nos permite calcular el factor de temperatura.

$$k_d = 0,975 + 0,432(10^{-3})T_F - 0,115(10^{-5})T_F^2 + 0,104(10^{-8})T_F^3 - 0,595(10^{-12})T_F^4 \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

T_F = Temperatura ambiente

4.1.1.4.7. **Factor de confiabilidad k_e .**

El diseñador determinará el valor de confiabilidad según su convicción, este factor de confiabilidad puede escribirse según (Budynas and Nisbett 2012) como:

$$k_e = 1 - 0,08z_a \quad \text{Ec. (10)}$$

En donde z_a viene definido en la

Tabla 4 para los diferentes valores de confiabilidad.

Tabla 4. Factores de confiabilidad k_e

Confiabilidad %	Variación de transformación	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1
90	1,288	0,897
95	1,645	0,868
99	2,326	0,814
99,9	3,091	0,753
99,99	3,719	0,702
99,999	4,265	0,659
99,9999	4,753	0,620

Nota. Fuente: (Budynas and Nisbett 2012)

4.1.1.4.8. **Factor de efectos varios k_f .**

El propósito del factor k_f es tomar en cuenta la reducción del límite de resistencia a la fatiga que es causada por varios efectos, sin embargo, este factor es más bien un recordatorio de que se deben tomar en cuenta dichos efectos, ya que por lo general no siempre se cuenta con los suficientes datos para obtener un valor de k_f . (Budynas and Nisbett 2012)

4.1.1.5. **Modelación y simulación.**

4.1.1.5.1. **Software SolidWorks®.**

SolidWorks ® es un software de automatización de diseño. En SolidWorks ®, se realizan croquis de ideas y se experimenta con distintos diseños para crear modelos 3D mediante la interfaz gráfica de usuario Windows®. Esta herramienta es utilizada por

estudiantes, diseñadores, analistas, ingenieros y demás profesionales para generar piezas sencillas y complejas, ensamblajes y dibujos. (Dassault Systèmes SolidWorks 2010)

4.1.1.5.2. Modelación.

El proceso de modelación comienza con dibujos que generalmente se realizan mediante un croquis 2D, al desarrollar modelos en SolidWorks ® se crean croquis de entidades geométricas (como rectángulos y círculos), y posteriormente se agregan cotas exactas.

Para crear piezas se aplican operaciones al croquis 2D, algunas de estas operaciones son:

- **Extruir:** crea una operación por medio de una extrusión de un objeto en 3D a partir de un croquis en 2D, básicamente agregando la tercera dimensión. Una extrusión puede ser una base (en cuyo caso siempre agrega material), un saliente (que agrega material, a menudo a otra extrusión) o un corte (que elimina material).
- **Revolución:** crea una operación que añade o elimina material por medio de una revolución de uno o más perfiles de croquis alrededor de una línea constructiva. La operación puede ser un sólido, una operación lámina o una superficie.
- **Recubrir:** crea una operación agregando transiciones entre perfiles. Un recubrimiento puede ser una base, un saliente, un corte o una superficie.
- **Barrer:** crea una base, un saliente, un corte o una superficie por medio del desplazamiento de un perfil (sección) a lo largo de una ruta.
- **Contorno:** crea operaciones precisas de muy alta calidad que resultan útiles para crear formas complejas para los mercados de diseño de productos de consumo, médico, aeroespacial y de moldes. Un contorno puede ser una base, un saliente, un corte o una superficie.(DASSAULT SYSTEMES 2021) Este procedimiento se lo expone en la Figura 37.

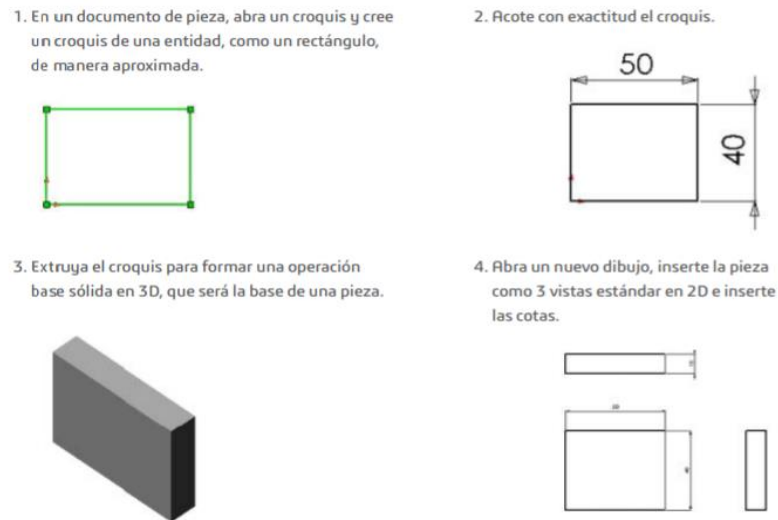


Figura 37. Procedimiento general de modelado
 Nota. Fuente: (DASSAULT SYSTEMES 2021)

4.1.1.5.3. Simulación.

SolidWorks Simulation (simulación) es una herramienta de análisis estructural para diseñadores incorporada a SolidWorks®. Mediante este software es posible analizar el modelo sólido directamente, así como se puede configurar las unidades, el tipo de material, las cargas externas, etc. mediante un estudio. Puede realizar los cambios en el modelo sólido y actualizar el resultado del análisis estructural. (Dassault Systèmes SolidWorks 2010)

El proceso de simulación de una estructura consiste en sí en realizar un análisis estructural, en el software se efectúan los siguientes procedimientos:

- **Preprocesamiento:** Se agregará la información necesaria acerca de la estructura y el entorno en el que se encuentra. Esto incluye materiales, sujeciones y cargas externas aplicadas a la estructura.
- **Análisis:** El modelo se descompone en pequeñas piezas llamadas elementos mediante un proceso llamado mallado.
- **Posprocesamiento:** El resultado se presenta gráficamente con el objetivo de identificar las áreas críticas de la estructura.

Cuando se concluyen estos procesos se puede guardar el modelo y los resultados de la simulación, esto permitirá realizar otra simulación de forma rápida. (Dassault Systèmes SolidWorks 2010)

Por lo general se suele utilizar un ciclo de diseño, con la finalidad de efectuar cambios de ser necesario, sea este de tipo geométrico como la longitud de las vigas, o cambios de información como el material, sujeciones o la carga aplicada. Según (Dassault Systèmes SolidWorks 2010) se puede seguir el siguiente flujograma presentado en la Figura 38.

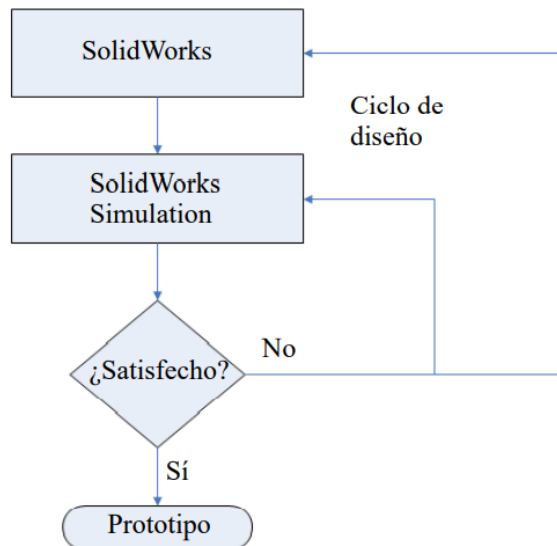


Figura 38. Flujograma del ciclo de diseño en *SolidWorks* ®
 Nota. Fuente: (DASSAULT SYSTEMES 2021)

4.1.2. Componente eléctrico y electrónico

4.1.2.1. Motor eléctrico para bicicletas.

La función del motor eléctrico es transformar la energía eléctrica recibida de la batería en movimiento con la ayuda del controlador de potencia.

Dependiendo del posicionamiento del motor eléctrico en la bicicleta, se considera las siguientes configuraciones:

- **Motor eléctrico ubicado en el buje de la rueda:** Esta configuración es la más utilizada actualmente, el motor puede ir ubicado en el buje de la rueda delantera como en el buje de la rueda trasera.
- **Motor eléctrico ubicado en el eje de pedalier:** Es una alternativa distinta, trata de maximizar la confiabilidad, confort y sencillez de uso, aunque su sistema es más complejo y por tanto mucho más costoso.

En la Figura 39 se presenta el posicionamiento del motor eléctrico.



Figura 39. Ubicación del motor eléctrico en una bicicleta

Nota. Fuente: (BIKEPA 2021)

Para cada una de las ubicaciones presentadas en la Figura 39 a continuación se exponen los pros y contras al momento de seleccionar la mejor alternativa para disponer el motor eléctrico.

4.1.2.1.1. Motor en el buje delantero.

Posicionando el motor en el buje de la rueda delantera de la bicicleta se tiene:

Ventajas: Básicamente son económicos y de una sencilla instalación, con mejores resultados en zonas urbanas.

Desventajas: Genera inestabilidad en terrenos alternos, no apta para bicicletas de montaña, control reducido en la dirección y los motores son simples.

4.1.2.1.2. Motor en el buje trasero.

Posicionando el motor en el buje de la rueda trasera de la bicicleta se tiene:

Ventajas: No requiere de modificaciones al cuadro de una bicicleta estándar, genera tracción en la rueda trasera necesaria en terrenos difíciles, no varía la configuración de transmisión.

Desventajas: En esta posición el peso del motor cambia el centro de gravedad de la bicicleta lo que genera inestabilidad.

4.1.2.1.3. Motor en eje de pedalier.

Posicionando el motor en el eje de pedalier o en el eje central la bicicleta se tiene:

Ventajas: Mejor reparto del peso, alta estabilidad, transmiten grandes torques al eje del pedal hasta 70 Nm. (Perales García 2017)

Desventajas: Costos elevados, necesitan de un diseño específico según las dimensiones del motor, generalmente solo puede utilizar un plato en la transmisión.

Uno de los motores más empleados en una bicicleta eléctrica es el tipo “Brushless” (sin escobillas) BLDC, con rotor de imanes permanentes, núcleo en hierro al silicio y carcasa de aluminio. Es bastante usado debido a la buena curva de torque y potencia con un peso reducido, su mejor ventaja es que no cuenta con componentes en fricción dando la característica de confiabilidad y escaso mantenimiento. (Hoyos et al. 2014)

4.1.2.2. Baterías para bicicletas eléctricas.

Una batería eléctrica puede definirse como un dispositivo acumulador que está conformado por una o varias celdas electroquímicas, este dispositivo puede convertir la energía química en electricidad y, además, esta reacción es reversible, lo que permite volver a recargar la batería por medios eléctricos externos. (López Sánchez 2019)

Básicamente la batería eléctrica de acumulación recargable está definida por tres parámetros:

- La cantidad de energía que pueden almacenar, medidas en (Wh).
- La corriente máxima que puede suministrar en descarga, medida en (Ah).
- La profundidad de descarga que puede sostener.(Salgado Benítez and Arboleda Sánchez 2014)

Según (Salgado Benítez and Arboleda Sánchez 2014) “Los distintos tipos de batería que se encuentran en el mercado” se pueden identificar de manera resumida en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación entre tipos de baterías eléctricas

	Plomo A.	Ni Cd	Ni Mh	Li Ion
Wh/kg	41	39	95	128
Ciclos de Uso (hasta el 80% de la capacidad inicial)	200 - 300	1500	300 - 500	500 - 1000
Tiempo de carga rápida	8 - 16 h	1 h	2 - 4 h	2 - 4 h
Auto descarga mensual (a temperatura ambiente)	5%	20%	30%	10%
Voltaje Nominal de la celda.	2 V	1.25 V	1.25 V	3.6 V
Temperatura de Operación (°C)	-20 a 60	-40 a 60	-40 a 60	-20 a 60
Mantenimiento Requerido.	3 a 6 meses	30 a 60 días	60 a 90 días	No requerido
Costo Referencial	\$25 (6 V)	\$50 (7,2 V)	\$60 (7,2 V)	\$100 (7,2 V)

Nota. Fuente: (Salgado Benítez and Arboleda Sánchez 2014)

4.1.2.2.1. Batería de plomo – ácido.

Según (Guanoluisa Taco and Pazmiño Estrella 2008) en una batería de plomo – ácido de 12 Voltios construida por seis celdas inmersas en un líquido electrolítico, cada terminal está conectado en serie con un polo opuesto, es decir, el terminal positivo de la primera celda está conectado con el terminal negativo de la segunda celda y esta a su vez con el terminal positivo de la tercera celda y así sucesivamente tal como se presenta en la Figura 40.

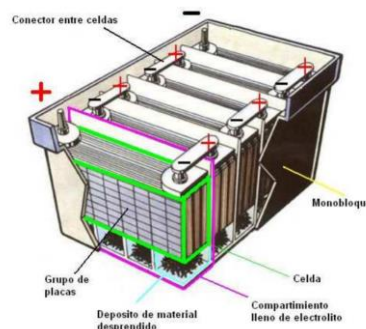


Figura 40. Estructura de una batería de plomo – ácido

Nota. Fuente: (Guanoluisa Taco and Pazmiño Estrella 2008)

Además, (Guanoluisa Taco and Pazmiño Estrella 2008) expone que “Las baterías de plomo-ácido al terminar su vida útil fallan y lo suelen hacer instantáneamente”. Esto genera una gran desventaja en este tipo de baterías ya que, al acumularse el material activo en el depósito de la batería, este se va llenando hasta el punto en el que ocasionan un cortocircuito juntando dos placas con polaridad contraria causando el deterioro permanente.

4.1.2.2.2. Baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd).

Según (Viera Pérez 2003), “Esta tecnología de batería se incluye dentro de las baterías alcalinas, las cuales utilizan como electrolito una solución acuosa de una base, a diferencia de las baterías plomo-ácido que emplean una solución ácida.”

El electrolito utilizado en la batería de níquel-cadmio está conformado también por hidróxido de potasio, este electrolito provoca que se mantenga constante el punto de congelación, es decir, no varía la tensión al momento de la descarga. Cuando se aproxima la carga total de la batería, el electrodo positivo de la celda produce hidrógeno, mientras que el electrodo negativo produce oxígeno hasta cargarse el 100% de la capacidad de la batería, las reacciones de este fenómeno producen gases generando así la pérdida del electrolito, sin embargo algunas de estas baterías traen consigo catalizadores para obtener agua y así evitar dicha pérdida.(Viera Pérez 2003)

Además en las baterías de Níquel-Cadmio la carga y descarga son factores muy importantes a tomar en cuenta, ya que sufren del fenómeno llamado efecto memoria, esto es por ejemplo, si la batería se recarga aun teniendo un 30% de carga, esta solamente podrá utilizar el 70% de la capacidad, o también si se recarga teniendo una carga del 60%, pasará a tener una capacidad del 40% solamente; ante ello se debe descargar por completo este tipo de baterías, y generalmente se puede conocer el estado de carga con descargadores especiales. (López Sánchez, 2019)

Generalmente existen baterías selladas donde se alojan las celdas de carga y el electrolito, en el exterior los electrodos y terminales de carga (descarga), un ejemplo claro de este tipo de baterías se presenta en la Figura 41.



Figura 41. Componentes de una batería de níquel-cadmio (Ni-Cd)

Nota. Fuente: (ktronix 2018)

4.1.2.2.3. *Batería de Níquel y Metal Hidruro (Ni Mh).*

Las baterías de Níquel Metal Hidruro son consideradas como la evolución de las baterías Níquel-Cadmio, pertenecen a la misma gama alcalina, según (Pérez Sapena 2019) “Los procesos de carga en las baterías NiMH son exotérmicos y los procesos de descarga, endotérmicos. En estado de sobrecarga, la temperatura y presión de la batería puede aumentar considerablemente”.

Al igual que en las baterías de níquel-cadmio, ambos electrodos de la batería tienen material activo como por ejemplo en el electrodo positivo se tiene el oxihidróxido de níquel el cual produce oxígeno y en el electrodo negativo se tiene el material activo hidruro metálico el cual genera hidrógeno y es el encargado de conseguir una mayor capacidad por unidad de volumen con respecto a la tecnología níquel-cadmio. (Viera Pérez 2003)

Según (López Sánchez 2019) “Las baterías de Ni-MH no tienen problemas de cristalización, luego, no sufren con el efecto de memoria.” Estas baterías cuentan con prestaciones muy positivas lo que en teoría debería posicionarlas en un buen lugar dentro del mercado de baterías cíclicas, sin embargo, es por el precio que supera a las de Níquel-Cadmio, lo que restringe su aplicación como por ejemplo en vehículos eléctricos que requieren de grandes prestaciones. (Viera Pérez 2003) Muchas de estas baterías son utilizadas en vehículos híbridos, en la Figura 42 se presenta este tipo de batería.

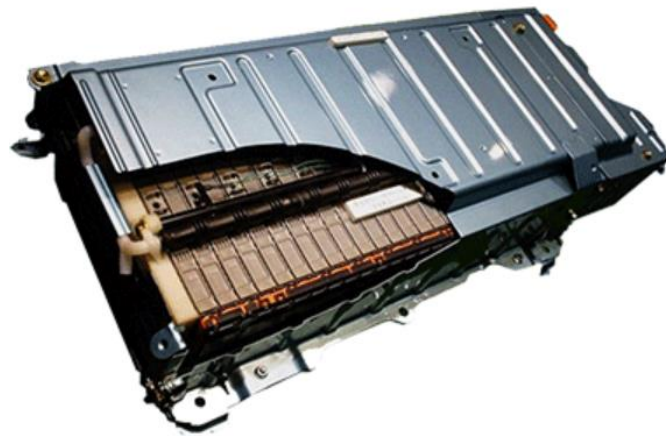


Figura 42. Batería de Ni-MH del *Toyota Prius*.

Nota. Fuente: (BATERÍAS MADRID n.d.)

4.1.2.2.4. Batería de Ion de Litio (Li-Ion).

Este tipo de baterías según (Salgado Benítez and Arboleda Sánchez 2014) “tienen un proceso de carga similar a las de plomo con la diferencia de que cada celda tiene un voltaje mayor, su tolerancia es más estricta y no acepta ningún tipo de sobrecarga”. Por lo general las baterías de li-ion se recargan hasta un voltaje de 4,2 V por celda con una tolerancia ± 50 mV.

El electrodo positivo de este tipo de batería utiliza óxido de litio metálico, mientras que el electrodo negativo utiliza carbono poroso o grafito, además cuentan con un electrolito que sirve como conductor; estas baterías no tienen efecto memoria por lo que no es necesario descargarlas completamente para su normal funcionamiento. (López Sánchez 2019)

Para este tipo de baterías se recomienda que no se carguen al 100%, ya que a voltajes altos se desgasta la batería, por otro lado, si se baja demasiado el umbral de voltaje se afecta a la autonomía de la batería, el uso correcto está en cargar la batería sin llegar a la zona de saturación de carga. (Salgado Benítez and Arboleda Sánchez 2014)

En la Figura 43 se presenta una batería de ion de litio, que comúnmente son comercializadas para vehículos eléctricos a tracción.



Figura 43. Batería Li-Ion de 40 V con autonomía de 40 Ah de la marca VARTA.
Nota. Fuente: (Lara 2012)

4.1.2.3. Componentes electrónicos de bicicletas.

4.1.2.3.1. Controlador.

El controlador es quizá el dispositivo más importante del sistema eléctrico en una bicicleta puesto que regula la energía suministrada por la batería hacia el motor, generalmente los controladores tienen características específicas para cada tipo de motor de esa forma se consigue una mayor eficiencia regulando la magnitud de corriente que llega hasta el motor. (Ñañez Valdez 2018)

Un ejemplo de controlador electrónico para un motor Brushless (sin escobillas) se lo puede apreciar en la Figura 44.

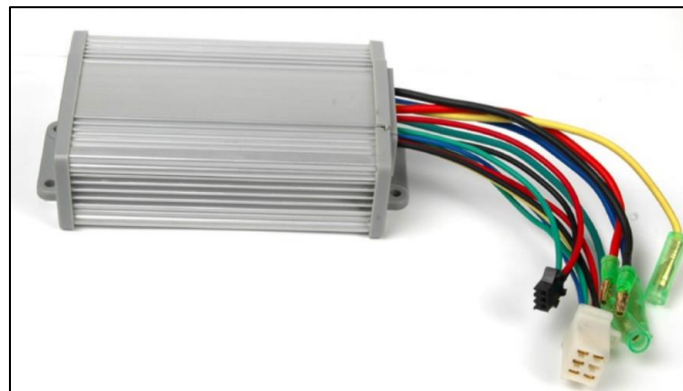


Figura 44. Controlador electrónico para motor Brushless
Nota. Fuente: (Bikelec 2015)

4.1.2.3.2. Sensor de pedaleo (P.A.S).

Es un dispositivo que, según (Veliz Delgadillo 2018) “Detecta la velocidad (cadencia) de pedaleo, y envía esta información al controlador.” La funcionalidad de este sensor consiste en que cuando el ciclista transmite una fuerza a los pedales y estos a su vez al plato, este comienza a girar, el sensor detecta el movimiento circular y envía la información hacia el

controlador electrónico para que mediante el paso de energía el motor brinde asistencia al pedaleo y al momento que se deja de pedalear el motor se detenga.

Comercialmente se pueden encontrar varios modelos de sensores P.A.S., con diferentes marcas y calidad de materiales, algunos de los más destacados se presentan en la Figura 45.

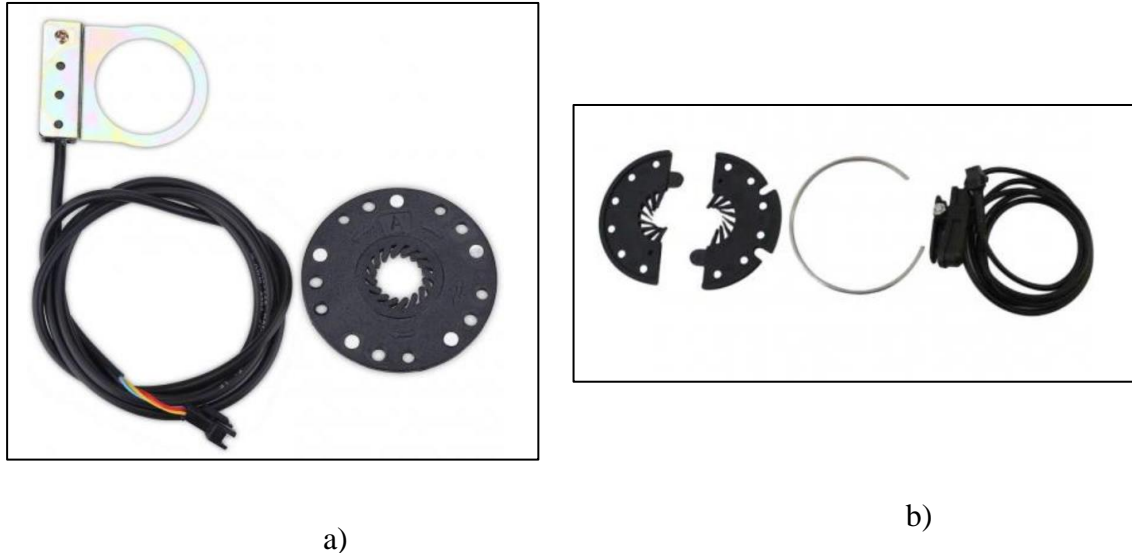


Figura 45. Modelos de sensores P.A.S.

Nota. En esta figura se presentan dos modelos de sensores P.A.S. a) Marca: VGBEY modelo- VGEBY18ng0dmyfi3, sensor con materiales de alta calidad con 10 imanes. b) Marca: Nalioker modelo- 254807, sensor de fácil instalación en el eje de pedalier con 12 imanes. Fuente: (Osorio 2021)

4.1.2.3.3. **Panel de control o pantalla LCD.**

Este componente electrónico es de mucha importancia dentro del sistema eléctrico, ya que permite identificar datos relevantes como la autonomía, el nivel de carga, la velocidad a la que se circula entre otros.

Es preciso mencionar que no todas las pantallas LCD son compatibles con los motores eléctricos usados en este tipo de proyectos, ya que algunas de ellas funcionan solo para ciertas marcas, sin embargo, existen modelos LCD universales que se adaptan a la gran mayoría de componente; en la Figura 46 se presenta un panel de control.



Figura 46. Panel de control, pantalla LCD para bicicleta eléctrica (E-Bike)

Nota. Fuente: (amazon 2018)

Además, como parte de los componentes electrónicos para la bicicleta eléctrica, se suele utilizar un acelerador que puede ser del tipo puño, gatillo o botón. En la Figura 47 se presentan los dos tipos de aceleradores eléctricos.

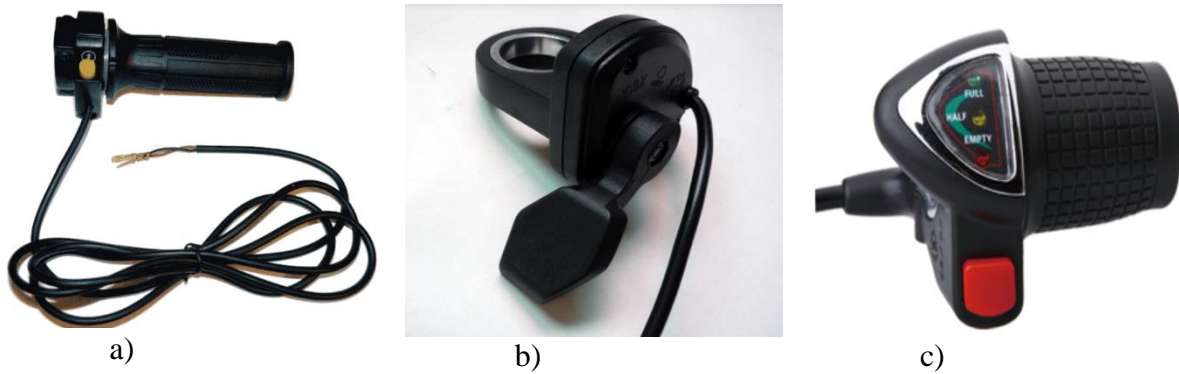


Figura 47. Tipos de aceleradores para bicicletas eléctricas
Nota. Fuente: (BIKELEC 2015)

4.2. Parametrización de la Bicicleta Eléctrica

4.2.1. Procedimiento de diseño y dimensionamiento del cuadro

Para identificar los procedimientos que se deben efectuar en el diseño de un cuadro de bicicleta, en este acápite, se describen los elementos y parámetros que se deben considerar, además se efectúa un análisis de un caso de estudio para comprender la secuencia de cálculos que se requieren aplicar para validar la funcionalidad y prestaciones de un cuadro de bicicleta. Los elementos que se exponen serán los criterios que se utilizarán para seleccionar el cuadro de la bicicleta y validar si este cumple con los parámetros de diseño

4.2.1.1. Requerimientos del diseño.

En este apartado se trata sobre el procedimiento a seguir para el diseño de un cuadro de bicicleta vinculado con el proceso para la selección de materiales que es fundamental al momento de elegir un tipo de cuadro en el mercado.

Inicialmente se fijan algunos requerimientos en función del trabajo que va a desempeñar, además, estos requerimientos permiten limitar la selección de materiales en los mapas de materiales o también conocidos como mapas de Ashby. En la Tabla 6 se describen los requerimientos según la función que cumplen.

Tabla 6. Requerimientos para seleccionar un material

Función	El cuadro de bicicleta debe soportar el peso del ciclista y accesorios eléctricos, sin deformarse o fracturarse.
Restricciones	Longitud y diámetro
	Tubo redondo hueco
	Rigidez
Objetivos	Resistente a la fatiga
	Resistencia a la corrosión
Objetivos	Mínimo costo y mínimo peso
Variables Libres	Espesor del tubo Tipo de material

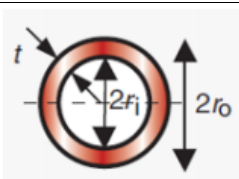
Nota. Fuente: (Lazcano 2021)

4.2.1.2. Función índice del material.

Con los requerimientos de la Tabla 6, se procede a calcular la función de índice del material para evitar la plasticidad, sin superar la tensión de falla cumpliendo con los objetivos de mínimo peso y mínimo costo. (Lazcano 2021)

Para iniciar con el cálculo, en la Tabla 7 se presentan ecuaciones de un tubo cilíndrico hueco.

Tabla 7. Ecuaciones para sección cilíndrica hueca

Sección	Área (m ²)	Segundo momento del área I (m ⁴)	Momento Resistente Z (m ³)
	$\pi \cdot (r_0^2 - r_i^2)$ $\approx 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t$	$\frac{\pi}{4} \cdot (r_0^4 - r_i^4)$ $\approx \pi \cdot r^3 \cdot t$	$\frac{\pi}{4 \cdot r_0} \cdot (r_0^4 - r_i^4)$ $\approx \pi \cdot r^2 \cdot t$

Nota. Fuente: (Ashby 1992)

Seguidamente se utiliza la Ec. (11) de momento flector, la Ec. (12) de momento resistente Z, y la Ec. (13) de masa, donde:

M_f = Momento flector (N·m)

F = Fuerza aplicada (N)

L = Longitud del tubo (m)

C = Constante del modo de carga

σ_f = Tensión de fallo (MPa)

Y_m = Distancia desde el eje neutro (m)

I = Segundo momento del área (m⁴)

Z = Momento resistente (m³)

r = Radio del tubo (m)

t = Espesor del tubo (m)

ρ = Densidad del material (kg/m³)

m = Masa del tubo (kg)

σ_y = Límite elástico del material (MPa)

Cm = Costo del material por unidad de masa (\$/kg)

Ecuación de Momento flector:

$$M_f = F \cdot L = \frac{C \cdot I \cdot \sigma_f}{y_m} \quad \text{Ec. (11)}$$

Ecuación de Momento resistente Z:

$$Z = \frac{I}{y_m} = \pi \cdot r^2 \cdot t \quad \text{Ec. (12)}$$

Ecuación de masa:

$$m = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t \cdot \rho \cdot L \quad \text{Ec. (13)}$$

Se despeja el espesor t de la Ec. (13).

$$t = \frac{m}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \rho \cdot L}$$

Se reemplaza la Ec. (12) en la Ec. (11):

$$F = \frac{C \cdot I \cdot \sigma_f}{y_m \cdot L} = \frac{C \cdot Z \cdot \sigma_f}{L} = \frac{C \cdot \pi \cdot r^2 \cdot t \cdot \sigma_f}{L}$$

Posteriormente se calcula la ecuación de rendimiento (P).

$$F = \frac{C \cdot r \cdot \sigma_f \cdot m}{2 \cdot \rho \cdot L^2} \rightarrow m = \frac{2 \cdot F \cdot \rho \cdot L^2}{C \cdot r \cdot \sigma_f}$$

Entonces:

$$P = f[F, G, M] \rightarrow m = \left(\frac{F}{C}\right) \cdot \left(\frac{L^2}{r}\right) \cdot \left(\frac{\rho}{\sigma_f}\right)$$

Con la ecuación de rendimiento, se puede obtener la función índice del material, la cual se usa en los mapas de materiales de Ashby para determinar qué materiales cumplen con el objetivo de mínimo peso.

En la Ec. (14) se expresa la ecuación de propiedades del material

$$m \downarrow = \frac{\rho}{\sigma_f} \downarrow = \frac{\sigma_f}{\rho} \uparrow \quad \text{Ec. (14)}$$

En donde:

ρ : densidad del material (kg/m³)

σ_f : Tensión de fallo (MPa)

“El índice de material se invierte respecto al resultante de la Ec. (14) ya que estamos buscando maximizar las propiedades y así disminuir la masa.”(Valvueda Arias 2018)

La función índice de material corresponde a la Ec. (15):

$$M = \frac{\sigma_f}{\rho} \quad \text{Ec. (15)}$$

“La pendiente de la recta se calculará con la función de índice de material en escala logarítmica.” (Lazcano 2021) Tal como se expone en la Ec. (16).

$$\log \sigma_f = \log M - \log \rho \quad \text{Ec. (16)}$$

La pendiente de la recta está dada por la función lineal Ec. (17) que en este caso está representada por:

$$y = mx + b \quad \text{Ec. (17)}$$

Debido a que no existe un coeficiente precediendo al factor $\log M$ de la Ec. (16) la pendiente de la recta para la ecuación del índice de material es $m=1$.

4.2.1.3. Valores umbral.

Para cumplir con las restricciones mencionadas en la Tabla 6 se considera un valor mínimo por encima del cual el cuadro de la bicicleta resulta confiable. Para encontrar este valor se analizan algunos componentes críticos del cuadro. (Lazcano 2021)

En la Tabla 8 se presentan las dimensiones de algunos componentes del cuadro, cuyas medidas han sido tomadas del catálogo de un fabricante de bicicletas expuesto en el Anexo 2. Tabla 8. Dimensiones de componentes del cuadro para cálculo de valores umbral

Propiedad	Componente	Longitud L (m)	Diámetro d (m)	Espesor t (m)
Rigidez	Tubos tirantes	0,56	0,016	0,002
Resistencia a la fatiga	Tubo vertical	0,52	0,031	0,003

Fuente: Autor

Se requiere especificar las cargas estáticas que ha de soportar el cuadro de la bicicleta:

- **Peso del ciclista:** Según (Freire et al. 2014) el peso en hombres de 19 a 59 años varía de 52.5 kg a 94,6 kg, mientras que para mujeres varía de 45 kg a 84 kg. Estos valores se encuentran en el Anexo 1. Para este diseño se considera el mayor peso 94,6 kg (928

N) que está distribuido en un 75% en el sillín (696 N) y un 25% en el manillar (232 N) (Lazcano 2021).

- **Fuerza de pedaleo:** Estos valores fueron tomados de (Lazcano 2021). La fuerza de pedaleo consiste en la carga que ejerce el ciclista en cada una de sus piernas y lo transmite a los pedales de la bicicleta. Potencia máxima (400 W), cadencia de pedaleo (100 rpm).

Con estos datos se procede a calcular la fuerza máxima aplicada a los pedales, obteniéndose los siguientes resultados:

Velocidad angular :

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{t} \quad \text{Ec. (18)}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot 100}{60} = 10,5 \text{ rad/s}$$

En donde:

ω = Velocidad angular (rad/seg)

n = Velocidad angular en rpm

t = tiempo (seg)

Fuerza Aplicada:

$$P = M_f \cdot \omega = F \cdot L_b \cdot \omega \quad \text{Ec. (19)}$$

$$F = \frac{P}{L_b \cdot \omega} = \frac{400}{(0,18) \cdot (10,5)} = 212 \text{ N}$$

En donde:

F = Fuerza aplicada (N)

L_b = Longitud de la biela (m)

M_f = Momento flector

P = Potencia (W)

Con los valores obtenidos hasta este momento de cálculo es posible seleccionar y modelar el cuadro de la bicicleta, a continuación, se describen los resultados obtenidos.

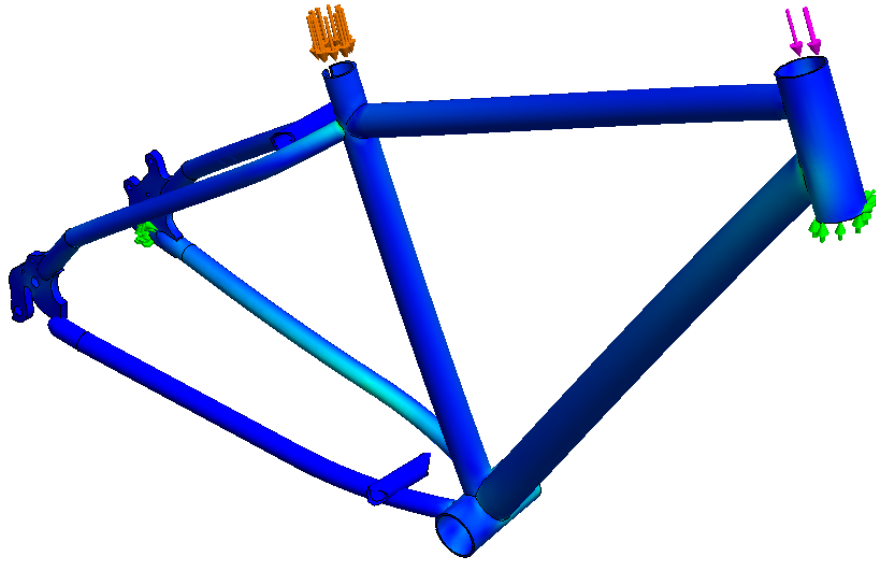


Figura 48. Resultado de los desplazamientos en la simulación

Nota. Fuente: Autor

Los tubos tirantes son componentes del cuadro con un menor diámetro sometidos a flexión compuesta (cargas a compresión y flexión), según (Ashby 2005) la constante de longitud de onda de pandeo (n) es 2 Anexo 4, además, se considera los valores umbral y la carga aplicada para determinar el módulo de Young (E) mínimo que se requiere del material a seleccionar.

La carga aplicada en el sillín es de 696 N, sin embargo, para aumentar la confiabilidad se selecciona un factor de seguridad utilizando la Ec. (20) cuyos datos se encuentran en el Anexo 5.

$$N_{dúctil} \cong MÁX(F1, F2, F3) \quad \text{Ec. (20)}$$

$$F1 = 2$$

$$F2 = 2$$

$$F3 = 2$$

Obteniendo como factor de seguridad:

$$N_{dúctil} \cong MÁX(2, 2, 2) \rightarrow N_{dúctil} = 2$$

De esta manera la carga aplicada en el sillín es 1 392 N distribuidos en dos tirantes, cada uno soportará 696 N, los tirantes son tubos cilíndricos huecos con un diámetro de 0,016 m, espesor de 0,002 m y longitud de 0,56 m, donde:

F_c = Fuerza crítica (N)

E = Módulo de Young (GPa)

n = Constante longitud de onda de pandeo

Para encontrar el valor umbral del módulo de Young (E), se considera la Ec. (21) denominada como fuerza crítica según (Ashby 2005), y el segundo momento del área (I).

$$F_c = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} - \frac{M_f^2}{4 \cdot E \cdot I} \quad \text{Ec. (21)}$$

$$M_f = F_c \cdot L$$

$$F_c = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} - \frac{(F_c \cdot L)^2}{4 \cdot E \cdot I}$$

Igualando a cero, se obtiene una ecuación de segundo grado que se presenta a continuación:

$$4 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot E^2 \cdot I^2 - 4 \cdot F_c \cdot L^2 \cdot E \cdot I - F_c^2 \cdot L^4 = 0$$

$$I = \pi \cdot r^3 \cdot t \rightarrow I = \pi \cdot 0,008^3 \cdot 0,002 \rightarrow I = 3,21 \times 10^{-9} m^4$$

Resolviendo para (E) obtenemos:

$$4 \cdot (2)^2 \cdot \pi^2 \cdot E^2 \cdot (3,21 \times 10^{-9})^2 - 4 \cdot (696) \cdot (0,56)^2 \cdot E \cdot (3,21 \times 10^{-9}) - (696)^2 \cdot (0,56)^4 = 0$$

$$E = 6,34 \text{ GPa}$$

4.2.1.4. Resistencia a la fatiga.

Por lo general los materiales tienen un comportamiento distinto cuando interactúan con cargas que vienen y van, ante esto es necesario conocer la resistencia a la fatiga de los materiales considerando dichas condiciones de carga. (Norton 2011)

En la Figura 49 la resistencia a la fatiga (S_f) cuando presenta un ciclo, es la misma que la resistencia estática (S_{ut}), a medida que van incrementando los ciclos, la resistencia disminuye constantemente hasta llegar al punto de estabilización, el cual se conoce como límite de resistencia (S_e). (Norton 2011)

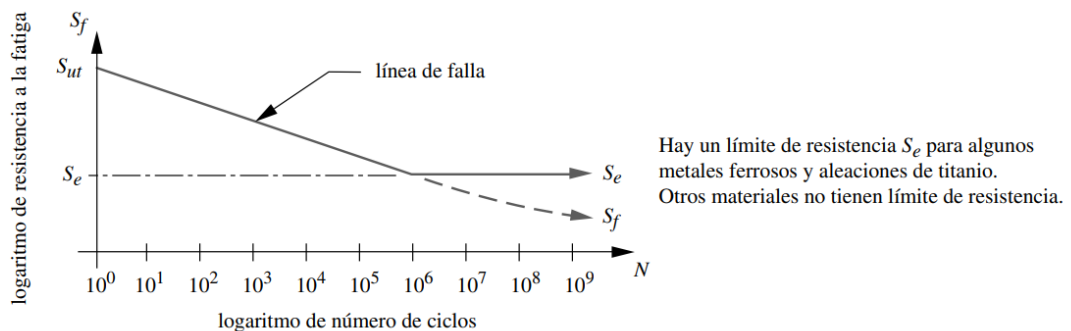


Figura 49. Diagrama de resistencia-vida de Wohler

Nota. Fuente: (Norton 2011)

En el tubo vertical y diagonal actúan cargas variables, la principal es la carga producida por el pedaleo, en este estudio se considera el tubo vertical al momento de obtener el esfuerzo

o tensión de fallo. En la Ec. (22) se menciona que el esfuerzo de fallo debe ser menor o igual al esfuerzo de amplitud.

$$\sigma_f \leq \sigma_a \quad \text{Ec. (22)}$$

Donde:

σ_f : Tensión de Fallo (MPa)

σ_a : Tensión de Amplitud (MPa)

En la Tabla 8 se presentan las dimensiones para el tubo vertical, su longitud es de 0,52 m con un radio de 0,0155 m y un espesor de 0,003 m.

Se representa en la Figura 50 la fuerza de pedaleo que es perpendicular al área del pedal, la dimensión de este pedal es de 45 mm y la longitud de la biela es de 180 mm. Se requiere encontrar la fuerza que provoca la fatiga y que es perpendicular a la fuerza de pedaleo aplicada, como se puede apreciar en la Figura 50.

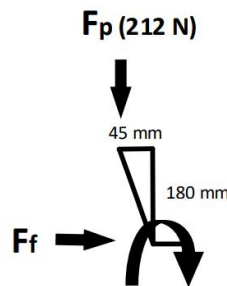


Figura 50. Fuerza ejercida para el cálculo a la fatiga

Nota. Fuente:(Lazcano 2021)

Se puede calcular la fuerza que causa fatiga con la igualdad expresada en la Ec. (23).

$$F_p \cdot 45 = F_f \cdot 180 \quad \text{Ec. (23)}$$

Obteniéndose

$$F_f = \frac{212 \cdot 45}{180} = 53 \text{ N}$$

A esta fuerza (F_f) se le aplica el factor de seguridad de 2 obteniéndose el valor de 106 N. Utilizando la ecuación del momento flector y módulo resistente Ec. (11) se procede a calcular la tensión de amplitud, considerando los siguientes valores.

$$F_f = 106 \text{ N}$$

$$L = 0,52 \text{ m}$$

$$r = 0,0155 \text{ m}$$

$$t = 0,003 \text{ m}$$

$$M_f = F_f \cdot L = \frac{C \cdot I \cdot \sigma_f}{y_m}$$

$$Z = \frac{I}{y_m} = \pi \cdot r^2 \cdot t$$

$$F_f \cdot L = C \cdot \pi \cdot r^2 \cdot t \cdot \sigma_f$$

$$\sigma_f = \frac{F_f \cdot L}{C \cdot \pi \cdot r^2 \cdot t}$$

$$\sigma_f = \frac{(106) \cdot (0,52)}{(1) \cdot \pi \cdot (0,0155)^2 \cdot (0,003)} = 24,34 \text{ MPa}$$

Ahora se calcula la tensión de amplitud, en la Figura 51 se presenta la fuerza aplicada en los pedales en función del ángulo de la biela; estos pedales se encuentran unidos mediante el eje de pedalier (pedal), desfasados 180° el uno del otro. Cuando se aplica la mayor fuerza en el pedal derecho, en el pedal izquierdo no se aplica fuerza y viceversa.

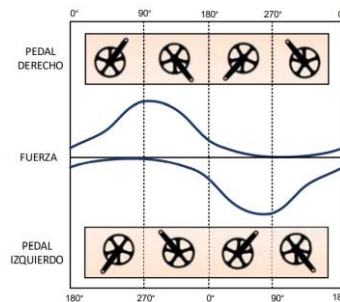


Figura 51. Fuerza aplicada en el pedal en función del ángulo de la biela
 Nota. Fuente: (Lazcano 2021)

Se utiliza el concepto de amplitud de tensión, que se puede definir mediante la Ec. (24) para obtener el valor de tensión de amplitud σ_a . (Lazcano 2021)

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad \text{Ec. (24)}$$

$$\sigma_a = \frac{24,34 - (-24,34)}{2} = 24,34 \text{ MPa}$$

4.2.1.5. Resistencia a la corrosión.

La corrosión es un proceso de degradación sobre ciertos materiales, a causa de reacciones químicas, es un fenómeno natural que afecta principalmente a los metales, la velocidad a la que se corroen los materiales depende de la temperatura a la que ocurre, las propiedades de los elementos y la salinidad. (Álvarez 2021)

Para el cuadro de la bicicleta es necesario tener en cuenta que tan resistente a la corrosión es el material a seleccionar, considerando agua dulce o agua fresca. Se puede catalogar esta propiedad de los materiales según (Ashby 2005) como:

A = Muy bueno

B = Bueno

C = Medio

D = Malo

E = Muy malo

4.2.1.6. Materiales seleccionados.

Para la selección del material que constituirá el cuadro de la bicicleta eléctrica se utilizaron los datos umbral calculados cuyos valores se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores umbral calculados

Rigidez (Módulo de Young)	$E = 6,34 \text{ GPa}$
Resistencia a la fatiga (Tensión de fallo)	$\sigma_a = 24,34 \text{ MPa}$
Resistencia a la corrosión por agua fresca	Bueno
Índice de material para mapa Módulo de Young – Densidad.	$M = \frac{E}{\rho}$
Índice de material para mapa Resistencia – Densidad.	$M = \frac{\sigma_f}{\rho}$

Nota. Fuente: Autor

Utilizando los valores umbral de la Tabla 9 se procede a seleccionar en los mapas de materiales de Ashby, en el Anexo 6 se encuentra el proceso de selección de los materiales para el cuadro de la bicicleta.

En la Tabla 10 se presentan las propiedades de los materiales seleccionados, dichas propiedades se obtuvieron de (Ashby 2005) Apéndice C.

Tabla 10. Rango de valores de las propiedades de los materiales seleccionados

Material	Límite Elástico (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Resistencia a la Fatiga (MPa)	Densidad (Mg/m ³)	Resistencia a la corrosión por agua
Compuesto CFRP	550 – 1050	69 – 150	550 – 1050	1,5 – 1,6	A
Aleación de titanio	250 – 1245	90 – 120	300 – 1625	4,4 – 4,8	A
Aleación de aluminio	30 – 500	68 – 82	58 – 550	2,5 – 2,9	A
Acero	400 - 1100	201 – 217	460 – 1200	7,8 – 7,9	B

Nota. Fuente: Autor

Una vez delimitadas las familias de materiales que cumplen con los requerimientos de diseño, se debe elegir una de ellas, para lo cual se consideran aspectos como el costo del material por unidad de volumen, disponibilidad del material y tecnología local. En la Tabla 11 se atribuyen valores según el criterio del autor en función del entorno donde se desarrolla este trabajo. La puntuación varía desde 1 a 5, en donde 1 es la puntuación más baja y 5 la puntuación más alta.

Tabla 11. Ponderación de familias de materiales

Material	Propiedades mecánicas	Peso	Costos por unidad de volumen	Disponibilidad del material	Tecnología local
Compuesto CFRP	5	5	2	1	1
Aleación de Ti	5	3	1	2	2
Aleación de Al	4	4	4	4	4
Acero	5	1	5	5	5

Nota. Fuente: Autor

A pesar de que el compuesto CFRP presenta excelentes propiedades mecánicas y un peso reducido, su costo es elevado y localmente no se cuenta con la tecnología ni la disponibilidad para trabajarlo. En consecuencia, se optó por la familia de los aceros y aleaciones de aluminio, ambos presentan buenas propiedades mecánicas para la construcción del cuadro de una bicicleta, sin embargo, con fines de estudio se consideró la familia de los aceros, por tener mejores propiedades mecánicas, que las aleaciones de aluminio, particularmente el acero AISI / SAE 1020.

4.2.1.7. Acero SAE 1020.

El acero al carbono se utiliza principalmente en la fabricación de piezas estructurales de maquinarias de mediana resistencia ya que cuenta con una gran tenacidad, además que es fácilmente soldable con soplete o con arco. (Cia. General de Aceros 2007)

En la Tabla 12 se presenta la composición química del material Acero SAE 1020.

Tabla 12. Composición química del Acero SAE 1020

Composición Química	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0,18	0,3	0,04	0,05	0,15
	0,23	0,6			0,3

Nota. Fuente: (Cia. General de Aceros 2007)

Seguidamente en la Tabla 13 se describen las propiedades mecánicas para el acero SAE 1020.

Tabla 13. Propiedades mecánicas del acero SAE 1020

Estado de suministro	Resistencia a la tracción MPa	Esfuerzo de fluencia MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell aprox.
Normalizado	490 - 588	264,77	343	30	55	150

Nota. Fuente: (Cia. General de Aceros 2007)

4.2.1.8. Procedimiento de diseño y Análisis estructural del cuadro seleccionado como caso de estudio.

4.2.1.8.1. Análisis estático.

El análisis estructural del cuadro de la bicicleta permitió determinar de forma acertada, si la estructura y el material son apropiados para la construcción. Para determinar las prestaciones del cuadro considerado como caso de estudio, se efectúa la simulación en el software SolidWorks ®.

Para el caso de estudio, que permite entender el procedimiento de análisis al que se somete los cuadros de bicicleta, se presenta la asignación de cargas y soportes en la Figura 52, donde los puntos de apoyo son A y B, para el caso de la sujeción en el punto A se restringe el movimiento en los ejes y – z dejando el grado de libertad en el eje x, esto con la finalidad de analizar el comportamiento del cuadro en condiciones normales. Para la sujeción en el punto B, se restringe el movimiento en todos los planos. La aplicación de las cargas se efectúa según lo descrito en 4.2.1.3 donde el punto A corresponde al manillar y el punto C al sillín.

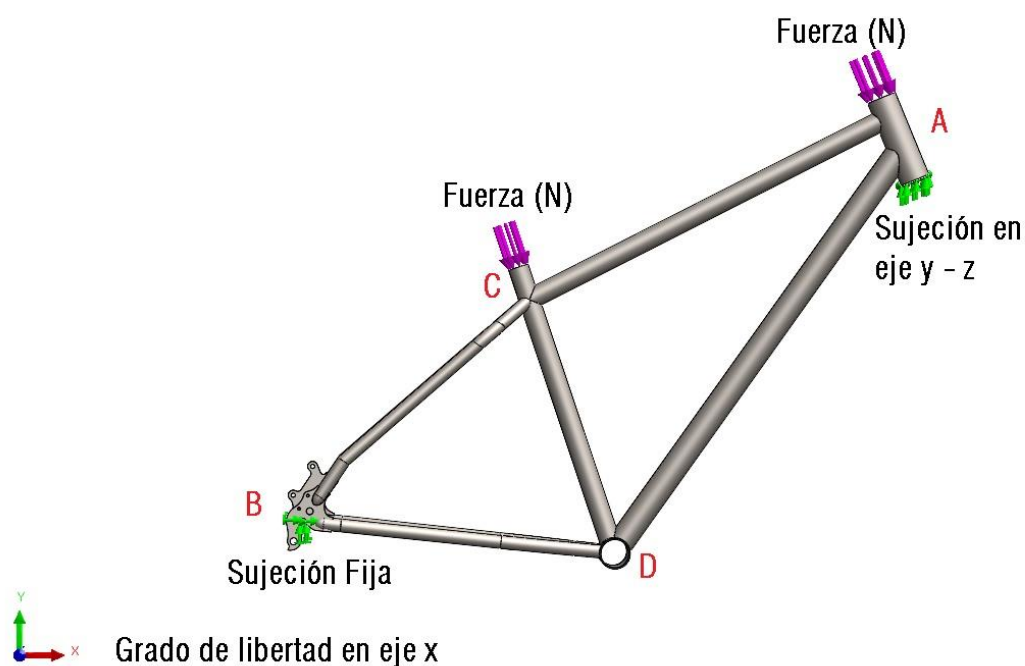


Figura 52. Diagrama de fuerzas para el cuadro de bicicleta

Nota. Fuente: Autor

Seguidamente se efectúa el análisis para determinar el esfuerzo máximo de Von Mises cuyo resultado se presenta en la Figura 53, además se debe encontrar el factor de seguridad para saber si el cuadro seleccionado es seguro o no.

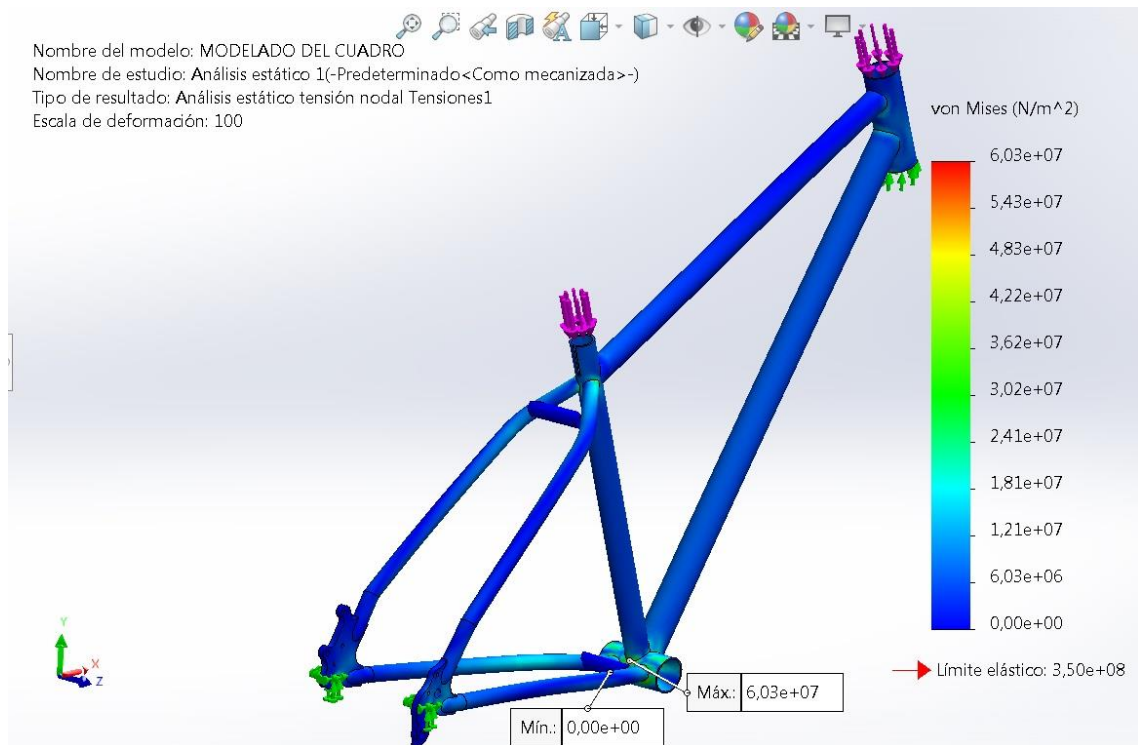


Figura 53. Esfuerzo de Von Mises para el cuadro de bicicleta
 Nota. Fuente: Autor

Para este ejemplo de cuadro de bicicleta simulado con el material Acero SAE 1020 se obtuvo un valor máximo de esfuerzo Von Mises de $\sigma' = 60,3$ MPa, valor ubicado en la parte inferior del sillín.

Con esta información se obtiene el factor de seguridad en estado estático utilizando la Ec. (4) donde se involucra el esfuerzo máximo de Von Mises (σ') y el límite de elasticidad del material (S_y).

Se despeja el factor de seguridad n de la ecuación de esfuerzo de Von Mises Ec. (4) como se presenta a continuación:

$$\sigma' = 60,3 \text{ MPa}$$

$$S_y = 340 \text{ MPa}$$

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

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

$$n = \frac{340 \text{ MPa}}{60,3 \text{ MPa}} = 5.63$$

Dentro del estudio estático también se obtiene el factor de seguridad mínimo y la ubicación donde ocurriría principalmente el fallo del cuadro, en la Figura 54 se puede observar que el valor del factor de seguridad mínimo es de 5,80.

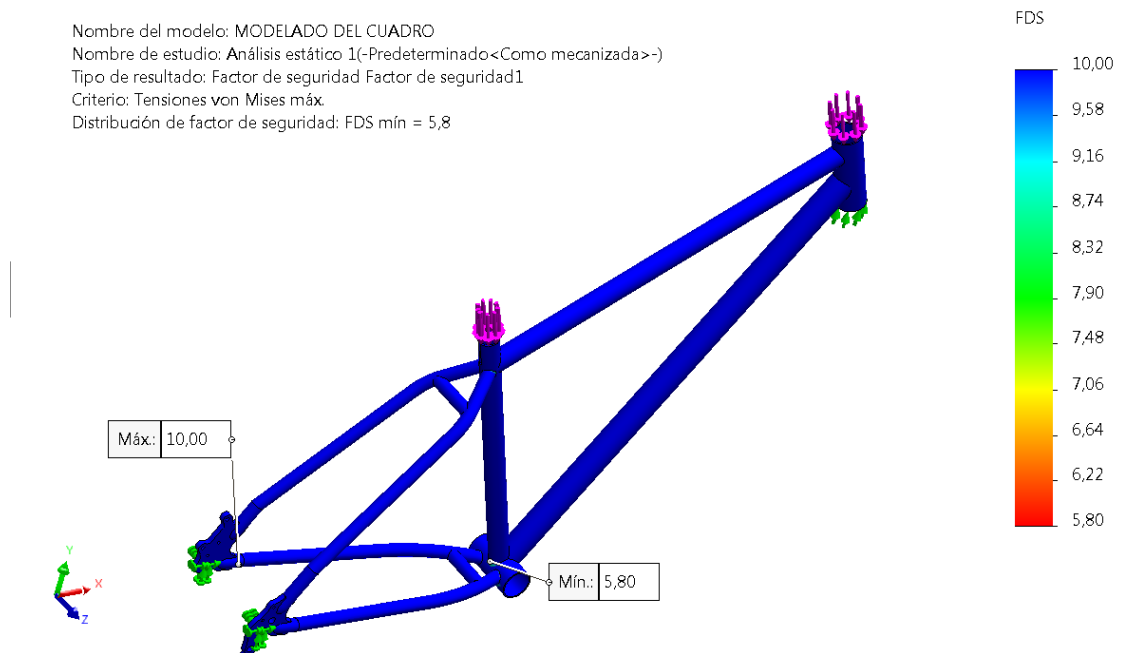


Figura 54. Factor de seguridad para el cuadro de bicicleta
 Nota. Fuente: Autor

4.2.1.8.2. Resultados del análisis a la fatiga.

Se utilizaron las ecuaciones del acápite 4.1.1.4.2 para encontrar el valor del factor de seguridad según el análisis a la fatiga, se utilizó la ecuación general de Marin Ec. (5), que se presenta a continuación:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S'_e$$

Siendo necesario encontrar los factores de cálculo de esta ecuación, para lo cual se tiene:

Factor de modificación por la condición superficial (k_a): Para encontrar el valor de esta variable se consideró el proceso de fabricación de los tubos con los que se construye el cuadro de la bicicleta, los tubos de acero SAE 1020 se fabrican con proceso de laminado en frío, mediante esta información se obtienen parámetros para los factores (a y b) en la Tabla 3, obteniendo los siguientes datos:

a : 4,51MPa

b : -0,265

S_{ut} : 490 MPa

Se utiliza la Ec. (6) que se presenta a continuación:

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b$$

$$k_a = 4,51 \cdot (490)^{-0,265}$$

$$k_a = 0,873$$

Factor de tamaño (k_b): Primero, se ubica el punto crítico del cuadro, éste se lo puede encontrar en las diferentes simulaciones realizadas, para este caso como se aprecia en la Figura 55 el punto crítico se sitúa en el tubo del sillín en contacto con la caja del pedal .

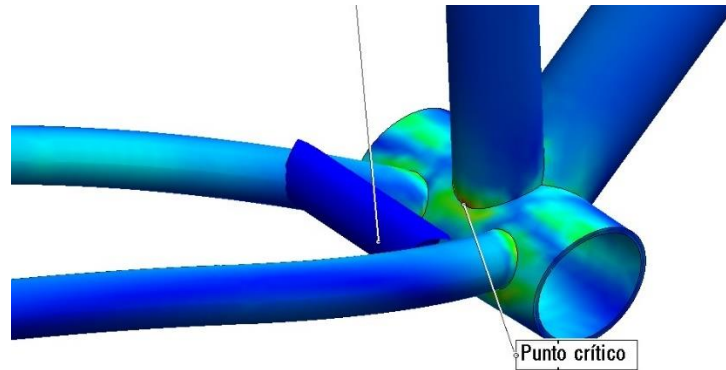


Figura 55. Punto crítico del cuadro de bicicleta

Nota. Fuente: Autor

La sección del punto crítico es circular, siendo el tubo del sillín el elemento crítico, para el cual se representa su sección transversal en la Figura 56.

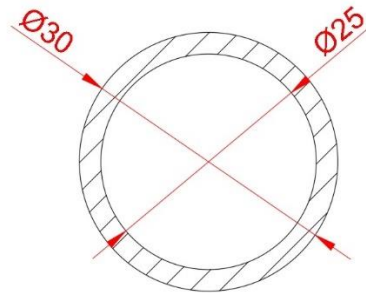


Figura 56. Sección transversal del punto crítico

Nota. Fuente: Autor

El tubo del sillín tiene un diámetro exterior de 30 mm, se encuentra el factor de tamaño utilizando la Ec. (7) presentada a continuación:

$$k_b = 1,24 \cdot (d)^{-0,107} \rightarrow 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$$

En donde:

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$k_b = 1,24 \cdot (30)^{-0,107}$$

$$k_b = 0,861$$

Factor de modificación por la carga (k_c): Analizando el tubo del sillín donde se encuentra el punto crítico se puede distinguir mediante la Figura 53, que en la parte superior se aplica una carga, mientras que en la parte inferior se genera una reacción por la caja del pedalier, es decir este elemento está bajo una carga de flexión; se utiliza los valores de la Ec. (8) obteniendo el siguiente resultado.

$$k_c = 1$$

Este valor se asigna por la condición del tubo al estar bajo una carga de flexión.

Factor de temperatura (k_d): Para encontrar el valor de esta variable inicialmente se toma como referencia la temperatura anual promedio de Loja, según (Weather Spark 2021) durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 9°C a 21°C.

Se selecciona como temperatura media de 15°C que equivale a 59 °F, dato que se reemplaza en la Ec. (9) a continuación:

$$k_d = 0,975 + 0,432(10^{-3})T_F - 0,115(10^{-5})T_F^2 + 0,104(10^{-8})T_F^3 - 0,595(10^{-12})T_F^4$$

Donde:

$$T_F = 59 \text{ °F}$$

$$k_d = 0,975 + 0,432(10^{-3})(59) - 0,115(10^{-5})(59)^2 + 0,104(10^{-8})(59)^3 - 0,595(10^{-12})(59)^4$$

$$k_d = 0,996$$

Factor de confiabilidad (k_e): Este factor puede ser seleccionado de la Tabla 4 según la consideración del diseñador, en este caso se tiene presente el factor de seguridad inicial que se propuso para la selección del material el cual tiene un valor del doble para la carga que va a soportar el cuadro.

Se considera un factor de confiabilidad del 90%, obteniéndose el siguiente valor para k_e :

$$k_e = 0,897$$

Factor de efectos varios (k_f): Como se detalla en la descripción de esta variable en 4.1.1.4.8 al no contar con los datos suficientes para la obtención de este valor se asume la unidad, entonces k_f :

$$k_f = 1$$

Límite de resistencia a la fatiga (S_e): Según (Budynas and Nisbett 2012) para determinar los límites de resistencia a la fatiga conlleva de extensos procedimientos, sin embargo, para los aceros esta resistencia varía desde aproximadamente 40 hasta 60 por ciento de la resistencia a la tensión y hasta alrededor de 210 kpsi (1 450 MPa); la Ec. (25) permitió estimar el límite de resistencia y se presenta a continuación.

$$S'_e = 0,5 \cdot S_{ut} \rightarrow S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \quad \text{Ec. (25)}$$

En donde:

S'_e : Límite de resistencia a la fatiga (MPa)

S_{ut} : Resistencia a la tensión (MPa) – Para acero SAE 1020 = 490 MPa

Entonces se obtiene el siguiente resultado:

$$S'_e = 0,5 \cdot 490 \text{ MPa}$$

$$S'_e = 245 \text{ MPa}$$

En la Tabla 14 se presentan los resultados para todos los factores requeridos en el análisis a la fatiga.

Tabla 14. Resultados de los factores en el análisis a la fatiga para el acero SAE 1020

Material	S _{ut} (MPa)	S _{e'} (MPa)	Factores						S _e (MPa)
			k _a	k _b	k _c	k _d	k _e	k _f	
Acero SAE 1020	490	245	0,873	0,861	1	0,996	0,897	1	164,52

Nota. Fuente: Autor

Con el valor de límite de resistencia a la fatiga se procede a encontrar el factor de seguridad para lo cual se utiliza el criterio de falla por esfuerzos variables de la ASME elíptica, considerando esfuerzos fluctuantes como en la Figura 57.

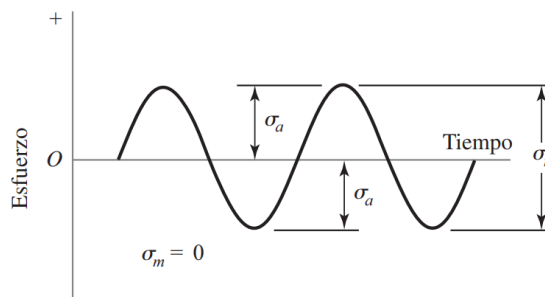


Figura 57. Representación de esfuerzo fluctuante sinusoidal

Nota. Fuente: (Budynas and Nisbett 2012)

Los componentes del esfuerzo mostrados en la Figura 57 son :

σ_m : componente de esfuerzo medio

σ_a : componente de la amplitud

σ_r : intervalo de esfuerzo

Según (Budynas and Nisbett 2012), la ecuación del criterio de fallo a la fatiga de la ASME elíptica considerando el factor de seguridad se expresa considerando las condiciones de la Ec. (26)

$$\left(\frac{n\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{n\sigma_m}{S_y}\right)^2 = 1 \quad \text{Ec. (26)}$$

Donde:

n : Factor de diseño o seguridad

σ_a : Esfuerzo de amplitud (MPa)

σ_m : Esfuerzo medio (MPa)

S_e : Límite de resistencia a la fatiga (MPa)

S_y : Límite de fluencia del material (MPa)

Considerando la Figura 57, se tiene que el esfuerzo de amplitud corresponde al esfuerzo máximo de Von Mises obtenido por medio de la simulación ($\sigma_a = \sigma_{max}$), mientras que la componente del esfuerzo medio tiene un valor de cero ($\sigma_m = 0$), así, reemplazando estos datos en la Ec. (26) se tiene:

$$\left(\frac{n\sigma_{max}}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{n(0)}{S_y}\right)^2 = 1$$

Donde:

σ_a : 60,3 MPa

σ_m : 0 MPa

S_e : 164,52 MPa

$$\left(\frac{n\sigma_{max}}{S_e}\right)^2 = 1$$

$$n = \frac{S_e}{\sigma_{max}}$$

$$n = \frac{164,52}{60,3 \text{ MPa}} \quad n = 2,72$$

4.2.1.8.3. Simulación a la fatiga.

Luego de efectuar el análisis estático en el software SolidWorks®, se genera un estudio a la fatiga, con la finalidad de analizar dos puntos importantes, el daño generado y la vida de la estructura.

En la Figura 58 se presenta el resultado de daño, en donde un valor de 1 indica que los sucesos a la fatiga consumen un 100% de la vida de la estructura, sin embargo, para este caso, el valor mínimo es de 100 lo que nos da a conocer que el cuadro de la bicicleta no sufre daños en el valor predeterminado del número de ciclos a los que fue sometido a simulación.

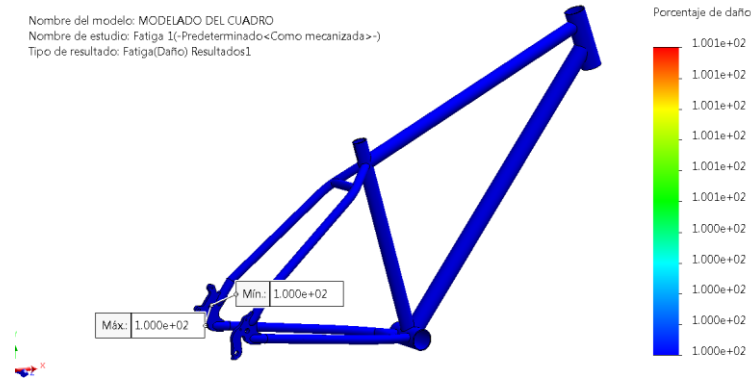


Figura 58. Resultado de daño en estudio a la fatiga
 Nota. Fuente: Autor

Además, se presenta el resultado de vida para el cuadro de la bicicleta en la Figura 59 , el valor de esta vida es independiente del número de ciclos que se efectúen, está vinculada con el valor de la tensión en una ubicación y la curva S-N (Tensión alterna – cantidad de ciclos requeridos para generar fallos), si esta tensión alterna corregida es menor que el último punto de la curva S-N, automáticamente el software tiene en cuenta el número de ciclos definidos para dicho punto, que es precisamente lo que ocurrió en el análisis de vida.

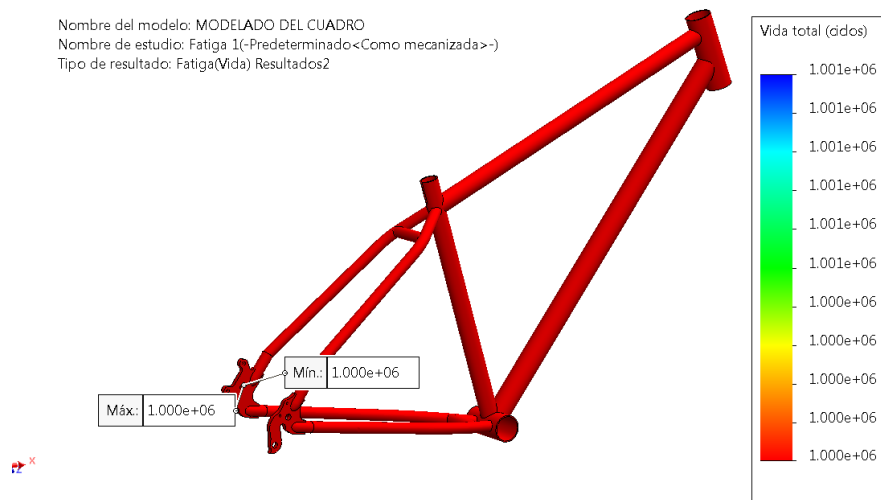


Figura 59. Resultado de vida mediante el análisis a la fatiga
 Nota. Fuente: Autor

4.2.1.9. Selección del cuadro para la bicicleta eléctrica.

Para seleccionar el cuadro de bicicleta apropiado, se considera la ergonomía del ciclista, en la Tabla 15 se detallan las dimensiones del ciclista promedio.

Tabla 15. Ficha descriptiva del ciclista





Ficha del ciclista	
Componente	Detalle
Nombre	Jean Paúl Herrera O.
Edad (años)	24
Sexo	Masculino
Peso (kg)	84,5
Estatura (cm)	172

Nota. Fuente: Autor

La estatura del ciclista se encuentra en el rango de 161 cm – 174 cm según los valores del Anexo 2, por lo que la talla apropiada del cuadro es M.

Posteriormente se selecciona el material, como se describe en 4.2.1.6, los materiales con los cuales se puede construir un cuadro de bicicleta presentan propiedades mecánicas diferentes, sin embargo, todos cumplen con los requerimientos de trabajo. En la Tabla 16 se presentan algunos modelos de cuadros de bicicleta existentes en el mercado.

Tabla 16. Modelos de cuadros para bicicleta

Modelo	Descripción
	Cuadro para bicicleta TWITTER LEOPARD aro 29” Fibra de carbono (compuesto CFRP) Peso 1,215 kg
	Cuadro para bicicleta aro 29”, con adaptación para sistema de frenos V brake. Acero Peso 3,060 kg
	Cuadro para bicicleta RAPTOR TITAN aro 29” Aluminio 6061 Tubería Hidroformada Peso: 1,960 kg
	Cuadro de bicicleta wize x2 aro 29” Aluminio 6061 Tubería Hidroformada Peso: no disponible.

Nota. Fuente: Autor

De la Tabla 16 se selecciona el modelo RAPTOR TITAN aro 29” que está construido con aleación de aluminio 6061 y la forma de la tubería se realizó por hidroformado.

4.2.1.9.1. *Características del aluminio 6061.*

Actualmente el aluminio es el material utilizado por excelencia en la industria de la bicicleta en la fabricación de cuadros, sin embargo, el aluminio por sí solo no cumple con las propiedades mecánicas necesarias para ser resistente, es por ello que se utilizan siempre aleaciones.

La serie de aleaciones 6xxx están conformadas por magnesio y silicio, por lo general los cuadros de bicicleta se construyen con aleaciones 6061 y 6063 al tener buenas propiedades mecánicas y conformarse fácilmente. (Poch Vives and Juanjo Blanco n.d.)

En la Tabla 17 se presentan las propiedades de la aleación de aluminio 6061.

Tabla 17. Propiedades de la aleación de aluminio 6061

Propiedades	Aleación de aluminio 6061
Propiedades físicas	
Densidad g/cm ³	2,7
Propiedades mecánicas	
Dureza, Brinell	95
Tensión de rotura (MPa)	310
Tensión de Frecuencia (MPa)	276
Elongación a la rotura, %	12
Módulo de elasticidad, (GPa)	68,9
Coefficiente de Poisson	0,33
Límite de fatiga, (MPa)	96,5
Maquinabilidad, %	50

Autor: (Poch Vives and Juanjo Blanco n.d.)

4.2.1.9.2. *Modelado y simulación del cuadro RAPTOR TITAN II.*

Una vez seleccionado el cuadro de la bicicleta que mejor se adapte a los requerimientos del sistema eléctrico y del ciclista, se lo modela en el software de diseño SolidWorks cuyo plano constructivo se encuentra en el Anexo 8.

Para la simulación se considera el peso del ciclista de 84,5 kg, así como el peso de una batería estándar de 4 kg, y los componentes estándar que se encuentran sobre el cuadro con un peso de 3,5 kg, en total se registra un peso de 92 kg. A este resultado se aplica un factor de seguridad de 1,5 según el procedimiento descrito en 4.2.1.3, con lo que se tiene una carga de 138 kg (1 353,78 N) distribuidos en un 75% el sillín (1 015,34 N) y un 25% en el manillar (338,45 N).

Para efectuar la simulación se utiliza el software SolidWorks®, siguiendo el proceso detallado en la sección 4.1.1.5. En la Figura 60 se presenta la simulación estática de donde se obtiene el esfuerzo máximo de tensión cuyo valor es de 38,8 GPa, ubicado entre el tubo vertical y la caja de pedalier, el esfuerzo mencionado es inferior al límite elástico de 55,1 GPa correspondiente a la aleación de aluminio 6061

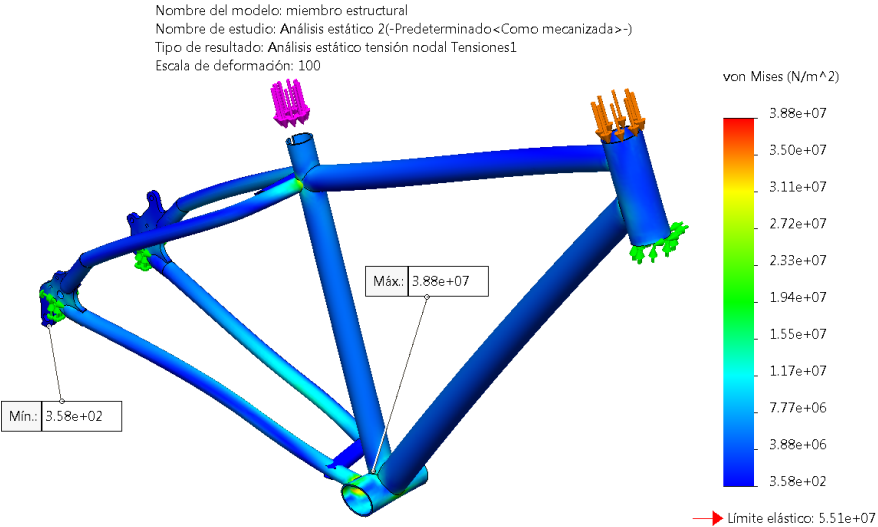


Figura 60. Simulación estática con aleación de aluminio 6061
 Nota. Fuente: Autor

Además, al efectuar el estudio del factor de seguridad para corroborar que el cuadro soporta la carga aplicada, en la Figura 61 resultado de la simulación efectuada se aprecia que el factor de seguridad mínimo según el criterio de Von Mises es de 1,4, el factor de seguridad mínimo es de 1,42 según los resultados planteados, sin embargo, se debe considerar que ya se estableció un factor de seguridad para la carga aplicada en el acápite 4.2.1.9.2 cuyo valor es de 1,5 por lo que cumple satisfactoriamente con los requerimientos de diseño.

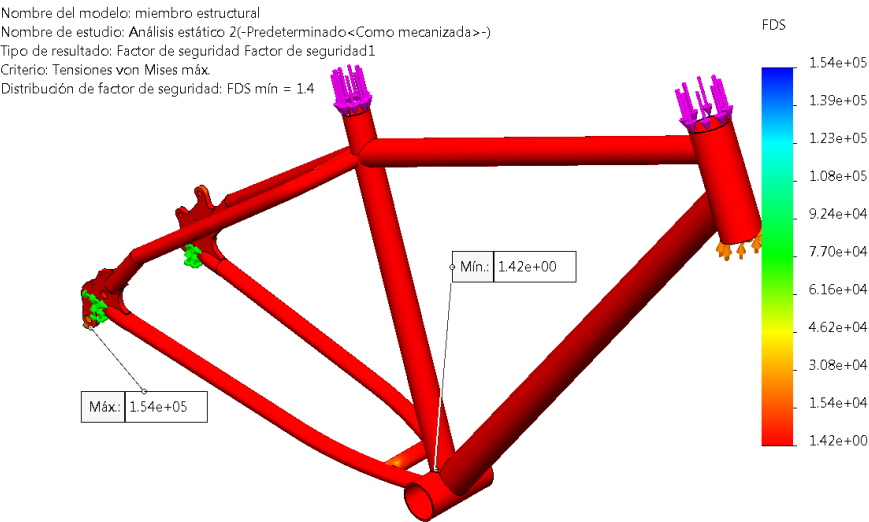


Figura 61. Factor de seguridad para el cuadro de aleación de aluminio 6061

Nota. Fuente: Autor

En el estudio a la fatiga se identificó que para el cuadro de aleación de aluminio 6061 seleccionado el número de ciclos testeados representa un 10% (0,10) de consumo a la vida del modelo, se lo puede apreciar en la Figura 62.

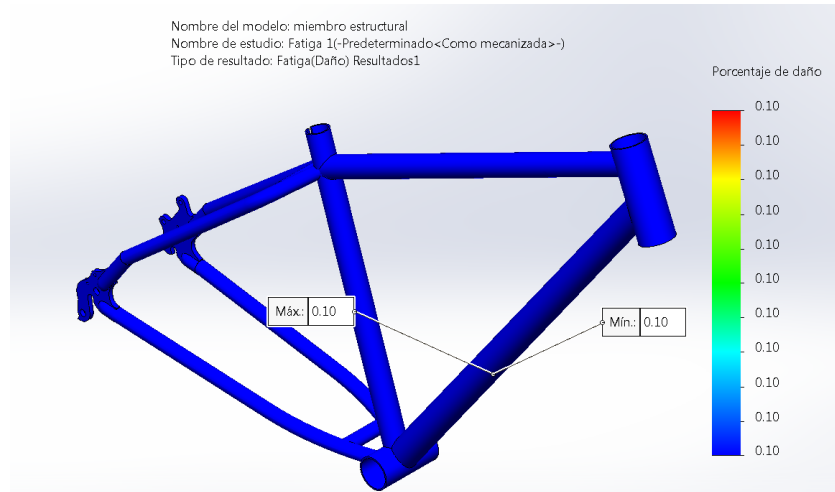


Figura 62. Análisis a la fatiga - porcentaje de daño al cuadro de aleación de aluminio 6061

Nota. Fuente: Autor

Dentro de los resultados del análisis a la fatiga se encuentra el trazado de vida, la cual indica el número de ciclos que causan daños de fatiga en el modelo, para este caso se tiene un número máximo de un millón de ciclos, tal como se aprecia en la Figura 63.

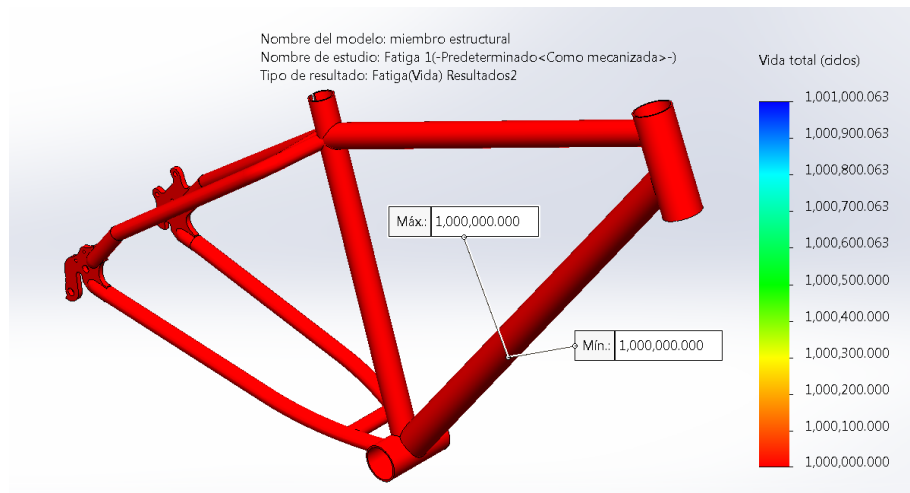


Figura 63. Vida del cuadro de aleación de aluminio 6061

Nota. Fuente: Autor

4.2.2. Dimensionamiento del motor y selección del sistema de control eléctrico

En el diagrama de flujo de la Figura 64 se establecen el procedimiento para el dimensionamiento del motor y la selección del sistema de control eléctrico.

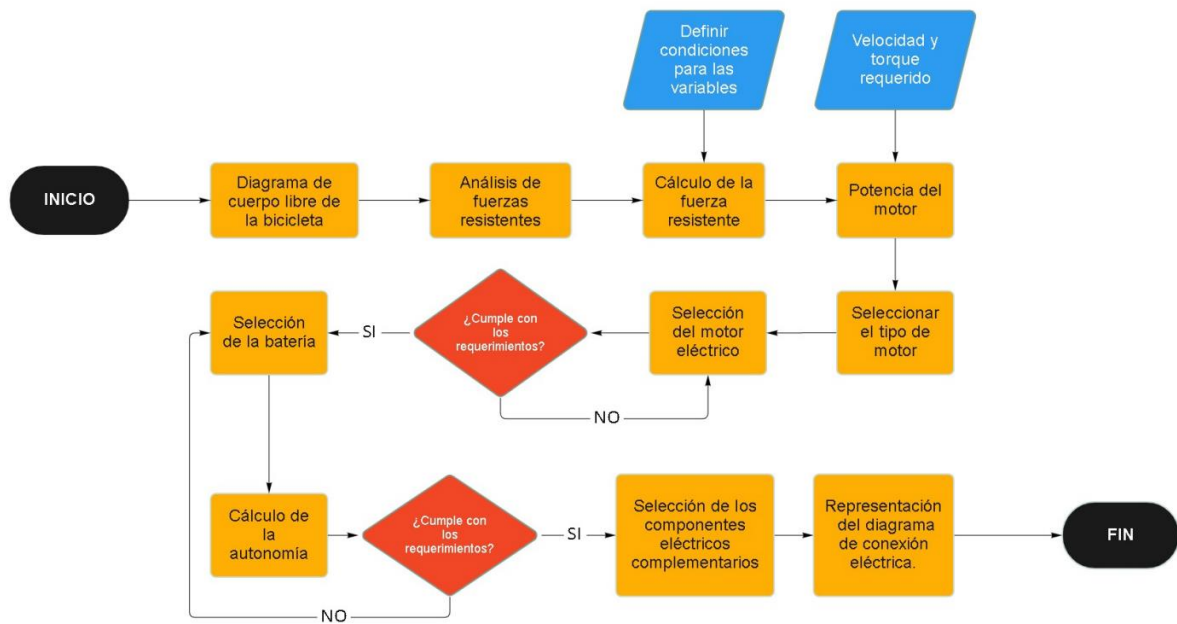


Figura 64. Diagrama de flujo para el dimensionamiento del motor y selección del sistema de control eléctrico de la bicicleta

Nota. Fuente: Autor

4.2.2.1. Dimensionamiento del motor.

Para dimensionar el motor eléctrico de la bicicleta se debe considerar algunos aspectos como las fuerzas que se oponen al movimiento, como son: la resistencia al viento, la fricción en las ruedas y la inclinación del terreno por donde circulará la bicicleta, el procedimiento para el dimensionamiento del motor, accionamientos y batería se estructura de la siguiente forma:

Para seleccionar la capacidad de motor es necesario considerar el esquema de cuerpo libre presentado en la Figura 65, mediante el cual se logra conocer el comportamiento bajo condiciones de velocidad, inclinación del terreno etc.

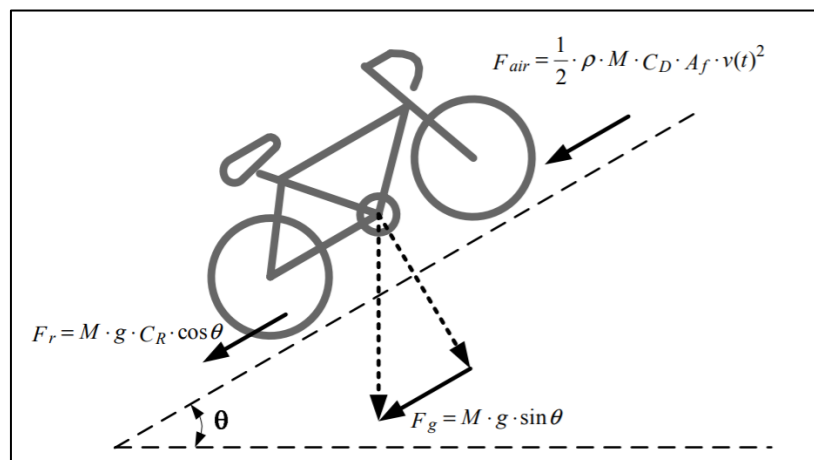


Figura 65. Diagrama de fuerzas externas sobre la bicicleta

Nota. Fuente: (Sousa, Costa Branco, and Dente 2007)

Para determinar la capacidad del motor es necesario aplicar la Ec. (27), misma que permite determinar las fuerzas que actúan sobre la bicicleta.

$$F_{total} = F_{aire} + F_{rozamiento} + F_{gravidad} + F_{aceleración} \quad \text{Ec. (27)}$$

Donde:

F_{aire} : Fuerza aerodinámica o resistencia aerodinámica al avance

$F_{rozamiento}$: Fuerza de resistencia a la rodadura

$F_{gravidad}$: Fuerza de resistencia a la pendiente

$F_{aceleración}$: Fuerza de aceleración

4.2.2.1.1. Fuerza aerodinámica o resistencia aerodinámica al avance.

Para encontrar el valor de F_{aire} se utiliza la Ec. (28):

$$F_{aire} = 0,5 \cdot \rho \cdot C_x \cdot A_f \cdot V^2 \quad \text{Ec. (28)}$$

Densidad del aire ρ (kg/m³): Consiste en la relación entre la masa y el volumen de aire en la cual la bicicleta eléctrica tiene que desplazarse, su valor depende de la presión atmosférica y varía con la humedad, altura, altitud y temperatura, valores que se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Valores de densidad y de viscosidad cinemática en función de la altitud

Z (m)	ρ (kg/m ³)	ν (m ² /s)
0	1,225	1,453 x 10 ⁻⁵
500	1,168	1,510 x 10 ⁻⁵
1 000	1,112	1,571 x 10 ⁻⁵
1 500	1,059	1,636 x 10 ⁻⁵
2 000	1,007	1,705 x 10 ⁻⁵
2 500	0,957	1,777 x 10 ⁻⁶
3 000	0,909	1,853 x 10 ⁻⁶

Nota. Fuente: (Izquierdo, Alvarez Vera, and López Díaz 2001)

Para la ciudad de Loja se considera una temperatura promedio de 18 °C y se encuentra a una altitud de 2 060 m.s.n.m. según la Tabla 18 la densidad seleccionada es :

$$\rho = 1,007 \frac{kg}{m^3}$$

Coefficiente aerodinámico C_x : El coeficiente de resistencia aerodinámico se obtiene mediante experimentos dentro de túneles de viento y esto permite saber qué tanto afecta el viento en contra a la bicicleta. En la Tabla 19 se presentan los coeficientes aerodinámicos para determinados cuerpos.

Tabla 19. Coeficientes de resistencia aerodinámica para varios cuerpos

Cuerpo	Orientacion del flujo	Cx
Placa circular		1.17
Esfera		0.47 *
Semiesfera		0.42 *
Cono (60°)		0.5
Cubo		1.05 *
Cilindro (l/D > 2)		0.82
Cilindro (l/D < 1)		1.15
Cuerpo currentilíneo l/D = 2.5		0.04
Medio cuerpo currentilíneo sobre el suelo		0.09

Nota. Fuente: (Izquierdo et al. 2001)

Debido a que el cuadro de la bicicleta está conformado principalmente por tubería redonda, de la Tabla 19 se selecciona el cuerpo en forma de cilindro cuyo coeficiente de resistencia aerodinámica es:

$$C_x = 1,15$$

Área frontal de la bicicleta A (m²): Consiste en tomar las medidas de la bicicleta desde un plano frontal, se considera el ancho (b), la altura (a) y el factor f que según (Izquierdo et al. 2001) este valor varía de 0,8 a 0,85. Con esto valores se calcula el área frontal de la bicicleta.

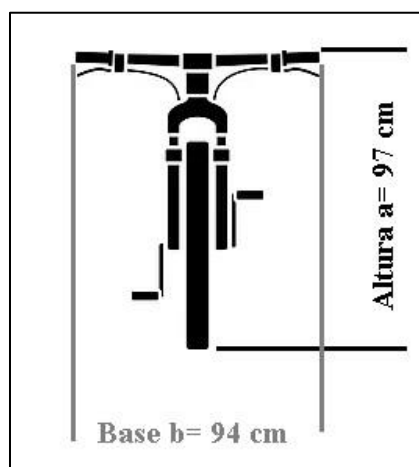


Figura 66. Área frontal de la bicicleta eléctrica

Nota. Fuente: Autor

La Ec. (29) permite determinar representa el área frontal de la bicicleta:

$$\begin{aligned}A_f &= f \cdot b \cdot a && \text{Ec. (29)} \\A_f &= 0,8 \cdot (0,94 \cdot 0,97)m \\A_f &= 0,729 m^2\end{aligned}$$

Velocidad máxima de la bicicleta V (m/s): Para este caso se considera una velocidad máxima de $V= 20$ km/h, obteniendo el siguiente valor:

$$\begin{aligned}V &= 20 \frac{km}{h} \cdot \frac{1\,000\,m}{1\,km} \cdot \frac{1\,h}{3\,600\,s} \\V &= 5,555 \frac{m}{s}\end{aligned}$$

Además, es necesario calcular la resistencia aerodinámica al avance utilizando la Ec. (28) obteniendo el siguiente resultado:

$$F_{aire} = 0,5 \cdot \rho \cdot C_x \cdot A_f \cdot V^2$$

Donde:

$$\rho: 1,007 \text{ kg/m}^3$$

$$C_x: 1,15$$

$$A_f: 0,729 \text{ m}^2$$

$$V: 5,555 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}F_{aire} &= 0,5 \cdot (1,007 \frac{kg}{m^3}) \cdot (1,15) \cdot (0,729m^2) \cdot (5,555 \frac{m}{s})^2 \\F_{aire} &= 9,495 \text{ N}\end{aligned}$$

4.2.2.1.2. Fuerza de resistencia a la rodadura.

Para el cálculo de la fuerza de resistencia a la rodadura se utiliza la Ec. (30), determinando el valor que se presenta a continuación:

$$F_{rozamiento} = W \cdot C_{rr} \cdot \cos(\theta) \quad \text{Ec. (30)}$$

Donde:

Peso de la bicicleta W (N): Se incluye la masa de la bicicleta eléctrica con todos sus componentes y además el peso del ciclista.

- Masa de la bicicleta eléctrica: 20 kg
- Masa del ciclista: 82,5 kg

$$m = 102,5 \text{ kg}$$

Aplicando la Ec. (31) es posible determinar el peso total, mismo que se presenta a continuación:

$$W = m \cdot g \quad \text{Ec. (31)}$$

Donde:

m : masa (kg)

g : aceleración debido a la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$)

$$W = (102,5 \text{ kg}) \cdot (9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$W = 1\,005,5 \text{ N}$$

Coefficiente de resistencia a la rodadura C_{rr} : Es una constante que depende de la superficie o el terreno donde se mueve la bicicleta, en la Tabla 20 se presentan algunos valores de la constante para diversos tipos de neumáticos.

Tabla 20. Factor de resistencia a la rodadura según el vehículo y la superficie donde se desplaza

C_{rr}	Descripción
0,0010 a 0,0024	Ruedas de ferrocarril de acero sobre rieles de acero
0,0010 a 0,0015	Rodamientos de bolas en acero sobre acero
0,0025	Neumáticos especiales Michelin para automóvil solar/eco-maratón
0,005	Rieles estándar de tranvía
0,0055	Neumáticos BMX de bicicleta usados para automóviles solares
0,010 a 0,015	Neumáticos ordinarios de automóvil sobre losas de piedra
0,030 a 0,035	Neumáticos ordinarios de automóvil sobre alquitrán o asfalto
0,3	Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena

Fuente: (Piro n.d.)

Para este caso, se selecciona el coeficiente para neumáticos BMX de bicicleta en asfalto, por lo que:

$$C_{rr} = 0,0055$$

Ángulo de inclinación del neumático θ_n : Consiste en el ángulo de desplazamiento del neumático con referencia al terreno. Según (Sandoval Hernández and Rojas Guevara 2015) el ángulo de convergencia es positivo y el de divergencia negativo, ambas características provocan rebabas en la banda de rodadura y desgaste en los bordes del neumático.

Para el caso de la bicicleta eléctrica el ángulo de inclinación tiene un valor de cero tal como se aprecia en la Figura 67.

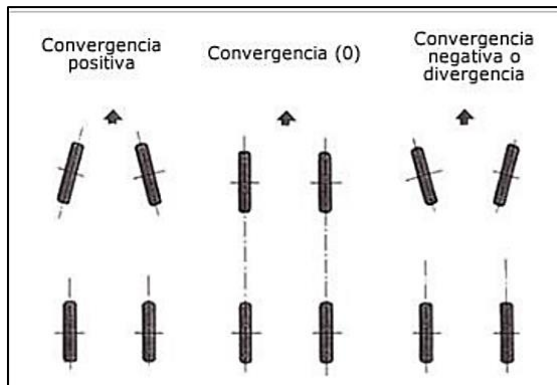


Figura 67. Convergencia – divergencia del neumático
 Nota. Fuente: (Sandoval Hernández and Rojas Guevara 2015)

Utilizando la Ec. (30) es posible determinar la fuerza de resistencia a la rodadura obteniendo el valor que se presenta:

$$F_{rozamiento} = W \cdot C_{rr} \cdot \cos(\theta_n)$$

Donde:

W : 1 005,5 N

C_{rr} : 0,0055

θ_n : 0°

$$F_{rozamiento} = (1\,005,5\,N) \cdot (0,0055) \cdot \cos(0)$$

$$F_{rozamiento} = 5,530\,N$$

4.2.2.1.3. Fuerza de resistencia a la pendiente.

La resistencia gravitatoria o fuerza de resistencia a la pendiente se calcula mediante la Ec. (32):

$$F_{gravidad} = W \cdot \text{sen}(\theta) \tag{Ec. (32)}$$

Donde:

Ángulo de la superficie con respecto al plano horizontal θ (%): La inclinación de una pendiente se expresa en porcentaje, aunque comúnmente se conoce que los ángulos se representan en grados, sin embargo, para estudios de movimiento una pendiente se expresa en porcentaje, en la Figura 68 se presenta el diagrama del plano inclinado para estudio de movimiento, en donde el ángulo θ representa el valor de la inclinación de la pendiente.

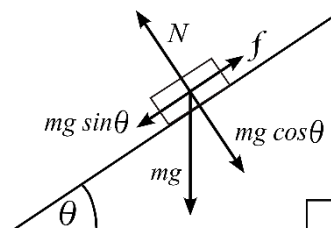


Figura 68. Diagrama del plano inclinado
 Nota. Fuente: Autor

En la Tabla 21 se presentan los porcentajes del ángulo θ para carreteras normales como para montañas, bajo la relación de *seno* (θ) / *coseno* (θ).

Tabla 21. Porcentaje de inclinación en carreteras normales y montañas

Tipo de carretera.	Ángulo θ en grados	Porcentaje de inclinación.
Carreteras Urbanas.	$\theta \leq 10^\circ$	Pendientes menores a 17%
Montañas	$10^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$	Pendientes de hasta 100%

Nota. Fuente: (Ojeda Pereira and Pineda Ortiz 2017)

Para este estudio se considera una pendiente del 10 % por tanto:

$$\theta = 5,71^\circ$$

Entonces según la Ec. (32) la fuerza de resistencia a la pendiente es:

$$F_{gravedad} = W \cdot \text{sen}(\theta)$$

$$F_{gravedad} = (1\ 005,5\ N) \cdot \text{sen}(5,71^\circ)$$

$$F_{gravedad} = 100,04\ N$$

4.2.2.1.4. Fuerza de aceleración.

Para encontrar el valor de la fuerza de aceleración se utiliza la Ec. (33):

$$F_{aceleración} = m \cdot a \quad \text{Ec. (33)}$$

Donde:

La masa de la bicicleta y el ciclista se la determinó según lo descrito en el acápite

4.2.2.1.2.

Aceleración normal con el pedal a (m/s^2): Para determinar el valor de aceleración es necesario registrar el tiempo mientras se pedalea en una distancia definida. Para este caso los datos obtenidos son los que se presentan a continuación:

Tiempo $t = 60$ s

Distancia $d = 85$ m

Para calcular la velocidad lineal se aplica la Ec. (34) de movimiento rectilíneo uniforme, obteniendo el siguiente resultado:

$$V = \frac{d}{t} \quad \text{Ec. (34)}$$

Donde:

V : Velocidad lineal (m/s)

d : Distancia (m)

t : tiempo (s)

$$V = \frac{d}{t} = \frac{85\ m}{60\ s} = 1,416\ \frac{m}{s}$$

Aplicando la Ec. (35) es posible determinar la aceleración de la velocidad en función del tiempo:

$$V_f = V_o + a \cdot t \quad \text{Ec. (35)}$$

Donde:

$$V_f = 1,416 \text{ m/s}$$

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

$$t = 60 \text{ s}$$

$$a = \frac{V_f}{t} = \frac{1,416 \frac{m}{s}}{60 \text{ s}}$$
$$a = 0,0236 \frac{m}{s^2}$$

Mediante la Ec. (33) es posible determinar la fuerza de aceleración, obteniendo:

$$F_{aceleración} = m \cdot a$$

Donde:

$$m: 102,5 \text{ kg}$$

$$a: 0,0236 \text{ m/s}^2$$

$$F_{aceleración} = (102,5 \text{ kg}) \cdot (0,0236 \frac{m}{s^2})$$

$$F_{aceleración} = 2,419 \text{ N}$$

Luego se utiliza la Ec. (27) para determinar la fuerza total necesaria para mover la bicicleta eléctrica, determinando el valor que se presenta a continuación.

$$F_{total} = F_{aire} + F_{rozamiento} + F_{gravedad} + F_{aceleración}$$

$$F_{total} = 9,495 \text{ N} + 5,530 \text{ N} + 100,04 \text{ N} + 2,419 \text{ N}$$

$$F_{total} = 117,484 \text{ N}$$

4.2.2.1.5. *Potencia del motor a seleccionar.*

Para dimensionar la potencia del motor es necesario disponer de la información que se presenta a continuación:

Radio de la rueda (m): Según la geometría de la bicicleta la rueda seleccionada es de 29 pulgadas, con un neumático 29" x 2.20, cuyos datos son los siguientes:

Aro de bicicleta: 29 pulgadas.

Diámetro exterior: 736,6 mm – 0,7366 m

Diámetro interior: 622 mm – 0,622 m

Velocidad lineal: 25 km/h – 6,9444 m/s

Circunferencia de rodadura C_R : Es el perímetro dinámico del neumático, es decir, cuando la rueda da una vuelta completa, el vehículo debe avanzar la misma distancia que la circunferencia de rodadura. (Sandoval Hernández and Rojas Guevara 2015)

La Ec. (36) permite determinar la circunferencia de rodadura, obteniendo para este caso el siguiente valor:

$$C_R = 2 \cdot \pi \cdot r_{interior} \quad \text{Ec. (36)}$$

$$C_R = 2 \cdot \pi \cdot 311 \text{ mm}$$

$$C_R = 1954 \text{ mm} \rightarrow 1,954 \text{ m}$$

Velocidad angular ω : Para obtener la velocidad angular de la rueda se considera la velocidad lineal a la que viaja la bicicleta, despejando de la Ec. (37) se tiene:

$$V = \omega \cdot r \quad \text{Ec. (37)}$$

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

$$\omega = \frac{5,555 \frac{m}{s}}{0,311 \text{ m}} = 17,8 \frac{rad}{s}$$

Torque τ : El torque requerido para vencer la resistencia estática de la bicicleta y el ciclista se determina mediante la Ec. (38) de torque, para este caso se presenta el valor obtenido:

$$\tau = F \cdot r \quad \text{Ec. (38)}$$

Donde:

τ : Torque (N.m)

F : Fuerza (N)

r : radio del aro (m)

$$\tau = (117,484 \text{ N}) \cdot (0,311 \text{ m}) = 36,537 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Potencia del motor P : Con los valores obtenidos hasta el momento de cálculo y aplicando la Ec. (39), es posible determinar la potencia del motor, valor que se presenta a continuación.

$$P = \tau \cdot \omega \quad \text{Ec. (39)}$$

Donde:

P : Potencia (W)

τ : Torque (N.m)

ω : Velocidad angular (rad/s)

$$P = (36,537 \text{ N} \cdot \text{m}) \cdot (17,8 \frac{rad}{s})$$

$$P = 650,367 \text{ W}$$

Para el valor encontrado aún no se considera la eficiencia del motor ya que existen diversos tipos de motores eléctricos con rendimientos distintos.

4.2.2.1.6. Selección del motor eléctrico.

Para seleccionar el motor eléctrico se realiza una comparación entre varios tipos de motores que se adaptan a la aplicación de la bicicleta eléctrica, para ello se consideran algunos aspectos como la potencia, eficiencia, costo etc. Estas características están disponibles en la Figura 69.


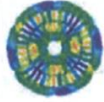






<i>Propulsion Systems</i>				
<i>Characteristics</i>	DC	IM	PM	SRM
<i>Power Density</i>	2.5	3.5	5	3.5
<i>Efficiency</i>	2.5	3.5	5	3.5
<i>Controllability</i>	5	5	4	3
<i>Reliability</i>	3	5	4	5
<i>Technological maturity</i>	5	5	4	4
<i>Cost</i>	4	5	3	4
Σ Total	 22	 27	 25	 23

Figura 69. Evaluación de diferentes sistemas de tracción para vehículos eléctricos
Nota. Fuente: (Hashemnia and Asaei 2008)

En la Figura 69 se asigna una calificación de 0 hasta 5 para cada característica de los motores en donde 0 representa la calificación más baja. Los motores que se presentan son:

- Motor DC: Motor de corriente directa con escobillas.
- Motor IM: Motor de Inducción.
- Motor PM: Motor de imanes permanentes sin escobillas.
- Motor SRM: Motor de reluctancia variable.

En donde el motor de inducción presenta las mejores características seguido del motor de imanes permanentes. Sin embargo, para esta aplicación, un motor de inducción tiene una geometría poco adaptable, mientras que en el mercado de las bicicletas eléctricas el motor de imanes permanentes es el más vendido y confiable.

Se selecciona un motor sin escobillas BLDC “Brushless” de 1 000 W que se encuentra disponible en el mercado local como un elemento dentro del kit eléctrico para bicicleta.

Este motor se lo puede apreciar en la Figura 70 presentada a continuación:



Figura 70. Motor eléctrico tipo Brushless 1 000 W marca *SAILI*

Nota. Fuente: Autor

El motor seleccionado posee las características que se exponen en la Tabla 22:

Tabla 22. Parámetros principales del motor eléctrico Brushless 1 000 W

Potencia nominal	1 000 W
Tipo de motor	Motor sin engranajes, sin escobillas.
Ancho de buje trasero “Dropout”	100 – 142 mm
Tamaño de la rueda	29 pulgadas.
Velocidad nominal	28 – 45 km/h
Eficiencia nominal	≥ 80 %
Rueda libre	Cassette de rosca
Grado de impermeabilidad	IP54
Ruido (db)	< 50

Nota. Fuente: (SAILIMOTOR 2021a)

Una vez dimensionada la potencia del motor, es necesario señalar que, por las características de este tipo de motores, los fabricantes recomiendan el tipo de batería y accionamientos de control para controlar el motor eléctrico; para este caso se seleccionaron de acuerdo a las características del motor los siguientes componentes:

4.2.2.2. Batería seleccionada.

Dentro de los componentes del kit eléctrico para la bicicleta se incluye una batería de iones de litio presentada en la Figura 71.



Figura 71. Batería de litio 48 V 13 Ah marca *Hailong Plus*
Nota. Fuente: Autor

La batería seleccionada presenta las siguientes características:

Tabla 23. Parámetros de la batería de litio 48 V 13 Ah marca *Hailong Plus*

Tipo de batería	Batería de Litio Hailong Plus
Voltaje	48 V
Capacidad	13 Ah
Máximo de celdas	65
Configuración	13S5P
Rendimiento	$\geq 90\%$

Nota. Fuente: (SAILIMOTOR 2021b)

Con la potencia obtenida en el acápite 4.2.2.1.5 se procede a calcular el consumo de energía del sistema motriz.

Aplicando la secuencia de cálculos que se describen a continuación, se obtienen los siguientes resultados:

$$Potencia\ eléctrica = \frac{Potencia\ del\ motor}{Trabajo} \quad Ec. (40)$$

Eficiencia del motor: 80% = 0,80

Eficiencia de la batería: 90% = 0,90

$$Potencia\ eléctrica = \frac{650,367\ W}{0,80 \cdot 0,90} = 903,287\ W$$

Consumo o Energía:

$$Consumo = Potencia\ eléctrica \cdot tiempo \quad Ec. (41)$$

$$Consumo = 903,287\ W \cdot 0,5\ h$$

$$Consumo = 451,643\ Wh$$

Capacidad de descarga:

$$Capacidad = \frac{Consumo}{Voltaje} \quad Ec. (42)$$

$$Capacidad = \frac{451,643\ Wh}{48\ V} = 9,409\ Ah$$

Además, es importante conocer la autonomía de la batería que incluye en el kit eléctrico para bicicleta.

Siendo necesario determinar la energía de la batería mediante la siguiente secuencia de cálculos:

$$Energía = Voltaje \cdot Capacidad \quad Ec. (43)$$

$$Energía = 48\ V \cdot 13\ Ah$$

$$Energía = 624\ Wh \rightarrow 2246400\ Joules$$

Autonomía de la batería:

Se calcula la distancia recorrida por la bicicleta a diferentes velocidades:

$$Autonomía = Voltaje \cdot Capacidad \cdot \frac{Velocidad}{Potencia\ del\ motor} \quad Ec. (44)$$

Para una velocidad de 5 km/h

$$Autonomía = 48V \cdot 13Ah \cdot \frac{5\ \frac{km}{h}}{1\ 000\ W} = 3,12\ km$$

Para una velocidad de 15 km/h

$$Autonomía = 48V \cdot 13Ah \cdot \frac{15\ \frac{km}{h}}{1\ 000\ W} = 9,36\ km$$

Para una velocidad de 20 km/h

$$Autonomía = 48V \cdot 13Ah \cdot \frac{20 \frac{km}{h}}{1000 W} = 12,48 km$$

La autonomía calculada es teórica ya que, en términos reales, la autonomía de la batería dependerá además de la asistencia del ciclista mediante el pedaleo, las condiciones del terreno y la variación de la velocidad.

4.2.2.3. Componentes electrónicos complementarios.

Para el correcto funcionamiento del sistema eléctrico en la bicicleta se requieren de los componentes descritos en la sección 4.1.2.3, Tabla 24, donde se describen los componentes electrónicos que presenta el kit eléctrico par bicicleta.

Tabla 24. Componentes electrónicos complementarios

Componente	Descripción
	<p>Controlador de batería de Litio Voltaje DC: 36V / 48V Corriente: 26A ± 1ª</p>
	<p>Pantalla LCD Modelo SW900A Voltaje de entrada: 48V</p>
	<p>Acelerador tipo moto Sensor para freno regenerativo</p>
	<p>Disco Magnético tipo PAS Modelo: SN:DH2 Número de imanes: 12 Sensor de asistencia al pedaleo Anillo de seguridad.</p>
	<p>Cargador de batería de Litio Modelo: DPLC110V55 Voltaje de entrada: AC 100 – 240 V Frecuencia: 50 / 60Hz Voltaje de salida: DC 54,6 V Amperaje: 2A</p>

Nota. Fuente: Autor

4.2.2.4. Diagrama de conexión del sistema eléctrico.

Para efectuar las conexiones de los componentes eléctricos se desarrolló un diagrama unifilar cuyo plano se encuentra en el Anexo 9. Además, se presenta en la Figura 72 un esquema reducido de conexión.

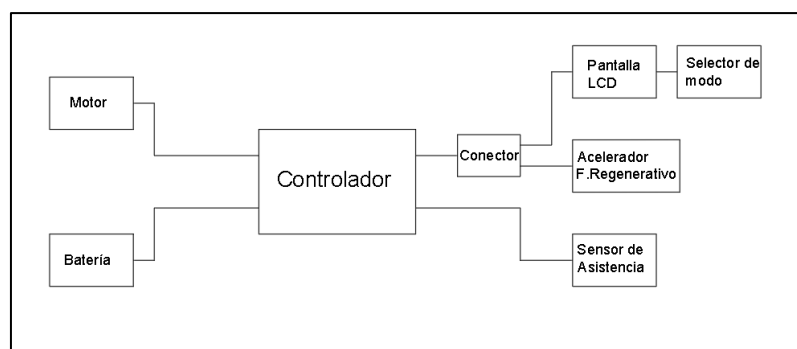


Figura 72. Esquema básico de conexión para el kit eléctrico de bicicleta

Nota. Fuente: Autor

4.3. Ensamblaje de la Bicicleta Eléctrica

4.3.1. Desarrollo

En este apartado se explica cómo se efectuó el ensamblaje de la bicicleta eléctrica partiendo de la selección de componentes, cuadro y sistema eléctrico. En la Tabla 25 se describen los componentes seleccionados.

Tabla 25. Componentes seleccionados para el ensamblaje de la bicicleta

Componentes seleccionados para la bicicleta.	
Cantidad	Descripción
1	Aro 29" de aluminio doble capa.
1	Manzana delantera de aluminio marca Joy Tech con cierre rápido (36
2	Cubiertas All Terrains para aro 29" (29x2.10) Alta presión 65 psi.
2	Cámara de aire Kenda 29 x 1,9/2,3
1	Piñón de rosca Taiwan 8V (13 – 28D)
1	Monoplato Sun-Race Fc-M8oU 32T coronilla de acero
1	Juego de bielas de aluminio Sun-Race 170mm
1	Desviador trasero Shimano Tourney 8V
1	Cadena Maya M410 1/2" x 1/8"
1	Eje sellado Hexon con sistema de rosca.
1	Juego de pedales Necco MTB plástico 9/16 planos.
2	Disco de freno de acero 160mm para tornillo cp
1	Juego de frenos hidráulicos Logan M500
1	Suspensión Raptor 29" recorrido 100 mm con bloqueo manual y
1	Tija de sillín de aluminio LSH (30,4 mm)
1	Sillín antiprostático Eagle MTB 275 x 170 mm Fl-3900
1	Pistas de Trinche NECO H373 para poste cónico 1 1/8" a 1,5"
1	Potencia de aluminio Raptor MTB 70mm; 17grados; 31,8mm
1	Manubrio de aluminio Raptor MTB 35mm x 800mm
1	Maneta de cambio Shimano Tourney TX30 7 Velocidades
1	Juego de puños de goma 130mm

Nota. Fuente: Autor

Luego de obtener todos los equipos y componentes necesarios se procedió al ensamblaje de la bicicleta, se escogió el cuadro considerando como requisito fundamental el espacio en el triángulo principal, en este lugar es donde se ubicada la batería, en la Figura 73 se muestra el cuadro de la bicicleta.



Figura 73. Cuadro de aluminio 6061 *Raptor Titán II*
Fuente: Autor

Posteriormente se instaló las cazoletas donde van alojados los rodamientos de la dirección integrada, así mismo se ubicó el eje de pedaliar con el monoplato Sun-Race de 32 dientes, las bielas de 170 mm, el par de pedales planos y se montó la tija del sillín con su respectiva abrazadera de aluminio, estos detalles también se aprecian en la Figura 73.

Seguidamente se montó la suspensión delantera *Raptor 29"* conjuntamente con los anillos separadores de aluminio, esto con el fin de no cortar el poste de la suspensión, se colocó la potencia y se cierra el acople con la araña de dirección; al otro lado de la potencia se ubica el manubrio *Raptor*, centrado según la marca de alineación que se aprecia en la Figura 74.



Figura 74. Instalación de la suspensión delantera y el manubrio
Nota. Fuente: Autor

Debido a la comodidad que se presentó para ubicar los componentes eléctricos y electrónicos, se procedió a ubicar la base de la batería en el triángulo delantero, esta base se aseguró en una posición donde fuera posible extraer la batería para los ciclos de carga, en la Figura 75 se presenta cómo fue ubicada la batería en el cuadro de la bicicleta.



Figura 75. Ubicación de la batería en el cuadro de la bicicleta.

Nota. Fuente: Autor

Para ensamblar los componentes complementarios fue necesario ubicar las ruedas de la bicicleta, para ello se trabajó en la rueda delantera con el radiado que consiste en entrelazar 36 radios de acero entre el aro y la manzana, como se aprecia en la Figura 76 para posteriormente ensamblar el disco de freno de 160 mm, luego se procedió a ubicar las cámaras de aire y las cubiertas en las ruedas, se introdujo aire a una presión de 35 psi, luego se ubicaron los ejes de las ruedas en la horquilla delantera y en la horquilla de enganche trasera como se aprecia en la Figura 77 .



Figura 76. Radiado de la rueda delantera y montaje del disco de freno

Nota. Fuente: Autor



Figura 77. Montaje de la rueda en la horquilla de enganche trasera
Nota. Fuente: Autor

Se consideró el enrutado interno para la funda de freno trasero y para la pata de cambios, el “shifter” (maneta de cambios) se ubicó en la parte derecha del manubrio, luego se ubicó la maneta de freno trasera, acelerador y finalmente el puño, en la parte izquierda se ubicó el selector de modo, la maneta de freno delantera y el puño, en la parte central se ubicó la pantalla LCD. Estos componentes se los puede observar en la Figura 78.



Figura 78. Montaje de componentes en el manubrio de la bicicleta
Nota. Fuente: Autor

El controlador se ubicó entre la rueda trasera y el tubo vertical, además, el sensor de pedaleo con el disco magnético se inserta en el eje del pedal sin la necesidad de quitar la biela, su diseño permite unir dos semicírculos con una vincha de acero. Esta disposición se la observa en la Figura 79.



Figura 79. Ubicación del sensor de pedaleo, disco magnético y controlador en la bicicleta
Nota. Fuente: Autor

Finalmente se efectuaron las conexiones de los equipos electrónicos de acuerdo a lo expuesto en el circuito eléctrico de la Figura 72, se regula la altura del sillín que ofrezca mejor comodidad para el ciclista al momento de pedalear, así se concluyó con el ensamblaje de la bicicleta eléctrica cuyo resultado se presenta en la Figura 80.



Figura 80. Ensamblaje de la bicicleta eléctrica
Nota. Fuente: Autor

4.3.2. Pruebas de funcionamiento en circuitos abiertos

Se consideraron algunas rutas donde es posible evaluar el funcionamiento de la bicicleta eléctrica. A continuación, se detallan las rutas:

- **Ruta 1:** Calle Reina del Cisne 1 etapa – centro recreacional Padre Eliseo Arias Carrión.

- **Ruta 2:** Plaza central de la parroquia San Pedro de la Bendita - calle Reina del Cisne primera etapa.
- **Ruta 3:** Calle Reina del Cisne 1 etapa - aeropuerto ciudad de Catamayo.

La finalidad de realizar las pruebas de la bicicleta eléctrica es comprobar la funcionalidad del sistema eléctrico y conocer la autonomía de la batería, para ello se siguen los siguientes pasos:

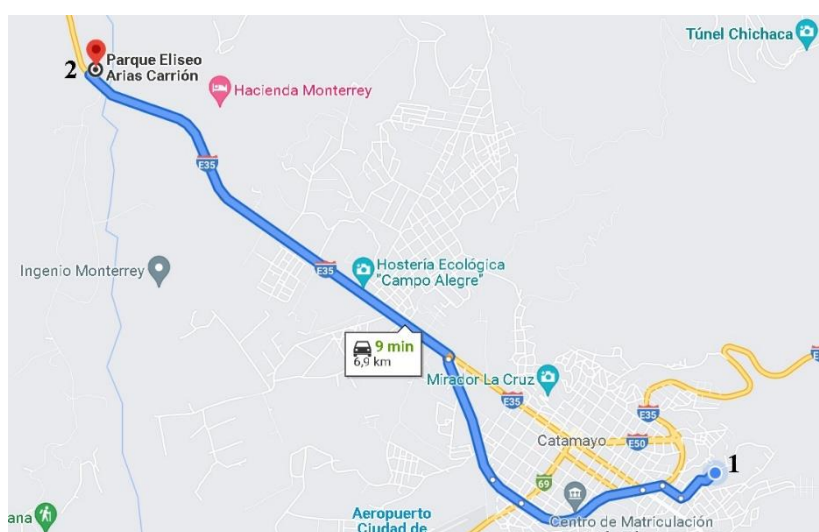
- Registrar el voltaje inicial de la batería antes de empezar el recorrido.
- Tomar el pulso cardiaco del ciclista.
- Iniciar la ruta mediante la aplicación móvil Relive.
- Registrar el voltaje final de la batería al terminar la ruta.
- Tabular los valores como velocidad media, distancia recorrida, tiempo y el pulso cardiaco del ciclista al término de la ruta.

4.3.2.1. Resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento en circuito abierto.

En la primera ruta ejecutada desde la calle Reina del Cisne primera etapa hacia el centro recreacional Padre Eliseo Arias Carrión se registraron los resultados presentados en la Tabla 26:

Tabla 26. Resultados de la prueba efectuada a la ruta N°1

Ruta N° 1	Calle Reina del Cisne 1 etapa - Centro recreacional Padre Eliseo Arias Carrión.					
Voltaje inicial de la batería	Pulso cardiaco inicial del ciclista	Tiempo de recorrido	Distancia de ruta	Velocidad media	Pulso cardiaco final del ciclista	Voltaje final de la batería.
49 V	90 ppm	00:13:00	6,9 km	31,1 km/h	96 ppm	47,5 V



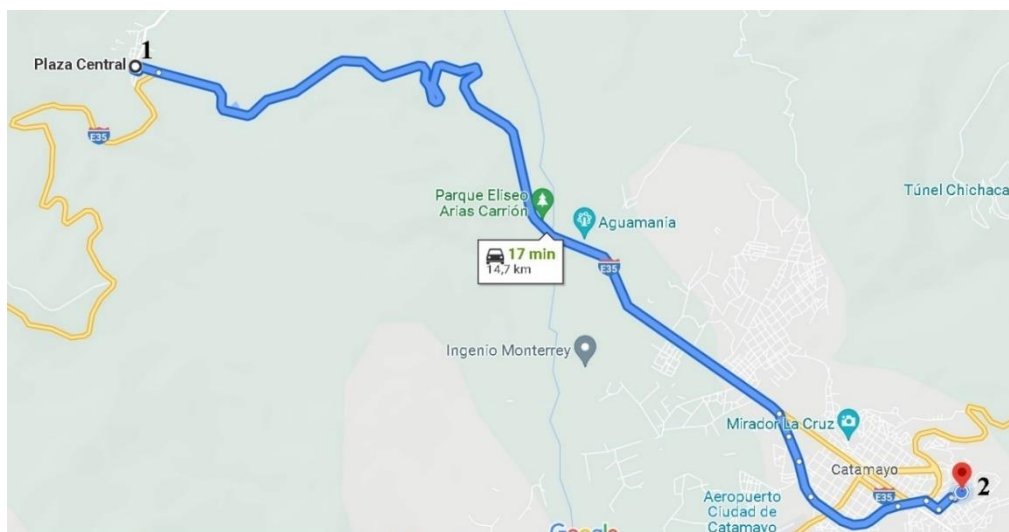
Nota. Fuente: Autor

Según los valores registrados en la Tabla 26, existe la disminución de 1,5 V desde el comienzo de la prueba hasta completar la ruta, se recorrió una distancia de 6,9 km en un tiempo de 13 minutos a una velocidad media de 31,1 km/h sobre carretera de segundo orden, asfalto y concreto, además, en la ruta existe descenso y superficies planas. El pulso cardiaco se encuentra dentro del rango normal para una persona mayor de 10 años en un estado de reposo que es de 60 a 100 ppm (MacGill 2016)

En la segunda ruta ejecutada desde la plaza central de la parroquia San Pedro de la Bendita hacia la calle Reina del Cisne primera etapa se registraron los resultados presentados en la Tabla 27:

Tabla 27. Resultados de la prueba efectuada a la ruta N°2

Ruta N° 2	Plaza central de la parroquia San Pedro de la Bendita - Calle Reina del Cisne 1 etapa.					
Voltaje inicial de la batería	Pulso cardiaco inicial del ciclista	Tiempo de recorrido	Distancia de ruta	Velocidad media	Pulso cardiaco final del ciclista	Voltaje final de la batería.
48 V	85 ppm	38 min	14,5 km	22,5 km/h	96 ppm	45,1 V



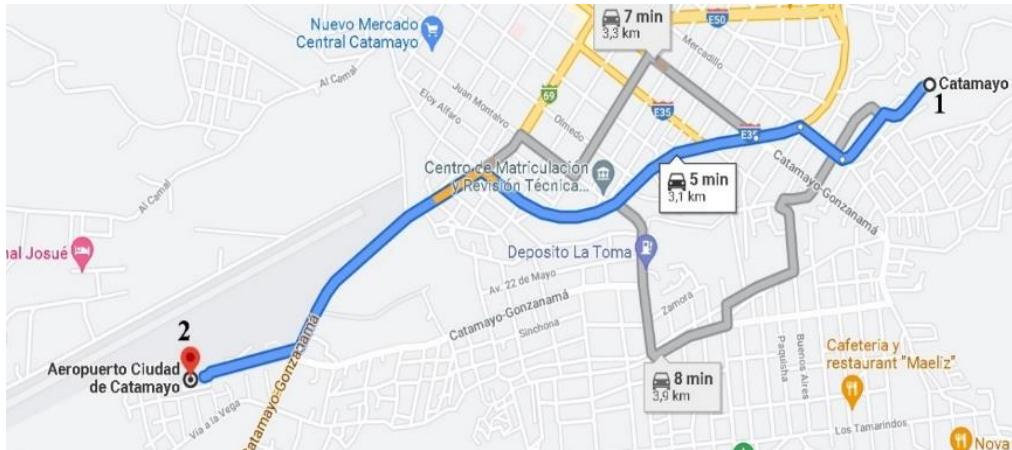
Fuente: Autor.

En la segunda prueba de funcionamiento se obtuvo una disminución del voltaje de 2,9 V, debido a la asistencia del motor, sin embargo, se compensa con la distancia recorrida de 14,5 km a una velocidad promedio de 22,5 km/h. Además, el pulso cardiaco se mantiene en el rango de una persona adulta en estado de reposo.

En la tercera ruta ejecutada desde la calle Reina del Cisne primera etapa hacia el Aeropuerto Ciudad de Catamayo se registraron los resultados presentados en la Tabla 28:

Tabla 28. Resultados de la prueba efectuada a la ruta N°3

Ruta N° 3	Calle Reina del Cisne 1 Etapa – Aeropuerto Ciudad de Catamayo.					
Voltaje inicial de la batería	Pulso cardiaco inicial del ciclista	Tiempo de recorrido	Distancia de ruta	Velocidad media	Pulso cardiaco final del ciclista	Voltaje final de la batería.
54 V	85 ppm	00:07:00	3 km	25,2 km/h	90 ppm	53,5 V



Nota. Fuente: Autor

En la prueba de funcionamiento 3 se registró una disminución del voltaje de 0,5 V, dentro de la ruta se presentan tramos de descenso, superficies planas y un considerable tráfico vehicular. Se recorrió 3 km en 7 minutos a una velocidad media de 25,2 km/h. Además, el pulso cardiaco se mantiene en el rango normal de una persona adulta en reposo por lo que no se efectúan grandes esfuerzos físicos.

4.3.3. Pruebas de funcionamiento en circuito cerrado

Con la finalidad de representar la autonomía del sistema eléctrico se realizan pruebas de funcionamiento en un circuito cerrado, para ello se requiere que el ciclista alcance una velocidad constante en una distancia predeterminada, por motivos del tráfico vehicular y el desnivel del terreno que existe en las carreteras convencionales no se ha considerado realizarlas en este tipo de escenarios, sin embargo, se efectúan en la vía de acceso al aeropuerto “Ciudad de Catamayo”, para ello se destacan algunos detalles en la Tabla 29.

Tabla 29. Características del terreno para las pruebas de funcionamiento en ciclo cerrado

Características del terreno para realizar las pruebas de funcionamiento en ciclo cerrado	
Lugar:	Vía de Acceso al aeropuerto Ciudad de Catamayo
Dirección:	Panamericana Catamayo – Gonzanamá; C. de la Torre de Control.
Distancia del circuito:	800 m por vuelta
Propiedades del circuito:	Vía asfaltada
Estado:	Excelente
Pista:	Calzada regular plana.

Nota. Fuente: Autor



Figura 81. Vía de acceso al aeropuerto ciudad de Catamayo
 Nota. Fuente: (google 2022)

4.3.3.1. Resultados de las pruebas de funcionamiento en circuito cerrado.

Esta prueba consiste en registrar algunas medidas como el voltaje, el tiempo y la velocidad media en cada vuelta con la ayuda de un cronómetro, multímetro y la aplicación de teléfono móvil Relive. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30. Resultados de la prueba en circuito cerrado para 800 m

Vuelta	Distancia (m)	Tiempo	Voltaje (V)	Velocidad media (km/h)
0	0	0:00:00	52,8	0
1	800	0:01:41	52,5	27,5
2	800	0:01:41	52,1	27,6
3	800	0:01:39	51,8	27,6
4	800	0:01:36	51,5	27,5
5	800	0:01:35	51,1	28,3
6	800	0:01:32	50,7	29,7
7	800	0:01:32	50,4	29,8
8	800	0:01:30	50,1	30
9	800	0:01:30	49,8	29,2
10	800	0:01:28	49,6	31,2

Nota. Fuente: Autor

En base a los resultados de la Tabla 30 para una distancia de 800 m es posible apreciar la descarga de energía en la batería, misma que se ilustra en la Figura 82, en donde, además, se traza una línea de tendencia para determinar la trayectoria que seguirá la gráfica del voltaje según el número de vueltas.

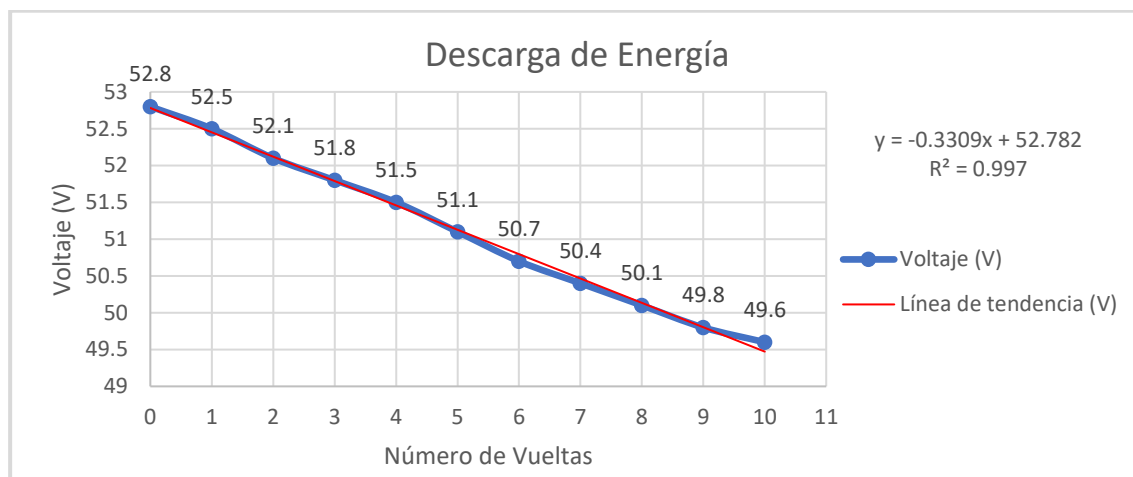


Figura 82. Descarga de energía de la batería
 Nota. Fuente: Autor

De la Figura 82 se obtiene la ecuación de la línea de tendencia Ec. (45), la cual permite determinar la autonomía de la batería en función de la distancia recorrida, para ello se identifica cada una de las variables.

$$y = -0,3309 \cdot x + 52,782 \quad \text{Ec. (45)}$$

En donde:

- x : Número de vueltas.
- y : Voltaje de la batería.

De la Ec. (45) se despeja la variable x para determinar el número de vueltas que se puede realizar con una carga completa de la batería. Para ello se realiza la medición del voltaje cuando la batería está al 100 % de carga y el voltaje cuando se descarga por completo.

- Voltaje máximo de la batería: 54,3 V
- Voltaje mínimo de la batería: 39 V

$$y = -0,3309 \cdot x + 52,782$$

$$x = \frac{52,782 - y}{0,3309}$$

Debido a que la prueba de funcionamiento no se realizó con la batería cargada al 100 % de su capacidad, se obtuvieron valores negativos con voltajes superiores a 52,8 V, el valor obtenido con el voltaje máximo se debe adicionar al número de vueltas que se obtenga al introducir el voltaje mínimo de la batería, como se presenta en la Tabla 31.

Tabla 31. Distancia recorrida en función del voltaje de la batería.

Voltaje de la batería (V)	Nº vueltas	Distancia recorrida (m)	Distancia recorrida (km)
54,3	-4,6	3 669,99	3,67
39	40,7	33 320,04	33,32
TOTAL	45,3	36 990,03	36,99

Nota. Fuente: Autor

Para las características de terreno descritas en la Tabla 29, la autonomía de la batería es de aproximadamente 37 km, considerando que el mayor trabajo lo realiza el motor eléctrico, ya que se seleccionó el nivel de asistencia máximo.

4.3.4. Análisis técnico económico

4.3.4.1. Costos de materiales y ensamblaje de la bicicleta eléctrica.

Para el ensamblaje de la bicicleta eléctrica se utilizaron varios componentes, tanto eléctricos como mecánicos.

En la Tabla 32 se detallan los precios de los componentes mecánicos utilizados en el ensamblaje de la bicicleta eléctrica.

Tabla 32. Precio de los componentes mecánicos de la bicicleta eléctrica

Precio de los componentes mecánicos para la bicicleta eléctrica.			
Cantidad	Descripción	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	Cuadro de Aluminio 6061 para MTB talla M marca Raptor Titan 2	70	70
1	Aro 29" de aluminio doble capa.	20	20
1	Manzana delantera de aluminio marca Joy Tech con cierre rápido (36 radios)	10	10
2	Cubiertas All Terrains para aro 29" (29x2,5) Alta presión 65 psi	20	40
2	Cámara de aire Kenda 29 x 1,9/2,3	4	8
1	Piñón de rosca Taiwan 8V (13 - 28D)	10	10
1	Monoplato Sun-Race Fc-M8oU 32T coronilla de acero	45	45
1	Juego de bielas de aluminio Sun-Race 170mm		
1	Desviador trasero Shimano Tourney 8V	20	20
1	Cadena Maya M410 1/2" x 1/8"	5	5
1	Eje sellado Hexon con sistema de rosca.	8	8
1	Juego de pedales Necco MTB plástico 9/16 planos.	4	4
2	Disco de freno de acero 160mm para tornillo cp	8	16
1	Juego de frenos hidráulicos Logan M500	34	34
1	Suspensión Raptor 29" recorrido 100 mm con bloqueo manual y regulación	70	70
1	Tija de sillín de aluminio LSH (30,4 mm)	5	5
1	Sillín antiprostático Eagle MTB 275 x 170 mm Fl-3900	10	10
1	Pistas de Trinche NECO H373 para poste cónico 1 1/8" a 1,5" Dirección integrada.	3	3
1	Potencia de aluminio Raptor MTB 70mm; 17grados; 31,8mm	10	10
1	Manubrio de aluminio Raptor MTB 35mm x 800mm	10	10
1	Juego de puños de goma 130mm	3	3
TOTAL			401 USD

Nota. Fuente: Autor

A más de los componentes mecánicos que sirven para ensamblar una bicicleta convencional, se adquirió el sistema eléctrico para la conversión de una bicicleta normal a bicicleta eléctrica, de acuerdo al análisis efectuado. Los componentes eléctricos se detallan en la Tabla 33.

Tabla 33. Precio del kit eléctrico para la bicicleta.

Precio del kit eléctrico para la bicicleta			
Cantidad	Descripción	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	Motor eléctrico tipo Brushless de 1000 W marca SAILI		
1	Batería de Ion Litio 48V 13Ah marca Hailong Plus		
1	Controlador electrónico		
1	Pantalla LCD modelo SW900A	380	380
1	Acelerador tipo moto		
1	Sensor de asistencia al pedaleo		
1	Disco magnético tipo PAS		
1	Cargador de batería de Litio 2A		
TOTAL			380 USD

Nota. Fuente: Autor

Además de los precios por los componentes eléctricos y mecánicos se tienen otros rubros por concepto de mano de obra, los mismos que se encuentran detallados en la Tabla 34.

Tabla 34. Precio por mano de obra para el ensamblaje de la bicicleta eléctrica

Precio de mano de obra para el ensamblaje la bicicleta eléctrica		
Descripción	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Pintura al horno para el cuadro de la bicicleta	45	45
Ensamble de la bicicleta eléctrica.	10	10
TOTAL		55 USD

Nota. Fuente: Autor

En la Tabla 35 se registra el costo general del ensamblaje de la bicicleta eléctrica.

Tabla 35. Costo total del prototipo

Costo total del prototipo	(USD)
Componentes mecánicos	401
Kit eléctrico	380
Mano de obra	55
TOTAL	836 USD

Nota. Fuente: Autor

La inversión total para el ensamblaje de la bicicleta eléctrica es de ochocientos treinta y seis dólares.

4.3.4.2. Costos por consumo de energía eléctrica.

Para determinar la cantidad de energía necesaria para recargar la batería de litio se utilizó un contador instantáneo de electricidad “e2 classic” de la marca “Efergy” como se presenta en la Figura 83, con este equipo es posible registrar el consumo eléctrico y económico que representa recargar la batería.



Figura 83. Monitor *Efergy E2 classic*
Nota. Fuente: (Efergy 2022)

Además, en el programa Elink versión 2.3 se puede descargar los datos registrados en el monitor e2 classic, identificando el consumo energético diario, semanal mensual e inclusive anual con un historial de máximo dos años; también se puede generar un informe detallado donde se emite un documento PDF y una hoja de cálculo.

Para identificar la cantidad de consumo energético de la batería de litio, se la descargó completamente hasta llegar al voltaje mínimo de 39 V, a partir de este punto empezó a cargarse la batería con 54,6 V de corriente continua CC con una intensidad de 2 A (amperios).

En Ecuador el costo de energía es de 10,47 centavos de dólar por cada kilovatio hora consumido hasta 300 kWh (ARCONEL 2021).

El valor de consumo registrado en el contador de electricidad para cargar la batería por completo es de 0,69 kWh, lo que representa un costo de 0,07 USD, además, el informe emitido por el programa Elink se presenta en el Anexo 7.

El fabricante de la batería seleccionada, recomienda no descargarla totalmente, es preferible dejar un 20% restante o hasta que el indicador del estado de la batería en la pantalla LCD mantenga solo una unidad de carga, esto con el fin preservar su vida útil.

En base a las recomendaciones descritas se procede a calcular un estimado de consumo de energía eléctrica y los costos que representa de manera semanal y mensual, en la Tabla 36 se presentan el análisis efectuado.

Tabla 36. Estimado de consumo de energía eléctrica

Recarga de la batería al 100%	Recarga de la batería al 80%	Consumo semanal de recarga de la batería	Consumo mensual de recarga de la batería
0,69 kWh	0,552 kWh	3,864 kWh	16,56 kWh
Costo de Energía USD/kWh			
0,07 USD	0,058 USD	0,405 USD	1,733 USD

Nota. Fuente: Autor

Para determinar el consumo energético se realizó la comparación entre el prototipo de bicicleta eléctrica desarrollado, el vehículo *Kia rio 1.4 edición 7 (99 CV)* y una bicicleta convencional, en términos de consumo energético, emisiones de contaminantes y costos. Para el análisis se consideraron las rutas trazadas en la sección de *Pruebas de funcionamiento en circuitos abiertos*.

4.3.4.3. Factores para determinar el consumo energético, contaminación ambiental y costos.

4.3.4.3.1. Costo de energía eléctricas y combustible.

En el territorio ecuatoriano el servicio de energía eléctrica es regulado por la *Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL)*, la cual determina los precios que se deben aplicar para los consumidores del servicio.

El servicio de energía eléctrica según ARCONEL (2021) contempla dos categorías de tarifas que dependen de las características del consumidor, residencial y general, además se establecen tres niveles de voltaje: bajo ($NV < 0,6 \text{ kV}$); medio ($0,6 \text{ kV} \leq NV \leq 40 \text{ kV}$); alto ($40 \text{ kV} \leq NV \leq 138 \text{ kV}$) ($NV > 138 \text{ kV}$).

- Tarifa residencial: Destinada exclusivamente para el uso doméstico, independientemente del tamaño de la carga
- Tarifa general: Destinada para actividades distintas al uso doméstico, básicamente el comercio, sector industrial servicios públicos y privados.

La *Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A. (EERSSA)* es la encargada de suministrar energía eléctrica a las provincias de Loja, Zamora Chinchipe y parte de Morona Santiago, los precios establecidos por la ARCONEL se presentan en la Tabla 37.

Tabla 37. Cargos tarifarios únicos

Sector Residencial Rango de consumo (kWh/mes)	Energía (USD/kWh)	Sector General Rango de consumo (kWh/mes)	Energía (USD/kWh)
1-50	0,091	1-300	0,092
51-100	0,093	Superior	0,103
101-150	0,095		
151-200	0,097		
201-250	0,099		
251-300	0,101		
301-350	0,103		
351-500	0,105		
501-700	0,1285		
701-1 000	0,1450		
1 001-1 500	0,1709		
1 501-2 500	0,2752		
2 501-3 500	0,4360		
Superior	0,6812		

Nota. Fuente: (ARCONEL 2021)

Además, en Ecuador se comercializa gasolina super de 90 octanos y gasolina extra de 85 octanos. Para el siguiente análisis se considera lo expuesto por La Cámara Nacional de Distribuidores de Derivados de Petróleo según el comunicado emitido desde el martes 12 de abril de 2022 hasta el 11 de mayo de 2022, en donde se señala que el precio de venta al público sugerido para un galón de gasolina super es de 4,66 USD, mientras que el galón de gasolina ecopaís es de 2,55 USD y el diésel de 1,90 USD (PETROECUADOR 2022).

4.3.4.3.2. Factor de emisión de contaminantes.

Los factores de emisión expresan la relación que existe entre la cantidad de contaminante que se emite hacia la atmósfera y la actividad, comúnmente se interpretan en unidades de masa de contaminante emitida por distancia recorrida, se pueden obtener por métodos directos e indirectos. (Sánchez et al. 2013)

- **Métodos directos:** Representan las emisiones de un vehículo en las condiciones reales de operación, el precio del equipo requerido para la evaluación es alto por lo que no resulta viable en países de bajos recursos. Los métodos más usados son: sensor remoto – medición a bordo – prueba en dinamómetro (Sánchez et al. 2013).
- **Métodos indirectos:** Se basa en modelos internacionales los mismos que utilizan datos de los métodos directos y los ajustan a las condiciones teóricas de cada modelo. Los modelos más usados son: *MOBILE 6 – Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES) – International Vehicle Emissions Model (IVE) –*

Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport (COPERT)
(Sánchez et al. 2013).

En este proyecto se consideraron los factores de emisión del reporte “promedio anual de emisiones y consumo de combustible para vehículos de pasajeros y camiones ligeros” que se obtuvieron mediante el método indirecto *MOBILE 6*. En la Tabla 38 se presentan dichos factores.

Tabla 38. Factores de emisión de vehículos a gasolina

Contaminante	Factor de emisión (g/milla)		Factor de emisión (g/km)	
CO	9,400		5,840	
NO _x	0,693		0,430	
CO ₂	368,4		288,9	
PM ₁₀	0,0044		0,0027	
PM _{2.5}	0,0041		0,0025	
CH ₄	1991	0,0704	1991	0,0437
	2002	0,0107	2002	0,0066
	2004	0,0145	2004	0,0090
	2005	0,0147	2005	0,0091
	2007	0,0170	2007	0,0105
	2009 – act.	0,0173	2009 – act.	0,0107
	1991	0,0647	1991	0,0402
N ₂ O	2002	0,0153	2002	0,0095
	2004	0,0083	2004	0,0051
	2005	0,0079	2005	0,0049
	2007	0,0041	2007	0,0025
	2009 – act.	0,0036	2009 – act.	0,0022

Nota. Fuente: (Ordóñez Luna 2016)

Se consideró la central de generación térmica Catamayo, la misma que está ubicada en la parroquia y cantón del mismo nombre, dos kilómetros al occidente de la cabecera cantonal vía a la costa. Funciona con motores de combustión interna que suministran energía a voltajes de 13,8 kV y 4,16 kV. Cuenta con 10 máquinas que aportan con una potencia de 19 720 kW, esta subestación se conecta con el sistema de la EERSSA a través de líneas de subtransmisión a 69 kV hacia Loja, Cariamanga y Macara. (EERSSA 2016)

Para este estudio se consideró las emisiones generadas por los motores de la central térmica Catamayo, cuyos valores se los determinó mediante el uso de los factores de emisión para una termoeléctrica de fuel oil, los mismos que se presentan en la Tabla 39.

Tabla 39. Factores de emisión en termoeléctrica de Fuel Oil

Contaminante	Factor de emisión (g/GJ)	Factor de emisión (g/kWh)
CO	100	0,36
NO _x	1 150	4,14
CO ₂	76 000	273,60
PM ₁₀	3	0,108
PM _{2,5}	3	0,108
N ₂ O	1,75	0,0063
CH ₄	3	0,108

Nota. Fuente: (Ordóñez Luna 2016)

4.3.4.3.3. Cálculo de contaminantes.

Para estimar la cantidad de contaminantes que produce un vehículo de combustión interna por cada kilómetro recorrido y la generación de un kWh en una central térmica por los motores estacionarios de Fuel Oil, se determinan los valores de emisiones mediante la Ec. (46) y Ec. (47) respectivamente.

$$C_c = FE \cdot d_r \quad \text{Ec. (46)}$$

Donde:

C_c = Cantidad de contaminante emitido (g)

FE = factor de emisión (g/km)

d_r = Distancia recorrida (km)

$$C_c = FE \cdot E_r \quad \text{Ec. (47)}$$

Donde:

C_c = Cantidad de contaminante emitido (g)

FE = factor de emisión (g/kWh)

E_r = Energía recorrida (kWh)

4.3.4.3.4. Rendimiento.

Según Rovira de Antonio y Domínguez Muñoz (2016) el rendimiento es el cociente entre la potencia efectiva y la indicada; de igual manera se obtiene el rendimiento en términos de energía como el cociente entre la energía obtenida y la energía aportada.

Es posible obtener el rendimiento de una máquina o motor con la Ec. (48) presentada a continuación:

$$\eta = \frac{\text{Energía obtenida}}{\text{Energía aportada}} \cdot 100 \quad \text{Ec. (48)}$$

Según González Calleja (2012) en motores de combustión interna el rendimiento efectivo máximo se encuentra en el rango del 25% - 35% para motores a gasolina, mientras que para motores a diésel el rango es 30% - 50%.

El uso real de energía en las bicicletas eléctricas está relacionado con la eficiencia del cargador de la batería, por lo general se encuentra en el rango de 82% - 90%, además, la eficiencia del motor eléctrico oscila entre 75% - 95% (Asian Development Bank 2009).

La eficiencia metabólica de un ciclista es notablemente buena, algunos estudios calorímetros demuestran que un atleta puede llegar a tener eficiencias entre 22% - 26% dependiendo de la producción de potencia, esto quiere decir que por cada caloría de energía mecánica entregada a la bicicleta se consume aproximadamente 4 calorías de energía alimentaria (Lemire-Elmore 2004).

Se efectuó una comparación sobre los medios de transporte y se determinó la factibilidad de la bicicleta eléctrica como medio de transporte alternativo, para ello se presentan los resultados en tres categorías como son:

4.3.4.3.5. *Consumo energético.*

Se analizó que la energía necesaria para movilizar el vehículo, la bicicleta eléctrica y la bicicleta convencional es dos rangos de eficiencia, esto con el fin de estimar la variación de energía. Para el caso del vehículo el rango de eficiencia general se encuentra entre el 25% - 35%, mientras que para la bicicleta eléctrica el rango es de 75% - 95%; la bicicleta convencional presenta un rendimiento por parte del ciclista entre 22% - 26%.

En la Tabla 40 se presentan los valores estimados de consumo de energía.

Tabla 40. Consumo energético por rutas (kWh).

Ruta	Vehículo		Bicicleta eléctrica		Bicicleta	
	n:23%	n:29%	n:75%	n:95%	n:22%	n:26%
Ruta 1	20.92	14.94	0.29	0.23	0.34	0.29
Ruta 2	54.14	38.67	0.84	0.67	0.85	0.72
Ruta 3	12.30	8.79	0.16	0.12	0.16	0.13
Total	29.12	20.80	0.43	0.34	0.45	0.38

Nota. Fuente: Autor

En la Figura 84 y Figura 85 se representan los valores de consumo energético por rutas, con su respectivo rendimiento.

Consumo energético con mínimo rendimiento (kWh)

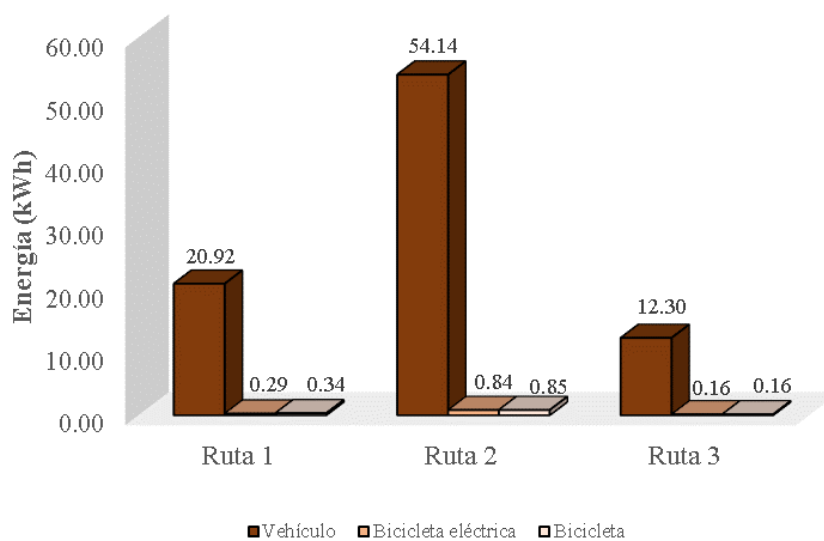


Figura 84. Consumo energético con mínimo rendimiento (kWh)
Nota. Fuente: Autor

Consumo energético con máximo rendimiento (kWh)

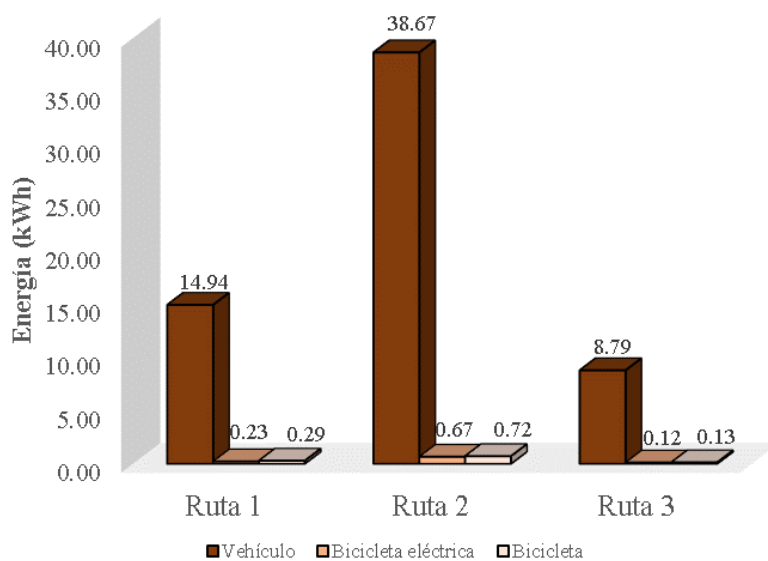


Figura 85. Consumo energético con máximo rendimiento (kWh)
Nota. Fuente: Autor

En la Figura 86 se presenta el resultado global del consumo de energía para las rutas trazadas, estos valores de los denominó como recorrido.

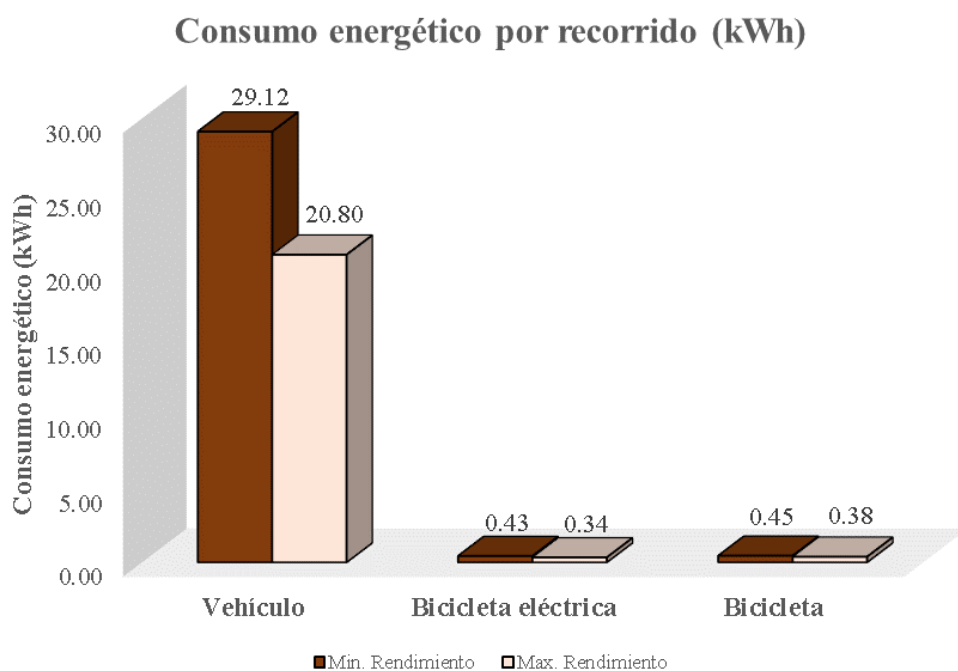


Figura 86. Consumo energético por recorrido (kWh)

Nota. Fuente: Autor

Para movilizar la bicicleta convencional, se requirió 0,45 kWh de energía, para ello fue necesario consumir 387,19 Kcal provenientes de los alimentos.

Los medios de transporte recorrieron la misma distancia en cada una de las rutas, con lo cual fue posible obtener una distancia promedio de 8,13 km, así, mediante los valores de energía requeridos, se pudo estimar el consumo energético por cada 100 km recorridos, cuyos resultados se los presenta en la Tabla 41 respectivamente.

Tabla 41. Consumo energético (kWh/100 km)

Consumo energético (kWh/100 km)			
	Vehículo	Bicicleta eléctrica	Bicicleta
Min. Rendimiento	358.17	5.28	5.54
Max. Rendimiento	255.84	4.17	4.69

Nota. Fuente: Autor

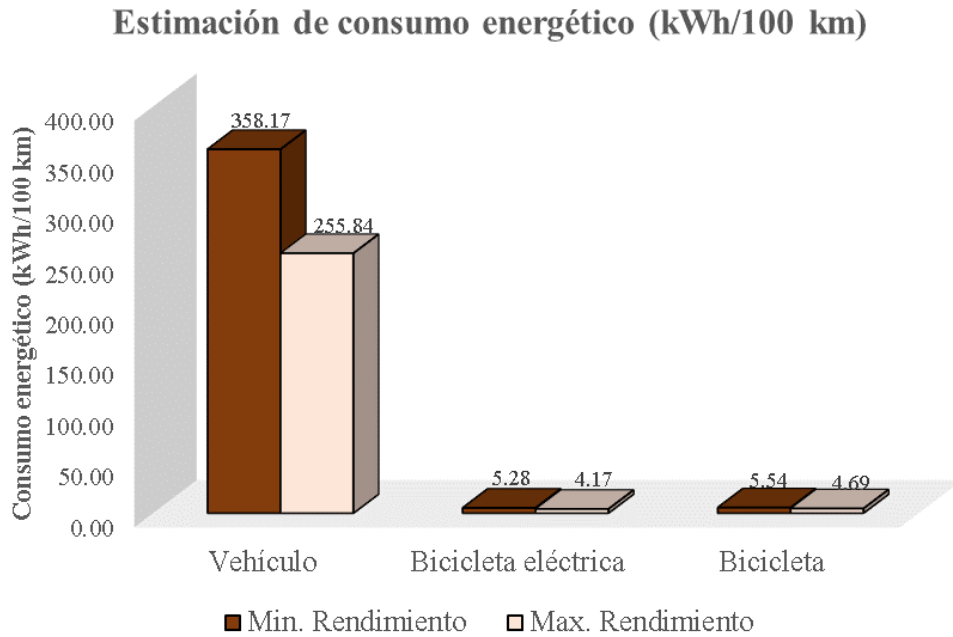


Figura 87. Consumo energético (kWh/100 km)

Nota. Fuente: Autor

4.3.4.3.6. Contaminación ambiental.

El grupo de contaminantes, criterio que provoca el calentamiento global mediante el efecto invernadero y que además causa graves afectaciones a la salud humana, son emitidos por el vehículo al momento de la combustión, mientras que en la bicicleta eléctrica son producidos al momento de generar la energía que se requiere para su movilización. En el caso de la bicicleta convencional, no se origina contaminación.

En la Tabla 42 se presentan los valores de emisiones de contaminantes expresados en gramos por recorrido.

Tabla 42. Emisiones de contaminantes (g/recorrido)

Contaminantes	Vehículo	Bicicleta eléctrica	
		n: 75%	n: 95%
CO	47.48	0.15	0.12
NOx	3.50	1.78	1.40
CO2	2348.76	117.55	92.80
PM10	0.02	0.05	0.04
PM2.5	0.02	0.05	0.04
N2O	0.02	0.00	0.00
CH4	0.09	0.05	0.04

Nota. Fuente: Autor

Para representar gráficamente los valores de la Tabla 42 se procedió a seccionar los contaminantes en función de la escala, de manera que resulte apropiado su análisis. En la leyenda de cada gráfico presentado, se describe a la bicicleta eléctrica con mínimo rendimiento como (B.e. min. Rend.) y con el máximo rendimiento como (B.e. max. Rend.).

En la Figura 88 se presentan las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx) por recorrido.

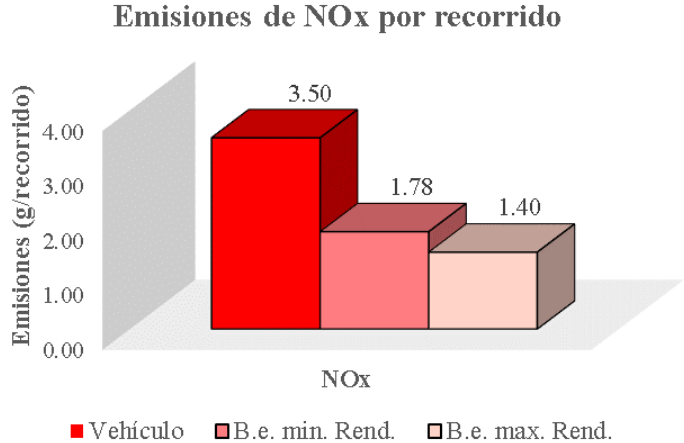


Figura 88. Emisiones de NOx por recorrido
Nota. Fuente: Autor

En la Figura 89 se presentan las emisiones de monóxido de carbono (CO) por recorrido.

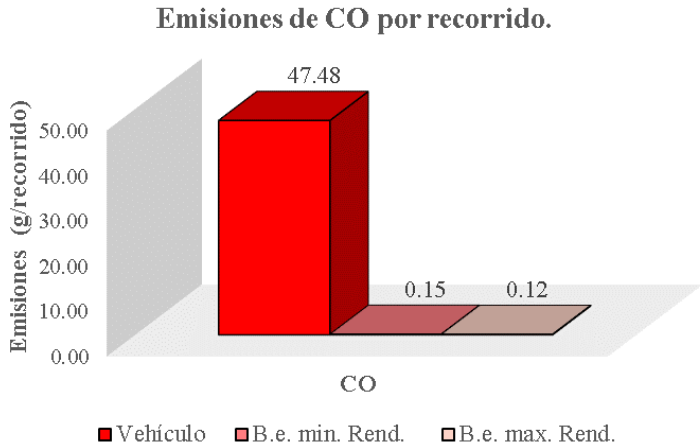


Figura 89. Emisiones de CO por recorrido
Nota. Fuente: Autor

En la Figura 90 se presentan las emisiones de dióxido de carbono (CO2) por recorrido.

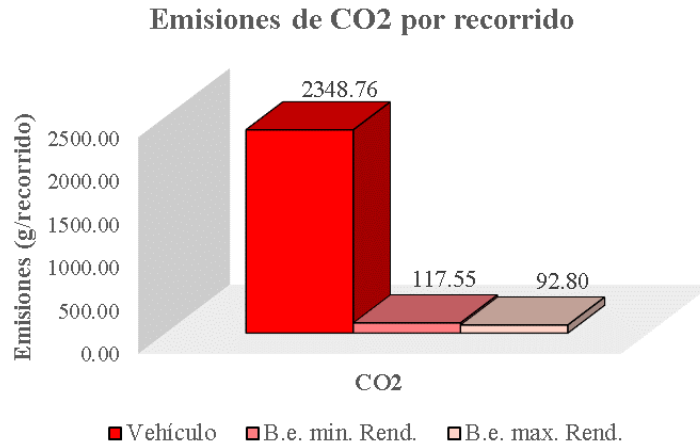


Figura 90. Emisiones de CO2 por recorrido

Nota. Fuente: Autor

En la Figura 91 se presentan las emisiones de material particulado (PM10; PM2,5), óxido nitroso (N2O) y gas metano (CH4) por recorrido.

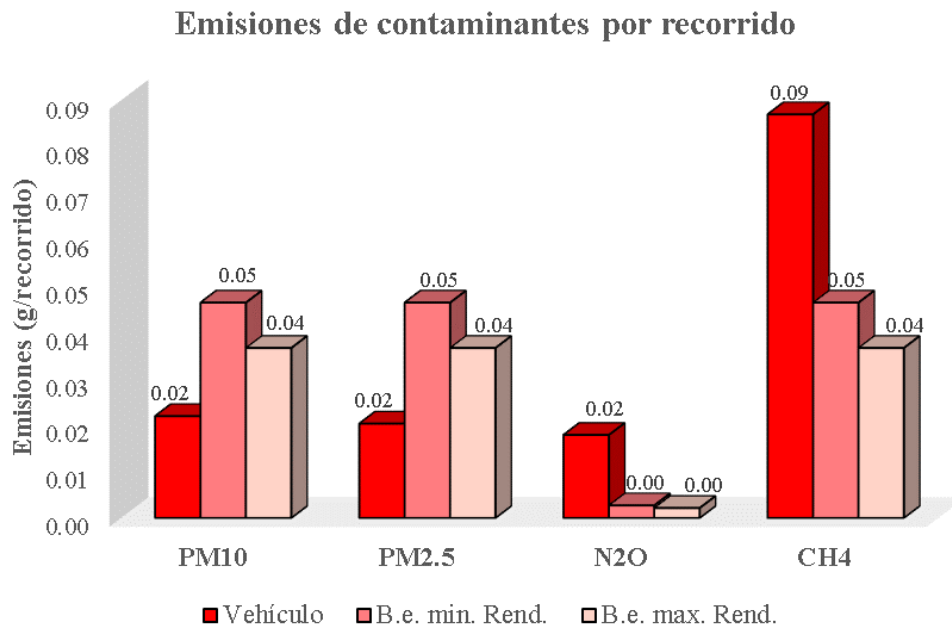


Figura 91. Emisiones de contaminantes por recorrido

Nota. Fuente: Autor

Como caso de estudio se estableció que una persona realiza este recorrido 2 veces al día para transportarse desde su hogar al trabajo, con base a esta premisa es posible estimar la contaminación que genera el movilizarse de forma mensual (20 días) y anual (449 días). Considerando los días laborables únicamente.

En la Tabla 43 se presentan los valores resultantes de la estimación de contaminación mensual y anual.

Tabla 43. Emisiones mensuales y anual de contaminantes (g)

Contaminante	Vehículo		Bicicleta eléctrica			
	Mensual	Anual	Mensual		Anual	
			n: 75%	n: 95%	n: 75%	n: 95%
CO (g)	1899.17	23644.64	6.19	4.88	77.02	60.81
Nox (g)	139.84	1740.96	71.15	56.17	885.78	699.30
CO2 (kg)	93.95	1169.68	4.70	3.71	58.54	46.21
PM10 (g)	0.88	10.93	1.86	1.47	23.11	18.24
PM2.5 (g)	0.81	10.12	1.86	1.47	23.11	18.24
N2O (g)	0.72	8.91	0.11	0.09	1.35	1.06
CH4 (g)	3.48	43.32	1.86	1.47	23.11	18.24

Nota. Para el caso del dióxido de carbono (CO2) se lo interpretó en kg como unidad de medida, por las elevadas cifras que presentaron los resultados. Fuente: Autor

Se consideraron únicamente los resultados anuales para representar gráficamente la Tabla 43, ante esto se sigue la misma estructura de presentación de las emisiones por recorrido.

Estimación anual de emisiones de NOx

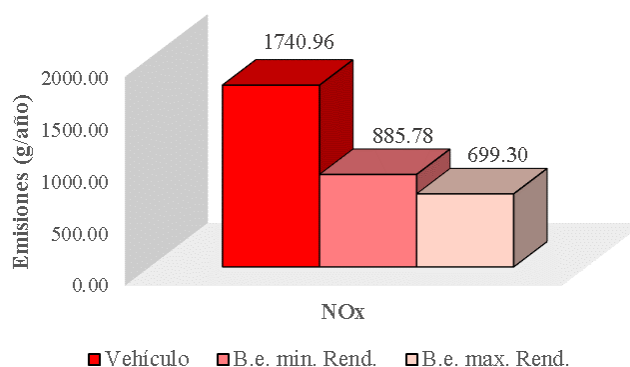


Figura 92. Estimación anual de emisiones de NOx

Nota. Fuente: Autor

Estimación anual de emisiones de CO

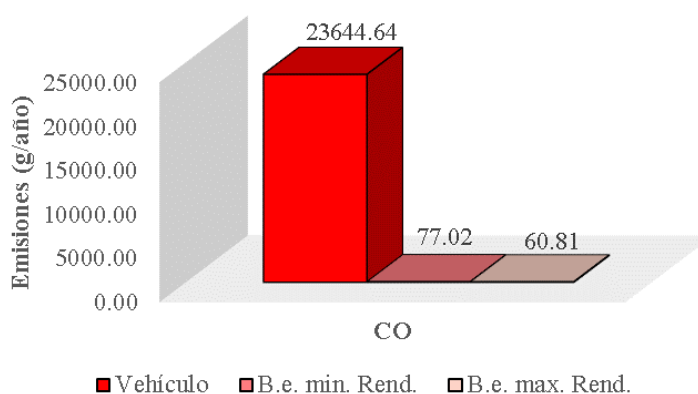


Figura 93. Estimación anual de emisiones de CO

Nota. Fuente: Autor

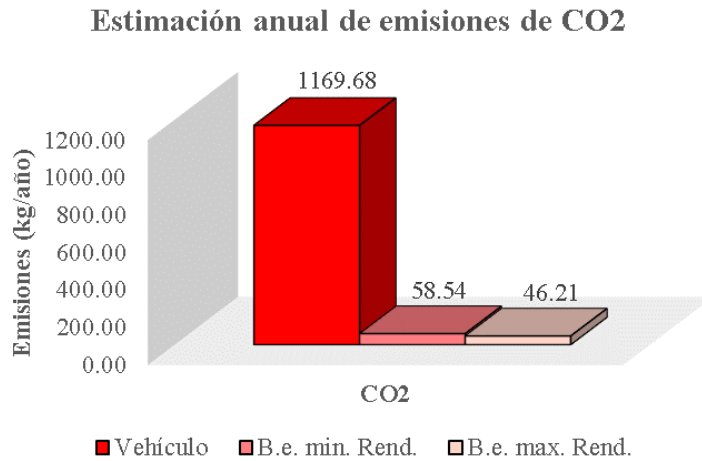


Figura 94. Estimación anual de emisiones de CO2
 Nota. Fuente: Autor

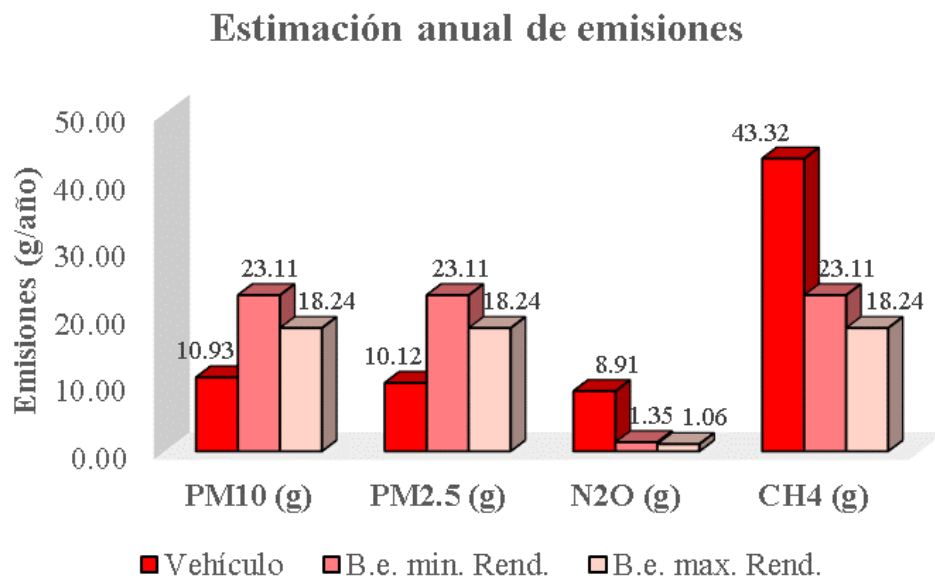


Figura 95. Estimación anual de emisiones
 Nota. Fuente: Autor

4.3.4.3.7. Costo.

El consumo de combustible del vehículo es de 6,3 lt/100 km en ciudad y 4,3 lt/100 km en carretera (motoreu 2016). Estos datos de rendimiento permitieron determinar el costo del recorrido, dependiendo del tipo de combustible utilizado sea ecopaís (2,55 USD/gal) o súper (4,66 USD/gal). Para la bicicleta eléctrica se determinó el costo que representa movilizarse, en función del precio del kWh de energía en tarifas como: Tarifa residencial (251 kWh – 300 kWh), tarifa comercial (0 kWh – 300 kWh).

En la Tabla 44 se presentan los costos del recorrido en vehículo.

Tabla 44. Costos de recorrido en vehículo (USD)

Vehículo				
Modo	Consumo de combustible (Litros/100 km)	Distancia (km)	Ecopaís	Súper
Ciudad	6.3	8.13	0.35	0.63
Carretera	4.3		0.24	0.43

Nota. Fuente: Autor

Los valores de costos por recorrido en vehículo se representan en la Figura 96.



Figura 96. Costos del recorrido en vehículo (USD/recorrido)

Nota. Fuente: Autor

En la Tabla 45 se presentan los costos del recorrido en bicicleta eléctrica.

Tabla 45. Costos del recorrido en bicicleta eléctrica (USD/recorrido)

Bicicleta eléctrica			
Rendimiento	Consumo de energía (kWh/recorrido)	Tarifa residencial, consumo 251 - 300 kWh	Tarifa comercial, consumo 0 - 300 kWh
n: 75%	0.43	0.043	0.040
n: 95%	0.34	0.034	0.031

Nota. Fuente: Autor

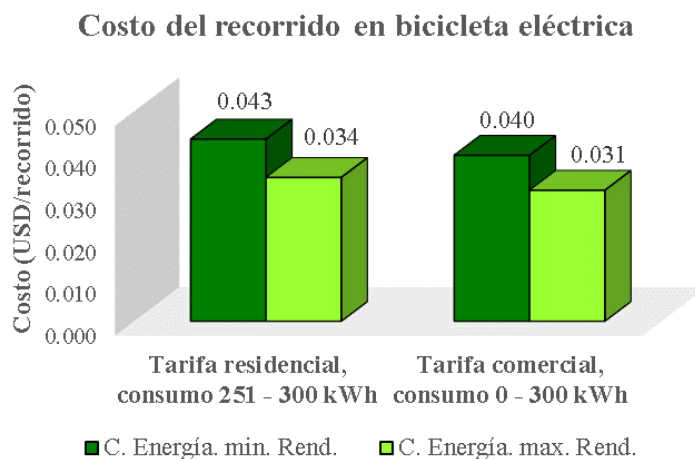


Figura 97. Costos del recorrido en bicicleta eléctrica (USD/recorrido)

Nota. Fuente: Autor

Se utilizó el mismo escenario de contaminación ambiental, para calcular el costo mensual y anual que representa el recorrido en los diferentes medios de transporte.

Para el vehículo se presentan los resultados en la Tabla 46.

Tabla 46. Estimación del costo por recorrido en vehículo (USD)

Vehículo	Ecopaís		Súper	
	Mensual	Anual	Mensual	Anual
Ciudad	13.82	172.07	25.26	314.45
Carretera	9.43	117.45	17.24	214.63

Nota. Fuente: Autor

Los costos con el uso del combustible ecopaís se representan en la Figura 98.

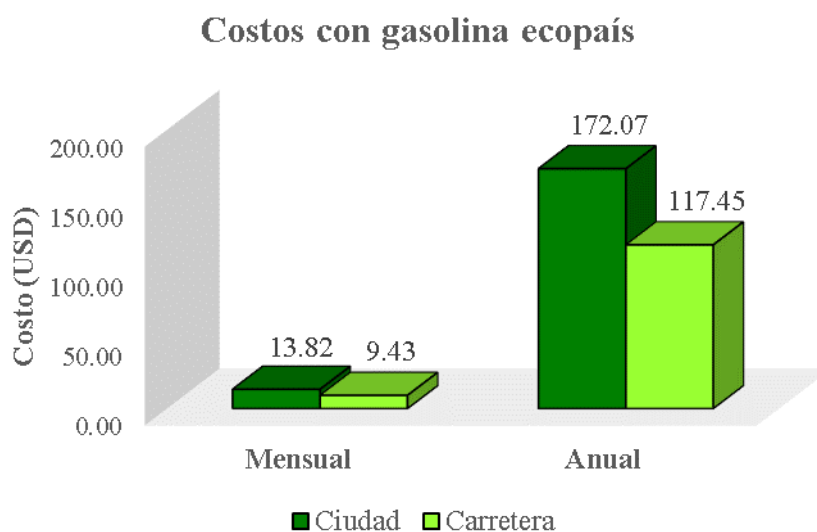


Figura 98. Estimación de costos con gasolina ecopaís (USD)

Nota. Fuente: Autor

Los costos con el uso del combustible súper se representan en la Figura 99.

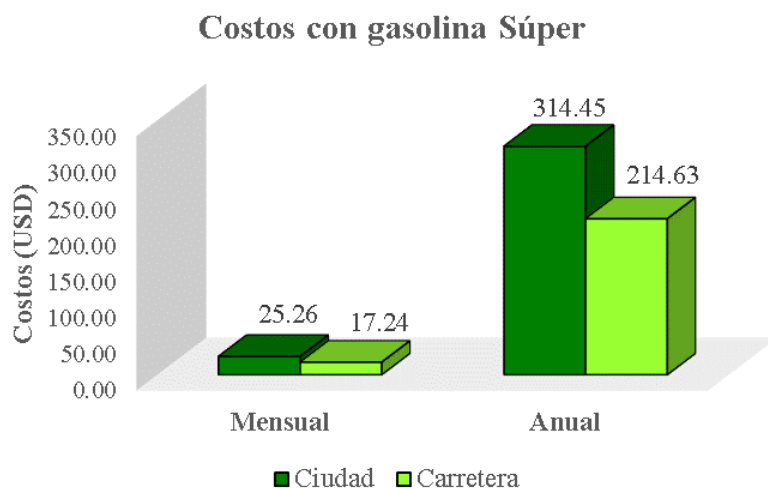


Figura 99. Estimación de costos con gasolina súper (USD)

Nota. Fuente: Autor

Para la bicicleta eléctrica se presentan los resultados en la Tabla 47.

Tabla 47. Estimación de costos del recorrido en bicicleta eléctrica (USD)

Bicicleta eléctrica	Tarifa residencial, consumo 251 - 300 kWh		Tarifa comercial, consumo 0 - 300 kWh	
	Rendimiento			
	Mensual	Anual	Mensual	Anual
n: 75%	1.74	21.61	1.58	19.68
n: 95%	1.37	17.06	1.25	15.54

Nota. Fuente: Autor

Los costos con la tarifa residencial se representan en la Figura 100.

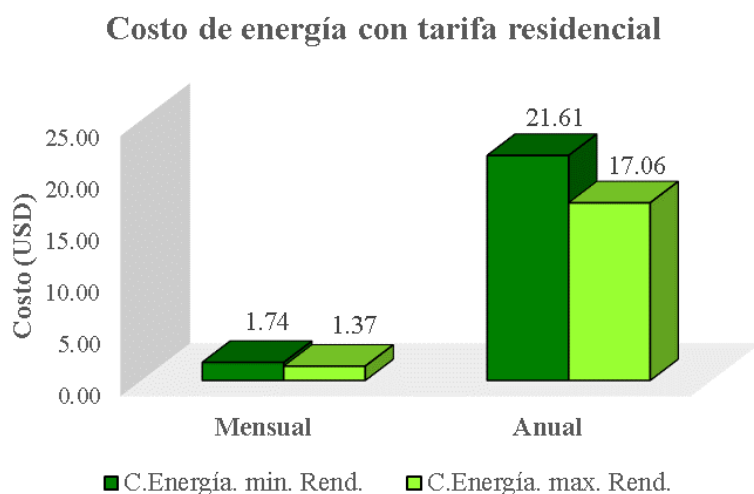


Figura 100. Estimación de costos con tarifa residencial (USD)

Nota. Fuente: Autor

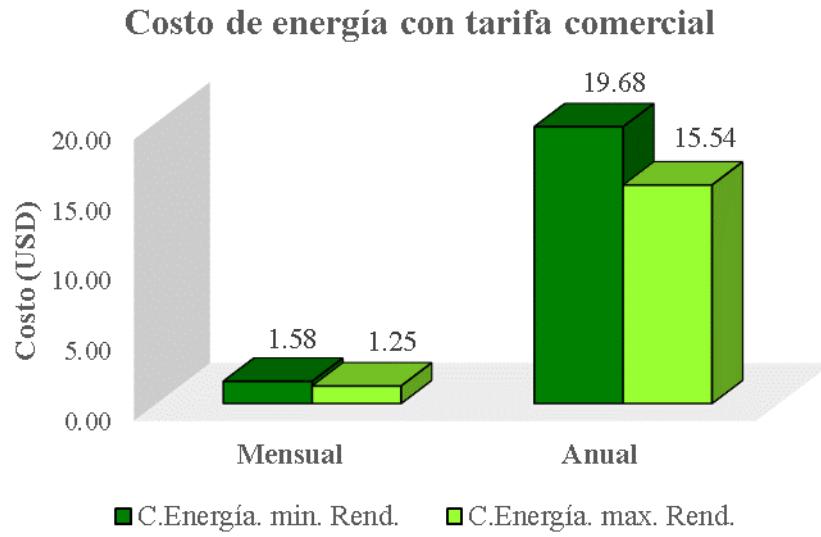


Figura 101. Estimación de costos con tarifa comercial (USD)

Nota. Fuente: Autor.

5. Metodología

5.1. Materiales

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron los siguientes materiales:

➤ **Materiales utilizados para el ensamblaje de la bicicleta eléctrica (componentes mecánicos):**

- Cuadro de Aluminio 6061 para MTB talla M marca *Raptor Titan 2*
- Aro 29" de aluminio doble capa.
- Manzana delantera de aluminio marca *Joy Tech* con cierre rápido (36 radios)
- Cubiertas *All Terrains* para aro 29" (29x2,5), alta presión 65 psi
- Cámara de aire *Kenda 29 x 1,9/2,3*
- Piñón de rosca *Taiwan 8V (13 – 28D)*
- Monoplate *Sun-Race Fc-M8oU 32T* coronilla de acero
- Juego de bielas de aluminio *Sun-Race 170mm*
- Desviador trasero *SHIMANO Tourney 8V*
- Cadena *Maya M410 1/2" x 1/8"*
- Eje sellado *Hexon* con sistema de rosca.
- Juego de pedales *NECO* MTB plástico 9/16 planos.
- Disco de freno de acero 160mm para tornillo cp
- Juego de frenos hidráulicos *Logan M500*
- Suspensión *Raptor 29"* recorrido 100 mm con bloqueo manual y regulación
- Tija de sillín de aluminio *LSH (30,4 mm)*
- Sillín antiprostático *Eagle* MTB 275 x 170 mm FI-3900
- Pistas de trinche *NECO H373* para poste cónico 1 1/8" a 1,5" dirección integrada.
- Potencia de aluminio *Raptor* MTB 70mm; 17grados; 31,8mm
- Manubrio de aluminio *Raptor* MTB 35mm x 800mm
- Juego de puños de goma 130mm

➤ **Materiales utilizados para el ensamblaje de la bicicleta eléctrica (componentes eléctricos)**

- Motor eléctrico tipo *Brushless* de 1000 W marca *SAILI*
- Batería de ion litio 48V 13Ah marca *Hailong Plus*
- Controlador electrónico
- Pantalla LCD modelo *SW900A*

- Acelerador tipo moto
- Sensor de asistencia al pedaleo
- Disco magnético tipo P.A.S.
- Cargador de batería de litio 2ª

➤ **Materiales utilizados para tomar medidas.**

- Flexómetro.
- Pie de rey (Calibrador).
- Escalímetro.

➤ **Materiales de oficina:**

- Paquete de Office.
- SolidWorks ®.
- AutoCAD ®.

5.2. Métodos

Para dar cumplimiento a los objetivos de este proyecto, se siguió el siguiente proceso metodológico:

1. Se realizó una revisión bibliográfica sobre la geometría de la bicicleta, la metodología para la selección de materiales dispuesta por Michael Ashby, las características de los componentes mecánicos estandarizados que conforman la bicicleta, el proceso de análisis estructural y el proceso de modelado y simulación.
2. Se efectuó una recopilación bibliográfica sobre los tipos de motores y baterías eléctricas, así como la descripción y funcionamiento de los componentes eléctricos complementarios de una bicicleta eléctrica.
3. Se establecieron los requerimientos de diseño mediante los cuales se encontró la función índice de material.
4. Se encontraron los valores mínimos de rigidez y límite elástico con los cuales fue posible limitar la selección de materiales en los mapas de *Ashby*.
5. Con la selección de familias de materiales se desarrolló una ponderación para determinar el material que mejor se adapte a los requerimientos de diseño.
6. Se seleccionó un cuadro de bicicleta fabricado con el material elegido y se procedió a modelar y simular en el software SolidWorks para verificar si cumple con el estudio estático y a la fatiga.

7. Para el dimensionamiento del motor y selección del sistema de control eléctrico fue necesario:
 - Encontrar la fuerza resistiva que debe vencer el motor eléctrico para que exista el movimiento.
 - Definir la potencia mínima del motor a seleccionar y mediante la revisión bibliográfica, se seleccionó el tipo de motor que cumple con los parámetros establecidos hasta este punto de cálculo.
 - Indagar en el mercado nacional la disponibilidad del motor eléctrico, para ese tipo de motores fue necesario adquirir, además, la batería y los componentes complementarios que permitan el correcto funcionamiento.
 - Representar el diagrama de conexión del sistema eléctrico.
8. Se efectuó el ensamblaje de la bicicleta eléctrica, ubicando primero los componentes mecánicos en el cuadro y luego los componentes del sistema eléctrico.
9. Se desarrollaron pruebas de funcionamiento a la bicicleta eléctrica en dos tipos de circuitos:
 - Se efectuaron las pruebas en circuitos abiertos para identificar el comportamiento de la bicicleta, la asistencia del motor, el nivel de esfuerzo desarrollado por el ciclista, el tiempo para cubrir las rutas planteadas y la variación de voltaje de la batería.
 - Se efectuaron las pruebas en un circuito cerrado para determinar la autonomía de la batería bajo ciertas condiciones de terreno y además, para identificar la velocidad pico que ofrece el motor eléctrico.
10. Se registraron los costos necesarios para la construcción del prototipo de bicicleta eléctrica, donde se incluyen los componentes mecánicos, eléctricos y la mano de obra para el ensamblaje.
11. Se identificó el consumo de energía eléctrica que requiere el cargar la batería completamente, mediante el medidor de electricidad *Efergy E-2 classic*.
12. Se realizó la comparación entre tres medios de transporte en términos de consumo energético, emisiones de contaminantes y costos, para lo cual se consideraron algunos parámetros como:
 - Efectuar la comparación entre un vehículo de combustión interna, el prototipo de bicicleta eléctrica y una bicicleta convencional.
 - Identificar la ficha técnica del vehículo seleccionado

- Desarrollar las pruebas en las rutas del apartado: *Pruebas de funcionamiento en circuitos abiertos*.
- Registrar los valores de consumo energético, emisiones de contaminante y costos mediante una tabla y representar en gráficas de barra.

6. Resultados

Para determinar el proceso de selección que se aplicó al momento de dimensionar el material con el que debe estar construido el cuadro de la bicicleta, se identificó y se expuso la secuencia de cálculos dispuesta por Michael Ashby, donde se exponen los pasos a seguir para dimensionar un cuadro de bicicleta. Se consideró los valores umbral y se obtuvo como resultado un módulo de elasticidad $E= 6,34$ GPa y un límite elástico de $\sigma_a = 24,34$ MPa.

Mediante los mapas de materiales de Ashby se identificó y seleccionó cuatro familias de materiales distintas que cumplen con los requerimientos del diseño, estos materiales se detallan en la Tabla 10.

De acuerdo a la revisión bibliográfica se identificaron las características que deben poseer los cuadros de bicicletas, destacando así los modelos de cuadros presentados en la Tabla 16, los cuales están disponibles en el mercado nacional. Se eligió el modelo RAPTOR TITAN II de aleación de aluminio 6061 hidroformado, talla M disponible para aro 29”.

La simulación estática permitió identificar un valor de tensión máxima de 38,8 GPa inferior al límite elástico de la aleación de aluminio 6061 que es de 55,1 GPa. El factor de seguridad mínimo es de 1,4 según la simulación efectuada en el software de uso específico, se determinó mediante la simulación del estudio a la fatiga que la vida del cuadro es de 1 000 000 000 ciclos, posteriormente sufrirá un daño del 10%.

En el proceso para dimensionar la potencia del motor eléctrico se obtuvo como resultado una potencia de 650,367 W, con este requisito se eligió el tipo de motor eléctrico, considerando las características mostradas en la Figura 69, donde finalmente se seleccionó el motor sin escobillas BLDC de 1 000 W. Con estos resultados fue posible identificar un kit para ensamblar la bicicleta eléctrica que se compone de una batería de litio Hailong Plus de 48 V y capacidad de 13 Ah y los componentes electrónicos adicionales que se detallan en la Tabla 24.

Para culminar con el ensamblaje de la bicicleta eléctrica, se seleccionaron los componentes complementarios, los mismos que se detallan en la Tabla 25, posteriormente se procedió con el ensamblaje de cada uno de los componentes.

Para determinar la autonomía de la batería se efectuaron pruebas de funcionamiento, con las cuales se determinó que para las condiciones de la Tabla 29 la autonomía es de 37 km.

En términos económicos, se hizo la recopilación de los costos para construir el prototipo de la bicicleta eléctrica, los componentes mecánicos generaron un costo de 401 USD, el kit eléctrico tuvo un costo de 380 USD y la mano de obra para el ensamblaje 55 USD, el valor que representa ensamblar una bicicleta eléctrica con las características que se describió en la investigación es de 836 USD.

Mediante el contador instantáneo de electricidad E2 Classic de la marca Efergy, se registró el consumo de energía para cargar la batería de litio. En una carga completa el consumo de energía es de 0,69 kWh y el costo es de 0,07 USD. Para un régimen de carga del 80% el costo semanal es de 0,405 USD, y el costo mensual de 1,733 USD.

En la comparación del consumo energético, se estimaron los valores de energía por cada cien kilómetros recorridos (kWh/100 km), los cuales se presentan en la Tabla 41. Se promediaron estos resultados en donde el consumo de energía para el vehículo es de (307,01 kWh/100 km), para la bicicleta eléctrica (4,73 kWh/100 km) y para la bicicleta convencional (5,12 kWh/100 km).

En términos de contaminación ambiental, se determinaron los valores de emisiones de contaminantes de forma mensual y anual, estos resultados se los presenta en la Tabla 43, se consideró el análisis únicamente para el vehículo y la bicicleta eléctrica, ya que la bicicleta convencional no genera emisiones contaminantes. En promedio anual el vehículo genera (170 734,27 gr) de contaminantes, mientras que la bicicleta eléctrica emite (7 614,43 gr) de contaminantes.

En el análisis de costos se estimaron los valores de forma mensual y anual cuyos resultados se presentan en la Tabla 46 para el vehículo y en la Tabla 47 para la bicicleta eléctrica. Anualmente el costo promedio del vehículo si se utiliza gasolina súper es de (264,54 USD), y con gasolina ecopaís (144,76 USD). Para el caso de la bicicleta eléctrica anualmente el costo promedio si se paga la tarifa residencial es de (19,33 USD) y con la tarifa comercial el costo es de (17,61 USD).

7. Discusión

El dimensionamiento y ensamblaje de la bicicleta eléctrica tiene como finalidad demostrar los procesos sugeridos para la selección de materiales, los componentes tanto mecánicos como electrónicos necesarios para ensamblar una bicicleta eléctrica, así como también la interpretación de los valores obtenidos en las pruebas de funcionamiento.

Los materiales elegidos para el cuadro de la bicicleta por una parte coinciden con los seleccionados por (Lazcano 2021), si bien no se eligió las aleaciones de magnesio, la familia

de los aceros presenta propiedades físicas y mecánicas favorables para este tipo de estructuras como se detalla en la Tabla 12 y Tabla 13.

Para la selección del cuadro se consideraron los materiales del estudio anterior, además se enfatizó en un costo accesible, de igual manera en la selección de los componentes adicionales para la bicicleta, se identificaron materiales y equipos disponibles en el mercado nacional.

Los resultados de la simulación estática y a la fatiga en el software de uso específico, corroboraron que el modelo del cuadro de aleación de aluminio 6061 cumple con los requerimientos del ciclista, el factor de seguridad se mantiene en el rango permitido según el criterio de Von Mises, el cual indica que debe mantenerse por arriba de 1,4. Adicionalmente se consideró el factor de seguridad definido para la carga que soporta el cuadro que es de 1,5.

La potencia del motor eléctrico puede cambiar si se modifican las múltiples variables que existen en el cálculo, sin embargo, para la selección del tipo de motor eléctrico se analizaron las características, en este sentido se concuerda con (Ñañez Valdez 2018) en que el motor apropiado para la bicicleta es del tipo BLDC sin escobillas.

Para desarrollar las pruebas de funcionamiento se consideró seguir el modelo de (Bernal Méndez and Torres Alvarracín 2019) tomando en cuenta que los equipos electrónicos mantienen un paralelismo en cuanto a potencia del motor y capacidad de la batería. Según los resultados de este proyecto, la autonomía de la batería es de 37 km con el mayor nivel de asistencia, sin embargo, al reducir dicha asistencia es posible incrementar la autonomía de la batería.

La inversión para el ensamblaje de la bicicleta eléctrica fue de 836 USD, este costo es accesible para las prestaciones que se ofrece. En el mercado nacional existen empresas que se dedican a comercializar este tipo de medios de transporte, por ejemplo la empresa *Ecomove* lanzó a la venta la bicicleta eléctrica *ROCK 195* a un precio de 1 199 USD (Ecomove 2022) cuyas prestaciones son inferiores a las descritas en este proyecto, al igual que el modelo *E-bike MTB Aro 29"* de marca *IGM* distribuido por la tienda *Cikla* a un precio de 600 USD. (Cikla 2022)

La estimación del consumo energético y el costo que este representa, permite analizar el uso de la bicicleta eléctrica como medio de transporte sostenible y con precios accesibles, reconociendo que el costo por kWh en Ecuador es de 10,47 centavos de dólar, se estima que se pagaría mensualmente 1,733 USD por concepto de recargar el 80% de la batería de litio diariamente.

En términos de consumo energético según la Tabla 41 fue posible determinar que el vehículo requiere hasta 65 veces más energía que la bicicleta eléctrica y hasta 60 veces más que la bicicleta convencional para movilizarse, estableciendo a la bicicleta eléctrica como un medio de transporte energéticamente eficiente.

Según los resultados presentados en la Tabla 42 es posible apreciar la diferencia de contaminación generada por el vehículo en comparación con la emitida por la bicicleta eléctrica durante la generación de energía. Además, en la Tabla 48 se presenta la relación de contaminación vehículo - bicicleta eléctrica.

Tabla 48. Relación de contaminación vehículo - bicicleta eléctrica

Contaminante	Relación vehículo - bicicleta eléctrica
CO (g)	343.09 : 1
NOx (g)	2.19 : 1
CO2 (kg)	22.33 : 1
PM10 (g)	0.52 : 1
PM2.5 (g)	0.48 : 1
N2O (g)	7.38 : 1
CH4 (g)	2.09 : 1

Nota. Fuente: Autor

El uso de la bicicleta eléctrica como medio de transporte alternativo también beneficia al usuario en términos económicos. En la Tabla 49 se presenta la comparación y el ahorro económico que el usuario obtiene al utilizar una bicicleta eléctrica en vez de un vehículo.

Tabla 49. Ahorro anual de dinero al cambiar el vehículo por la bicicleta eléctrica (USD)

Tipo de combustible	Tarifa residencial, consumo 251 - 300 kW	Tarifa comercial, consumo 0 - 300 kWh
Ecopaís	125.42	127.15
Súper	245.20	246.93

Nota. Fuente: Autor.

8. Conclusiones

- Mediante el uso de la técnica para la selección de materiales dispuesta por Michael Ashby, se identificó el procedimiento de análisis que se efectúa para dimensionar un cuadro de bicicleta, lo que permite determinar el cuadro de la bicicleta modelo MTB RAPTOR TITAN II talla M para aro 29" de aleación de aluminio 6061 para el proyecto, comprobando las prestaciones del cuadro seleccionado por el análisis estático y a la fatiga en la simulación desarrollada.
- Para las condiciones del terreno y las características del ciclista se determinó la potencia del motor de 650,37 W, eligiendo un motor tipo Brushless BLDC de 1 000 W marca SAILI, conjuntamente con una batería de litio de 48 V con capacidad de 13 Ah marca Hailong. Los componentes complementarios se definieron según el tipo de motor seleccionado.
- Mediante las pruebas de funcionamiento se obtuvo una autonomía de la batería de 37 km bajo ciertas condiciones de terreno.
- El monto de la inversión para ensamblar la bicicleta eléctrica fue de 836 USD, este valor comprende el cuadro de la bicicleta, los componentes mecánicos, el kit eléctrico de conversión y la mano de obra para el ensamblaje.
- Los datos de consumo energético obtenidos de la comparación entre tres medios de transporte, reflejan que con la energía necesaria para movilizar 1 vehículo es posible desplazar aproximadamente 65 personas en bicicleta eléctrica.
- En términos ambientales, utilizar la bicicleta eléctrica favorece a la reducción de los gases contaminantes emitidos por el vehículo, se reduce aproximadamente un 99,7% de CO, un 54,5% de NOx, un 95,5 % de CO₂, un 86,5% de N₂O y un 52,3% de CH₄. La bicicleta convencional no genera gases contaminantes por lo que reduce el 100% de la contaminación ambiental.
- En términos económicos, al utilizar la bicicleta eléctrica es posible generar un ahorro de hasta el 84,6 % de los gastos generados por el vehículo, este porcentaje se determinó bajo la relación (ecopaís – tarifa residencial 251 – 300 kWh). Lo que representa un ahorro económico de 125,42 USD/año.

9. Recomendaciones

- En trabajos futuros, mediante el uso de la técnica para la selección de materiales y la elección de perfiles, indagar en el mercado local o nacional la disponibilidad del material seleccionado y construir un cuadro de bicicleta partiendo de los planos elaborados en algún software de diseño.
- Desarrollar un estudio de factibilidad por el uso de la bicicleta eléctrica en términos económicos y si este medio de transporte representa algún aporte medioambiental.
- Generar un manual de mantenimiento para una bicicleta eléctrica, que se adapte a las recomendaciones tanto de los componentes mecánicos de una bicicleta convencional, así como de los equipos electrónicos que conforman la bicicleta eléctrica.
- Desarrollar el análisis para recargar la batería haciendo uso de generación fotovoltaica.

10. Bibliografía

- Álvarez, Ondarse Dianelys. 2021. “Corrosión.” *Concepto*. Retrieved August 14, 2021 (<https://concepto.de/corrosion/>).
- amazon. 2018. “EBIKELING 36V/48V SW900 Panel de Control de Pantalla LCD Para Bicicleta Eléctrica E-Bikea LCD Para Bicicleta Eléctrica E-Bike: Sports & Outdoors.” *Amazon*. Retrieved July 1, 2021 (<https://www.amazon.com/-/es/EBIKELING-control-pantalla-bicicleta-eléctrica/dp/B07LBYTM6K>).
- Amazon. 2022. “Ergon Smc Sport Gel Sillín, Hombre.” Retrieved (https://www.amazon.es/Ergon-Sport-Sillín-Hombre-Negro/dp/B083MBC42M?ref_=Oct_d_obs_d_2935404031&pd_rd_w=OhNeJ&pf_rd_p=8e4d0a11-f918-41f3-92d9-ca4f6adbd412&pf_rd_r=PN3TDEQRG42KK992W6MK&pd_rd_r=d97970d7-2ef8-4dd2-94d8-66141e916188&pd_rd_wg=d4XMf&pd_rd_i=B08).
- Arango, Alejandro. 2019. “Cómo Entender Las Dimensiones de Una Bicicleta.” Retrieved April 8, 2021 (<https://www.bikeexchange.com.co/blog/guia-geometria-de-bicicletas#Dimensiones>).
- ARCONEL. 2021. “PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.” Retrieved (https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/06/Anexo_1_pliego_tarifario_spee_2021.pdf).
- Areces, Adrián, and Álvaro Noriega. 2014. “Diseño y Construcción de Una Bicicleta de Transmisión Eléctrica.” Universidad de Oviedo.
- Ashby, Michael F. 1992. *MATERIALS SELECTION IN MECHANICAL DESIGN*. Pergamon Press Ltd.
- Ashby, Michael F. 2005. *Materials Selection in Mechanical Design*. 3rd ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Asian Development Bank. 2009. *Electric Bikes in the People’s Republic of China*. edited by ADB. Mandaluyong.
- BATERÍAS MADRID. n.d. “BATERÍAS PARA VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS .” *BATERÍAS MADRID*. Retrieved June 29, 2021 (<https://bateriasmadrid.com/portfolios/baterias-vehiculos-hibridos-electricos/>).
- Bernal Méndez, Paúl Esteban, and Jhonatan Emmanuel Torres Alvarracín. 2019. “Diseño e Implementación de Un Sistema de Asistencia Eléctrico En Una Bicicleta Mediante La Reutilización de Baterías de Ni-MH.” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- Bicicleta Ciclismo. 2022. “Explicación de Los Tipos y Soportes de Desviadores Delanteros

- SRAM y Shimano.” Retrieved (<https://bicicletasciclismo.com/explicacion-de-los-tipos-y-soportes-de-desviadores-delanteros-sram-y-shimano/>).
- BiCiCLUB. 2020. “Informe Sobre Mazas.” Retrieved (<https://biciclub.com/informe-sobre-mazas/>).
- BikeAnalytics. n.d. “Componentes de Una Bicicleta.” Retrieved January 2, 2022 (<https://bikeanalytics.com/componentes-bicicleta/>).
- Bikelec. 2015. “Controlador.” *Bikelec*. Retrieved July 1, 2021 (<https://www.bikelec.es/blog/controlador/>).
- BIKELEC. 2015. “Acelerador o Asistencia Al Pedaleo.” *Bikelec*. Retrieved July 2, 2021 (<https://www.bikelec.es/blog/acelerador-o-asistencia-al-pedaleo/>).
- BIKEPA. 2021. “Ubicación Del Motor Para Una Bicicleta Eléctrica.” Retrieved June 1, 2021 (<https://bikepa.es/ubicacion-del-motor-para-una-bicicleta-electrica/>).
- Bikeshop. 2022. “¿CÓMO ELEGIR UN MANILLAR MTB?” Retrieved (<https://www.bikeshop.es/static/elegir-manillar-para-bicicleta-mountain-bike.html>).
- Budynas, Richard G., and Keith J. Nisbeth. 2008. *Diseño En Ingeniería Mecánica de Shigley*. Octava. México, D.F.: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Budynas, Richard G., and Keith J. Nisbett. 2012. *Diseño En Ingeniería Mecánica de Shigley*. Novena. edited by M.-H. EDITORES. México.
- Castillo, Cesia. 2021. “¿Qué Es El Eje de Centro o Pedalier?” Retrieved (<https://labicikleta.com/que-es-el-eje-de-centro/>).
- Cia. General de Aceros. 2007. *SAE 1020 Y SAE 1045*. Bogotá.
- Cikla. 2022. “E-Bike MTB Aro 29” IGM.” Retrieved (<https://cikla.ec/producto/bici-electrica-de-montana-aro-29-igm/>).
- Columbus. 2020. “Tubos de Acero.” Retrieved (<https://www.columbustubi.com/en/steel-tubes/>).
- DASSAULT SYSTEMES. 2021. *MODELADO EN 3D CON SOLIDWORKS*. France.
- Dassault Systèmes SolidWorks. 2010. *Proyecto de Diseño de Un Puente Con El Software SolidWorks®*. PME0519-ESP.
- Ecomove. 2022. “ROCK 195.” Retrieved (<https://ecomove.com.ec/producto/rock-195/>).
- ECOSEED. 2019. “¿Cuál Es La Historia de Las Bicis Eléctricas? | Ecosseed.” 1. Retrieved June 19, 2021 (<https://www.ecoseed.org/historia-bicis-electricas/>).
- EERSSA. 2016. “En Catamayo: Estudiantes Conocen Funcionamiento de Central Térmica.” Retrieved May 2, 2022 (<https://www.eerssa.gob.ec/en-catamayo-estudiantes-conocen-funcionamiento-de-central-termica/>).

- Efergy. 2022. *Manual Instrucciones Monitor Efergy E2 Classic*.
- emeb. 2015. "DIRECCIONES, TIPOS Y MEDIDAS. APRENDE A DIFERENCIARLAS." Retrieved (<https://www.emeb.es/direcciones-tipos-y-medidas/>).
- Freire, Wilma B., María José Ramírez Luzuriaga, Philippe Belmont, María José Mendieta, Katherine Silva Jaramillo, Natalia Romero, Klever Sáenz, Pamela Piñeiros, Luis Fernando Gómez, and Rafael Monge. 2014. *Tomo 1: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de La Población Ecuatoriana de Cero a 59 Años. ENSANUT-ECU 2012*. Primera. edited by Ministerio de Salud Pública / Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Quito.
- González Sánchez, José David. 2018. "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MARCO PROTOTIPO DE UNA BICICLETA URBANA." UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
- González Calleja, David. 2012. *Motores Térmicos y Sus Sistemas Auxiliares*. edited by A. González Cerviño and N. González Duarte. Madrid: Paraninfo.
- google. 2022. "Google Maps." Retrieved (<https://www.google.com.ec/maps/@-3.9895847,-79.3728201,13z?hl=es&authuser=0>).
- Guanoluisa Taco, Milton Orlando, and Daniel Carlos Pazmiño Estrella. 2008. "CARGADOR DE BATERÍAS DE PLOMO-ÁCIDO DE 48 VOLTIOS." ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Quito.
- Guevara, Jesús. 2021a. "Aros de Bicicleta: La Guía Completa." Retrieved (<https://labicikleta.com/aros-de-bicicleta-la-guia-completa/>).
- Guevara, Jesús. 2021b. "Entendiendo La Geometría de La Bicicleta - La Bicikleta." Retrieved April 8, 2021 (<https://labicikleta.com/entendiendo-la-geometria-de-la-bicicleta/>).
- Hashemnia, Nasser, and Behzad Asaei. 2008. "Comparative Study of Using Different Electric Motors in the Electric Vehicles." *IEEE*. doi: 10.1109/ICELMACH.2008.4800157.
- Hibbeler, Russell C. 2011. *Mecánica de Materiales*. Octava. México: PEARSON EDUCATION, INC.
- Hoyos, Juan F., Andrés F. Montoya, Andrés E. Diez, and José A. Bohórquez. 2014. "INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y PROTOTIPO DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA Y TECNOLOGÍAS EMERGENTES EN BATERÍAS" RESEARCH, DESIGN AND PROTOTYPE OF AN ELECTRIC BYCICLE AND EMERGING TECHNOLOGIES IN BATTERIES." *Revista Investigaciones Aplicadas* 8(1):11–259.
- Huerga, Alba. 2019. "La Bicicleta Eléctrica Podría Bajar Un 10% El Uso Del Coche En Ciudades." Retrieved June 20, 2021 (<https://plataformazeo.com/es/futuro-movilidad-urbana-bicicleta-electrica/>).

- Izquierdo, Francisco Aparicio, Carlos Alvarez Vera, and Vicente López Díaz. 2001. *Teoría de Los Vehículos Automóviles*. Segunda. Madrid.
- ktronix. 2018. “BATERÍAS NIQUEL-CADMIO.” *Ktronix*. Retrieved June 28, 2021 (<http://www.ktronix.com.mx/bateriasnicd.html>).
- Lara, Gonzalo. 2012. “Comienza a Funcionar La Primera Fábrica de Baterías de Litio En España.” *Motorpasion*. Retrieved June 29, 2021 (<https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/comienza-a-funcionar-la-primera-fabrica-de-baterias-de-litio-en-espana>).
- Lazcano, Manuel Lorenzo. 2021. “SELECCIÓN DE MATERIALES EN EL DISEÑO DEL CUADRO DE UNA BICICLETA.” UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.
- Lemire-Elmore, Justin. 2004. *The Energy Cost of Electric and Human-Powered Bicycles*.
- López Sánchez, David. 2019. “Tecnologías de Baterías.” UNIVERSIDAD DE VALLADOLID, Valladolid.
- MacGill, Markus. 2016. “Frecuencia Cardíaca: ¿Qué Es Una Frecuencia Cardíaca Normal?” Retrieved (<https://www.medicalnewstoday.com/articles/es/291182>).
- Meza Ramírez, José Luis. 2022. “Guía de Puños y Cintas Para El Manubrio de Tu Bicicleta.” Retrieved (<https://pedalia.cc/guia-punos-cintas-manubrio-bicicleta/>).
- motoreu. 2016. “Kia > Rio 1.4 Edition 7 (99 CV) Ficha Técnica & Consumo.” Retrieved (<https://motoreu.com/es/kia-rio-1.4-consumo-ficha-tecnica-59998>).
- MundoBici. 2019. “11 Tipos de Freno Que Muestran La Evolución Que Ha Tenido Este Sistema En Años.” Retrieved (<https://www.mundobici.co/blog/once-tipos-de-freno-populares/>).
- Ñañez Valdez, Yeison. 2018. “DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA CONVERSIÓN DE UNA BICICLETA CONVENCIONAL A ELÉCTRICA.” UNIVERSIDAD DEL VALLE.
- Norton, Robert L. 2011. *Diseño de Máquinas*. Cuarta. edited by L. M. Cruz Castillo. México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Ojeda Pereira, Dalton Rodrigo, and Lenin Fernando Pineda Ortiz. 2017. ““DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BATERÍA RECARGABLE PARA UNA BICICLETA ELÉCTRICA TIPO TRIKE MEDIANTE EL USO DE BATERÍAS RECICLADAS DE ION LITIO 18650.”” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA.
- Ordóñez Luna, Santiago Javier. 2016. “Evaluación de Una Bicicleta Eléctrica Como

- Alternativa de Movilidad En La Ciudad de Cuenca.” ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ.
- Osorio, Lucia. 2021. “Cuál Es El Mejor Sensor Pas de 2021 (Guía Del Comprador).” *Hermmejor.Com*. Retrieved June 30, 2021 (<https://hermmejor.com/mejor-sensor-pas>).
- Panero, Julius, and Martin Zelnik. 1996. *Las Dimesiones Humanas En Los Espacios Interiores*. Séptima. Barcelona: Ediciones G. Gili, SA, México. D.F.
- Perales García, Jaime. 2017. “Diseño de Una Bicicleta Eléctrica Urbana.” UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.
- Pérez Sapena, Esther. 2019. “Análisis Económico de Almacenamiento de Energía En La Red Eléctrica Mediante Baterías de Litio.” 40.
- PETROECUADOR. 2022. *PRECIOS DE VENTA EN TERMINAL PARA LAS COMERCIALIZADORAS CALIFICADAS Y AUTORIZADAS A NIVEL NACIONAL*.
- Pinto Alvaro, Nataly, Frank Fuentes, and David Alcivar. 2015. *La Situación de La Bicicleta En Ecuador: Avances, Retos y Perspectivas*. Quito: FRIEDRICH EBERT STIFTUNG.
- Piro, O. E. n.d. *Notas Sobre Física General: Resistencia a La Rodadura*.
- Poch Vives, David, and Nicolás Juanjo Blanco. n.d. “Diseño de Una Bicicleta Eléctrica Con Cuadro Adaptable.”
- Ramírez Meza, José Luis. 2021. “Cambios de Bicicleta: Desviador Trasero.” Retrieved (<https://labicikleta.com/cambios-de-bicicleta-desviador-trasero/>).
- Rovira de Antonio, Antonio, and Marta Domínguez Muñoz. 2016. *MÁQUINAS Y MOTORES TÉRMICOS*. Madrid: UNED.
- RUI-WAMBA, PACO NAVARRO • JAVIER RUI-WAMBA • ALEX FERNÁNDEZ CAMPS ORIOL ALTISENCH • CRISTINA GARCÍA BAÑUELOS JORDI JULIÀ • MIGUEL ÁNGEL. 2010. *La Ingeniería de La Bicicleta*. Primera. España: Fundación ESTEYCO.
- SAILIMOTOR. 2021a. “350-1000W Brushless Direct Hub Motor Electric Bike Kit (SK007).” Retrieved (http://www.sailimotor.com/page109?product_id=277).
- SAILIMOTOR. 2021b. “36V 48V Hailong Plus Downtube 65pcs 18650 Cell Electric Bike Battery.” Retrieved (http://www.sailimotor.com/page109?product_id=265).
- Salgado Benítez, Andrés Felipe, and Juan Diego Arboleda Sánchez. 2014. “Adaptación de Un Sistema Electro-Mecánico Motriz a Una Bicicleta.” Universidad San Francisco de Quito.
- Sánchez, Sergio, Joanne Green, Juan Pablo Orjuela, Juliana Klakamp, and Juan Villa. 2013. *METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE TRANSPORTE URBANO DE CARGA Y GUÍAS PARA LA RECOPIACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE*

- DATOS*. Primera. edited by C. A. Institute. Washington D.C.
- Sánchez, Víctor. 2022. "PARTES DE UNA BICICLETA Y SUS FUNCIONES." Retrieved (<https://blog.terranea.es/partes-bicicleta/>).
- Sandoval Hernández, Holmes Sebastián, and Bryan Rojas Guevara. 2015. "DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PROPULSIÓN HUMANA Y DIRECCIÓN PARA VEHÍCULO SOLAR." UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- SHIMANO. 2021a. "BB-UN101-K." Retrieved (<https://bike.shimano.com/es-AR/product/component/shimano/BB-UN101-K.html>).
- SHIMANO. 2021b. "BL-M6100." Retrieved (<https://bike.shimano.com/es-ES/product/component/deore-m6100/BL-M6100.html>).
- SHIMANO. 2021c. "CN-M9100." Retrieved (<https://bike.shimano.com/es-AR/product/component/xtr-m9100/CN-M9100.html>).
- SHIMANO. 2021d. "CS-M980." Retrieved (<https://bike.shimano.com/es-AR/product/component/xtr-m980/CS-M980.html>).
- SHIMANO. 2021e. "Desviador SHIMANO XTR SIDE SWING (Direct Mount) 2x12 Velocidades." Retrieved (<https://bike.shimano.com/es-AR/product/component/xtr-m9100/FD-M9100-D.html>).
- SHIMANO. 2021f. "FH-M9010." Retrieved (<https://bike.shimano.com/es-AR/product/component/xtr-m9000/FH-M9010.html>).
- SHIMANO. 2021g. "Juego de Bielas SHIMANO XTR HOLLOWTECH II MTB Factor Q 162 Mm - 2x12 Velocidades."
- SHIMANO. 2021h. "RD-M9100-SGS." Retrieved (<https://bike.shimano.com/es-AR/product/component/xtr-m9100/RD-M9100-SGS.html>).
- SHIMANO. 2021i. "SL-M315-8R." Retrieved (<https://bike.shimano.com/es-ES/product/component/shimano/SL-M315-8R.html>).
- Sousa, D. M., P. J. Costa Branco, and J. A. Dente. 2007. "Electric Bicycle Using Batteries and Supercapacitors." *IEEE*. doi: 10.1109/EPE.2007.4417425.
- Sprinter. 2022. "¿Qué Es La Tija de Sillín?" Retrieved (<https://www.sprintersports.com/glosario-deportes/tija-sillin>).
- TodoMountainBike. 2017. "Nociones Básicas Sobre La Transmisión de Una Bicicleta y Su Desarrollo." Retrieved (<https://www.todomountainbike.net/mecanica/nociones-basicas-sobre-la-transmision-de-una-bicicleta-y-su-desarrollo>).
- Trek Bikes. 2021a. "Tija de Sillín Bontrager Elite."

- Trek Bikes. 2021b. "Trek Bikes - The World's Best Bikes and Cycling Gear | Trek Bikes." Retrieved November 27, 2021 (https://www.trekbikes.com/us/en_US/).
- tuttobike. 2021. "Tipos de Pedales Para Bicicleta. Elige Los Mejores." Retrieved (<https://tuttobike.com/blogs/blog/tipos-pedales-bicicleta>).
- UCI. 2020. *REGLAMENTO UCI DEL DEPORTE CICLISTA*.
- Valero, Albert. 2016. "¿Cómo Elegir Un Manillar de MTB?" Retrieved (<https://bicilink.com/blog-ciclismo/como-elegir-un-manillar-de-mtb/>).
- Valero, Albert. 2020. "Cómo Elegir Una Potencia Para Bicicleta." Retrieved (<https://bicilink.com/blog-ciclismo/como-elegir-una-potencia-para-bicicleta/>).
- Valvuenas Arias, Jessica Alejandra. 2018. "MANUAL DE APLICACIÓN PARA EL CORRECTO USO DE METODOLOGÍAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES DENTRO DEL PROCESO DE DISEÑO MECÁNICO." UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
- Vargas, David. 2019. "Horquillas de Suspensión Para MTB: ¿Cuál Elegir y Qué Tipos Hay?" Retrieved (<https://deportesriesgo.com/horquillas-de-suspension-para-mtb-cual-elegir-y-que-tipos-hay/#:~:text=Existen 3 tipos de horquillas,de gama media y baja.>).
- Veliz Delgadillo, Cristian. 2018. "Estudio de Viabilidad de Movilidad Con Bicicletas Eléctricas." UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.
- Viera Pérez, Juan Carlos. 2003. "'CARGA RÁPIDA DE BATERÍAS DE Ni-Cd Y Ni-MH DE MEDIA Y GRAN CAPACIDAD. ANÁLISIS, SÍNTESIS Y COMPARACIÓN DE NUEVOS MÉTODOS.'" UNIVERSIDAD DE OVIEDO, Gijón.
- Villanueva Cortés, Luis Francisco. 2015. "DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN CUADRO TIPO DIAMANTE PARA UNA BICICLETA DE TURISMO." ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.
- Weather Spark. 2021. "El Cima y El Tiempo Promedio En Todo El Año En Loja." Retrieved (<https://es.weatherspark.com/y/19339/Clima-promedio-en-Loja-Ecuador-durante-todo-el-año>).
- Wilson, Jerry D., Anthony J. Buffa, and Bo. Lou. 2007. *Física*. Sexta. México: PEARSON EDUCATION, INC.

11. Anexos

Anexo 1. Promedios de peso y talla en adolescentes de 12 a 19 años y adultos > 19 años

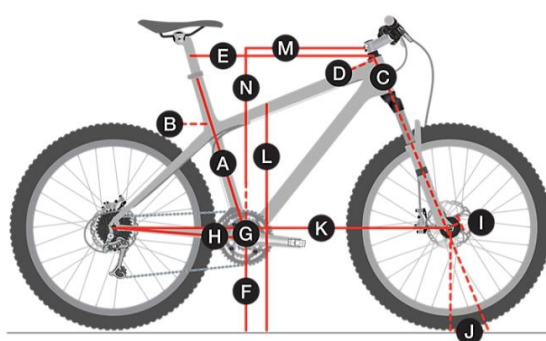
Edad en años	Peso (kg)									Talla (cm)								
	n	Media	IC _{95%}	Percentiles					n	Media	IC _{95%}	Percentiles						
				5	25	50	75	95				5	25	50	75	95		
Adolescentes hombres de 12 a 19 años																		
12 a 14	2730	49.3	48.5 - 50.1	31.9	40.5	48.2	55.6	72.9	2730	154.5	153.9 - 155.0	137.1	147.0	155.1	162.7	170.4		
15 a 19	1692	61.6	60.7 - 62.5	47.0	54.1	59.1	66.5	85.5	1692	166.2	165.7 - 166.8	154.6	161.9	165.9	170.4	178.9		
Total	4422	54.5	53.8 - 55.1	33.8	45.3	53.6	61.3	80.1	4422	159.4	159.0 - 159.9	139.4	152.4	161.2	167.0	175.5		
Adolescentes mujeres de 12 a 19 años																		
12 a 14	2296	48.2	47.6 - 48.8	34.1	42.3	47.2	53.1	65.4	2296	150.8	150.3 - 151.3	139.2	146.2	151.1	155.6	162.1		
15 a 19	967	56.0	54.7 - 57.3	42.1	48.5	53.7	61.3	77.6	967	154.0	153.3 - 154.6	143.9	149.9	153.9	157.9	165.2		
Total	3263	51.4	50.7 - 52.0	36.0	44.5	50.1	56.6	72.3	3263	152.1	151.6 - 152.5	141.1	147.6	152.3	156.7	163.1		
Adultos hombres de 19 a 59 años																		
19 a 29	4527	69.6	68.9 - 70.2	52.5	60.2	67.4	76.2	94.6	4527	166.2	165.9 - 166.6	155.1	161.9	166.1	170.6	178.1		
30 a 39	4015	73.1	72.5 - 73.8	54.4	64.4	71.9	80.2	95.1	4015	165.3	165.0 - 165.7	154.6	160.6	164.9	169.7	177.0		
40 a 49	2884	73.6	72.8 - 74.3	55.2	64.8	72.6	81.1	95.4	2884	164.5	164.1 - 164.9	153.1	159.9	164.5	168.9	175.3		
50 a 59	1193	72.8	71.7 - 73.8	53.5	64.1	71.5	79.9	95.5	1193	163.5	162.9 - 164.1	152.5	159.3	163.4	168.1	175.3		
Total	12619	71.9	71.4 - 72.3	53.4	62.8	70.6	79.3	95.2	12619	165.2	164.9 - 165.4	154.1	160.6	165.1	169.6	177.1		
Adultos mujeres de 19 a 59 años																		
19 a 29	6630	60.4	59.9 - 60.9	45.0	51.7	58.1	66.4	84.0	6630	153.4	153.1 - 153.6	143.6	149.1	153.1	157.4	163.6		
30 a 39	5843	64.5	64.0 - 65.0	47.0	56.2	63.0	71.6	86.1	5843	152.5	152.3 - 152.8	142.7	148.1	152.4	156.7	163.0		
40 a 49	3827	66.6	65.9 - 67.3	48.3	58.5	65.0	73.4	88.5	3827	152.2	151.8 - 152.5	142.2	147.9	151.9	156.3	162.5		
50 a 59	1249	66.8	65.7 - 67.8	47.7	58.2	65.2	74.3	89.9	1249	150.5	150.0 - 151.1	140.5	146.6	150.4	154.4	160.9		
Total	17549	63.9	63.5 - 64.2	46.3	54.9	62.2	71.1	86.5	17549	152.4	152.2 - 152.6	142.4	148.1	152.3	156.6	163.1		

Nota. Fuente: (Freire et al. 2014)

Anexo 2. Tallas y dimensiones para un modelo de bicicleta Trek

	XS		S		M		L		SG	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Altura del ciclista (cm)	137	153	153	161	161	174	174	186	186	196
Entrepierna (cm)	64	72	72	76	76	82	82	87	87	92

Número de tamaño del cuadro	14.5	15.5	17.5	19.5	21.5
Letra del tamaño del cuadro	XS	S	M	L	SG
Tamaño de la rueda	27,5"	27,5"	29"	29"	29"
A - Tubo de sillín	36.3	39.4	41.9	47	52.1
B - Ángulo efectivo del tubo de sillín	73,5°	71,6°	71,5°	71,6°	71,6°
C - Longitud del tubo de dirección	13	13	13	14	16
D - Ángulo de la cabeza	68,5°	67,6°	67,7°	67,6°	67,6°
E - Tubo superior eficaz	57	59.8	61.8	64.2	67.3
F - Altura del pedaliar	29.1	30.7	32.5	32.5	32.5
G - Caída del pedaliar	6.5	4.9	4.8	4.9	4.9
H - Longitud de la vaina	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5
I - Desplazamiento	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4
J - Sendero	9.5	10.1	10.7	10.7	10.7
K - Distancia entre ejes	109.9	112.5	115.9	117.4	120.6
L - Entrepierna	70.7	72.9	79.6	81.7	82
M - Alcance del marco	39	39	40.4	42.5	45
N - Pila de marcos	60.7	62.3	64	64.9	66.8



Fuente: (Trek Bikes 2021b)

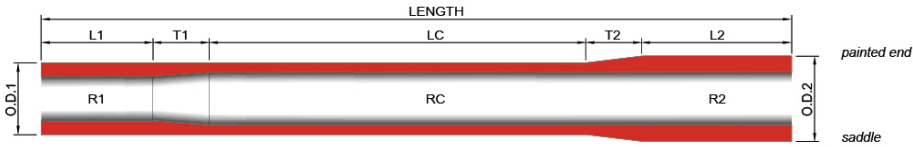
Anexo 3. Dimensiones de los tubos tirante y el tubo vertical



Esesor constante

Part Number	OD	Length	RC	Oval	LT	DT	Family
ZON91556029	ZON915560 + 29° Double bend						29r
ZON915560FAT	19	560	0,6		250	12,5	Zona
CRM415560	14	560	0,8		300	10,5	Cromor
CRM615560	16	560	0,8		300	12,5	Cromor

Nota. Las dimensiones presentadas corresponden al tubo tirante. Fuente: (Columbus 2020)

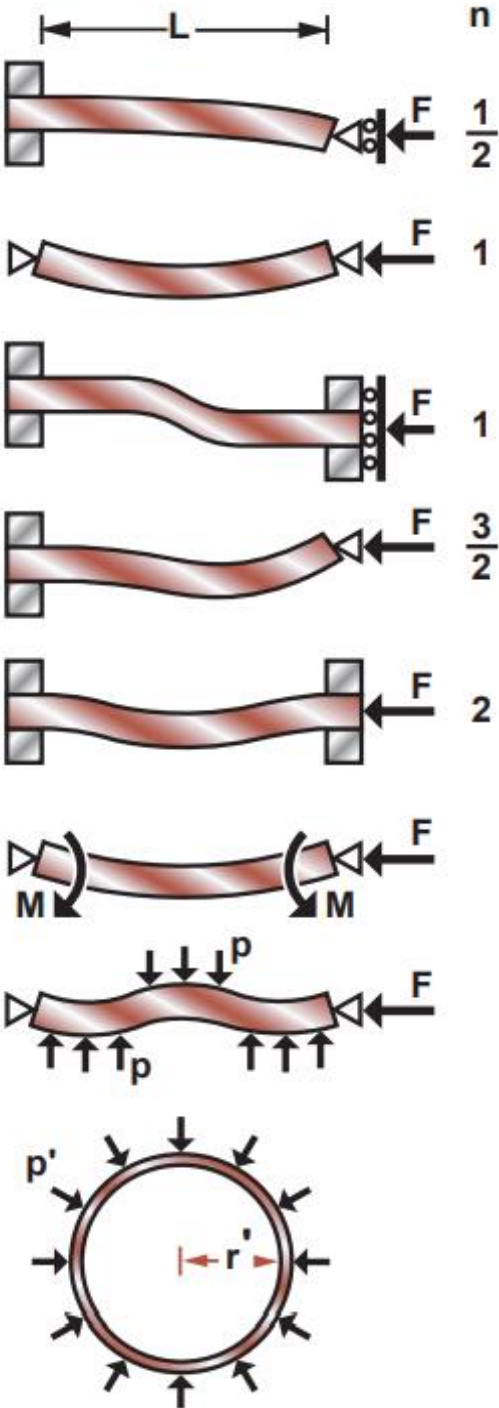


External Butted

Part Number	OD1	OD2	Length	R1/RC/R2	L1	T1	LC	T2	L2	Family
SLFM13520001	31,7	32,5	520	0,7/0,5/0,9	160	40	170	40	110	Spirit H55
SLFM13580001	31,7	32,5	580	0,7/0,5/0,9	160	40	240	40	100	Spirit H55
SLFM13635001	31,7	32,5	635	0,7/0,5/0,9	160	40	315	40	80	Spirit H55
SLFM13710001	31,7	32,5	710	0,7/0,5/0,9	160	40	240	40	230	Spirit H55
ZBSRID27,2	Alloy reduction sleeve for 27,2mm seat-tube pre-slotted									
ZBSRIDSP27,2	Alloy reduction sleeve for 27,2mm seat-tube non-slotted									

Nota. Las dimensiones presentadas corresponden al tubo vertical. Fuente: (Columbus 2020)

Anexo 4. Pandeo de columnas, placas y armazones



Nota. Fuente: (Ashby 2005)

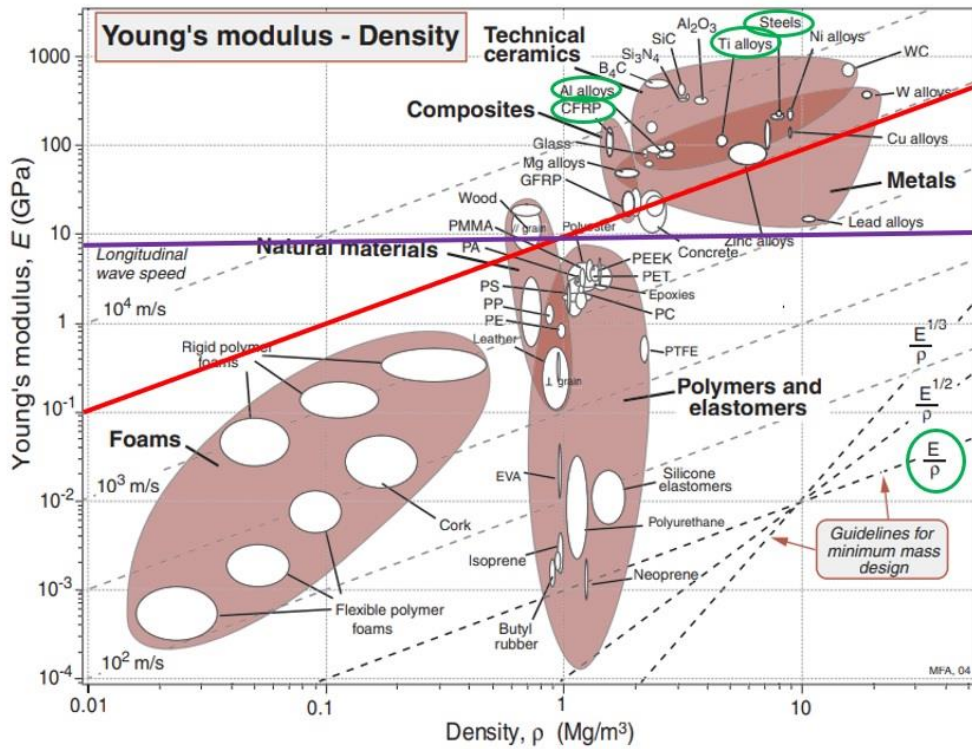
Anexo 5. Factores para determinar el coeficiente de seguridad en materiales dúctiles

Tabla A-3 Factores para determinar el coeficiente de seguridad en materiales dúctiles

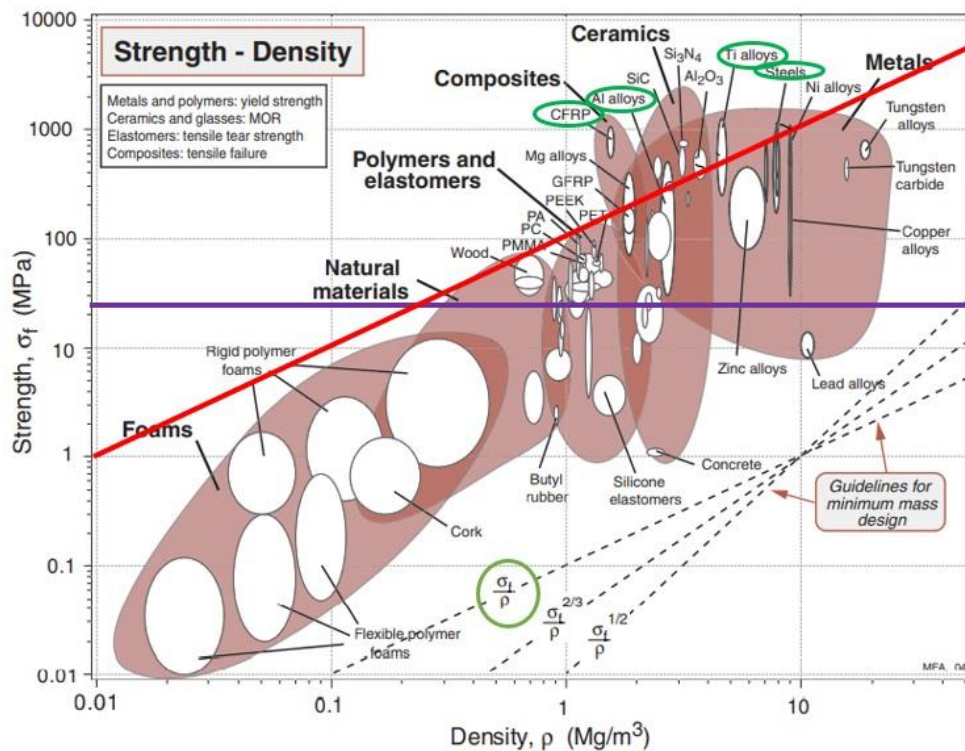
Información	Calidad de la información	Factor
		<u>F1</u>
	Se utilizó material real para la prueba	1.3
Datos de las propiedades del material obtenidos con pruebas	Están disponibles los datos de prueba del material representativo	2
	Están disponibles los datos de prueba del material aceptablemente representativo	3
	Están disponibles los datos de prueba del material poco representativo	5+
		<u>F2</u>
	Son idénticas a las condiciones de las pruebas del material	1.3
Condiciones ambientales donde se utilizará	Condiciones de temperatura ambiente	2
	Ambiente moderadamente exigente	3
	Ambiente extremadamente exigente	5+
		<u>F3</u>
	Los modelos se han probado con experimentos	1.3
Modelos analíticos de carga y esfuerzo	Los modelos representan exactamente el sistema	2
	Los modelos representan aproximadamente el sistema	3
	Los modelos son aproximaciones burdas del sistema	5+

Nota. Fuente: (Norton 2011)

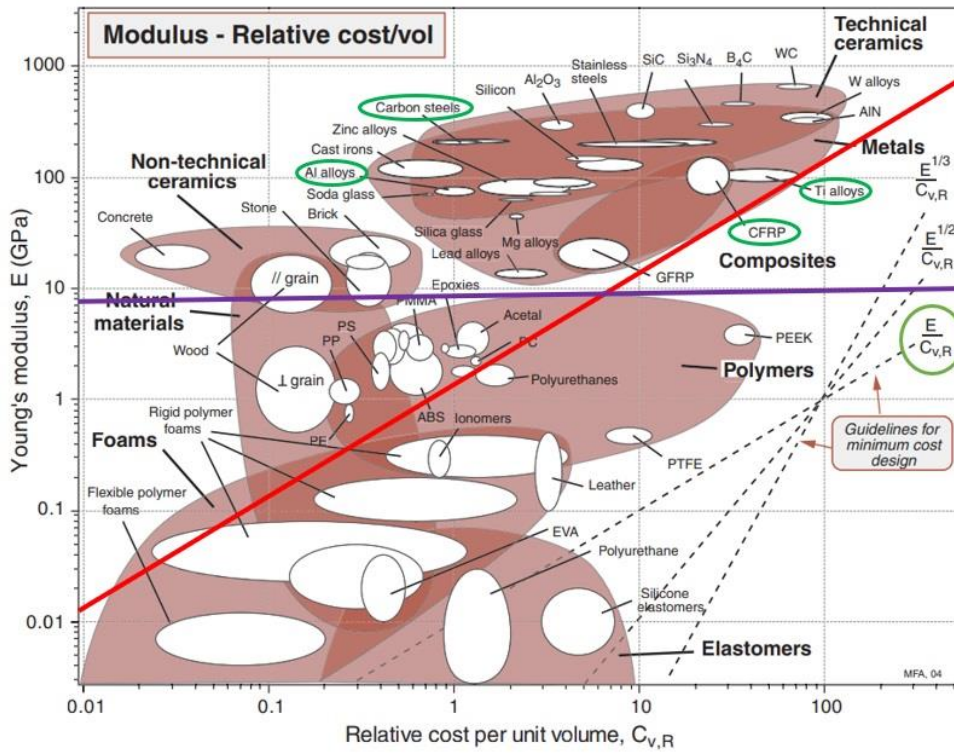
Anexo 6. Selección de materiales en los mapas de Ashby



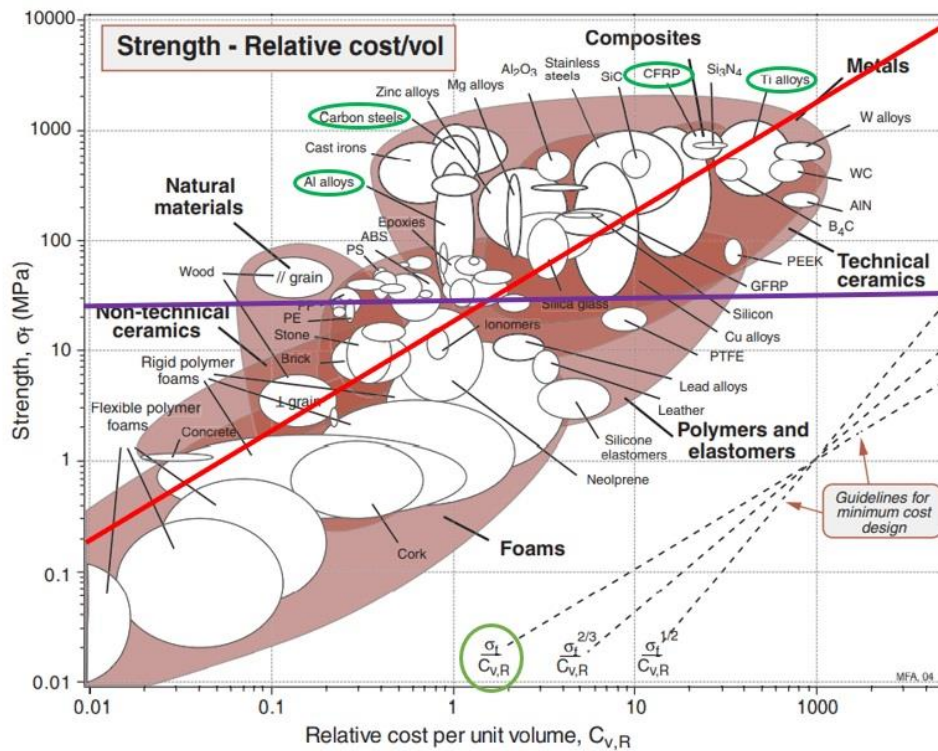
Nota. Gráfico de materiales seleccionados con la función índice (para módulo de young). Fuente:(Ashby 2005)



Nota. Gráfico de materiales seleccionados con la función índice (para resistencia a la fatiga). Fuente: (Ashby 2005)



Nota. Gráfico de materiales seleccionados con la función índice (mínimo costo). Fuente: (Ashby 2005)



Nota. Gráfico de materiales seleccionados con la función índice (mínimo costo). Fuente: (Ashby 2005)

Anexo 7. Informe energético diario *Elink Efergy*

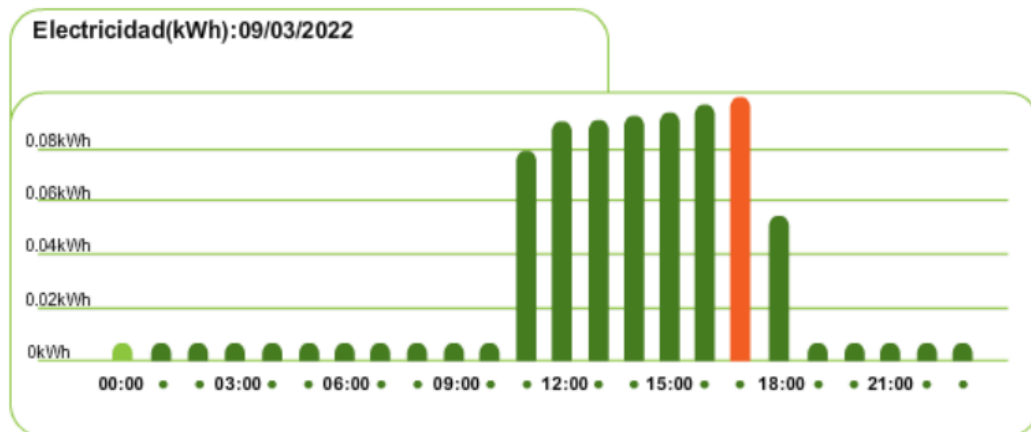
elink Informe energético diario
10/03/2022



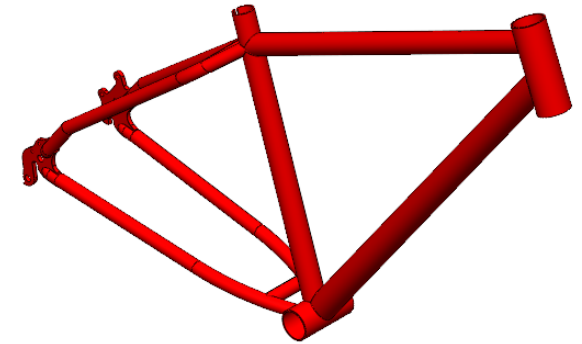
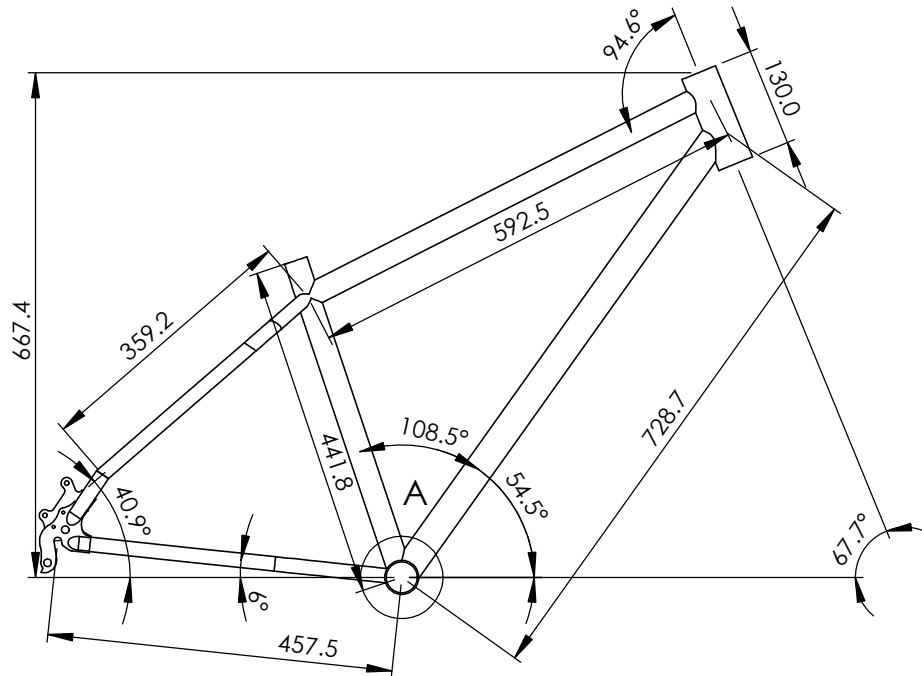
Jean Herrera

Usuario de elink desde	10/03/2022		
Periodo	09/03/2022 ~ 09/03/2022		
Promedio diario			
kWh	2.59		
Coste (\$)	0.27	Coste estimado para el año:	98.55
CO ₂ (kg)	0.88	Máxima potencia	0.10kW en 17:55

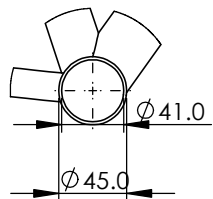
Consumo en	09/03/2022		
kWh	0.69		
Coste(\$)	0.07		
CO ₂ (kg)	0.23		



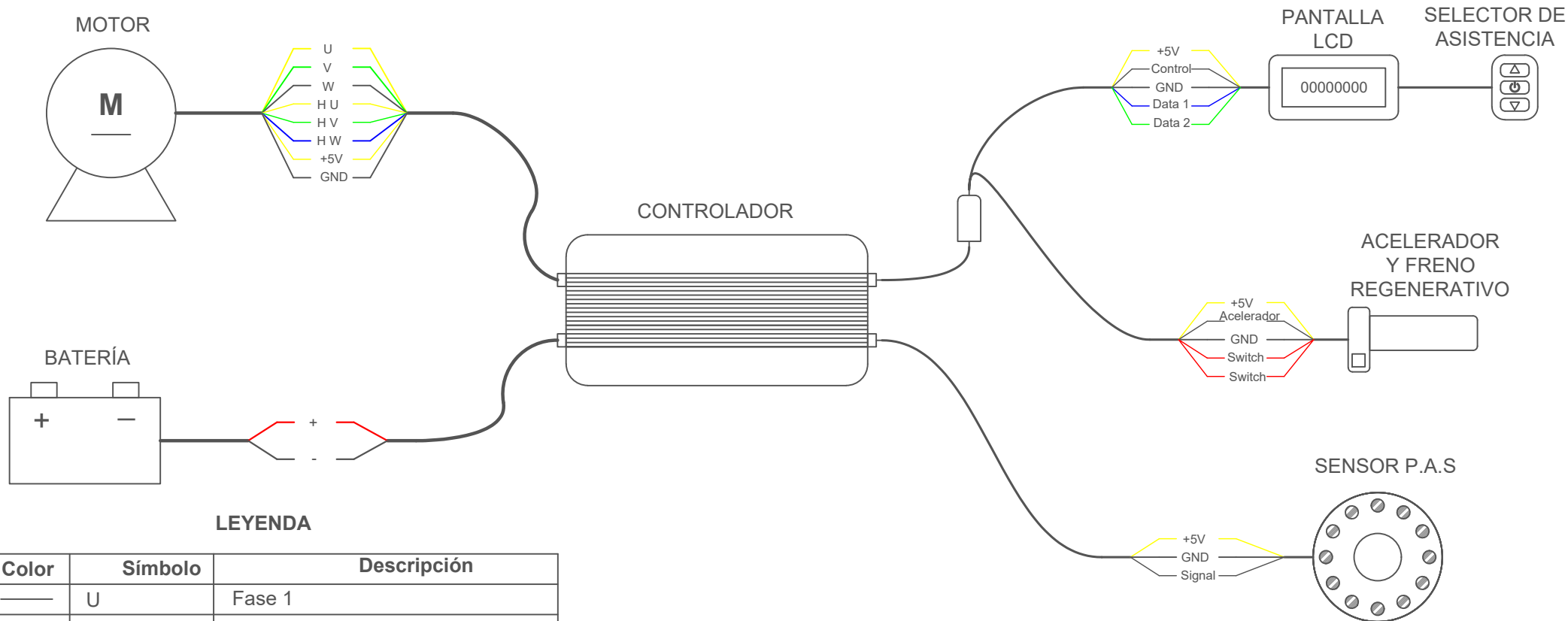
Nota. Fuente: Autor



DETALLE A
ESCALA 1 : 5



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Ingeniería Electromecánica		
PROYECTO: DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA		
Autor: Jean Paúl Herrera O.	Pieza: CUADRO DE LA BICICLETA	Fecha: 15/03/22
		Escala: 1:10
		Plano N°: 1



LEYENDA

Color	Símbolo	Descripción
—	U	Fase 1
—	V	Fase 2
—	W	Fase 3
—	H U	Sensor Hall para Fase 1
—	H V	Sensor Hall para Fase 2
—	H W	Sensor Hall para Fase 3
—	+5V	Alimentación de 5 Voltios
—	GND	Tierra común
—	Signal	Respuesta del sensor P.A.S
—	Switch	Entrada y salida de señal del freno
—	Data 1	Señal del estado de la batería
—	Data 2	Registro de velocidad
—	Acelerador	Salida de señal del acelerador
—	Control	Respuesta del módulo LCD
—	+	Conductor positivo de la batería
—	-	Conductor negativo de la batería

<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables Carrera de Ingeniería Electromecánica</p>		
<p>PROYECTO: DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA.</p>		
<p>Autor: Jean Paúl Herrera O.</p>	<p>Pieza: DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO.</p>	<p>Fecha: 16/03/2022</p>
		<p>Escala: Gráfica</p>
		<p>Plano N°: 2</p>

Anexo 10. Certificación de traducción del resumen



UNIDAD EDUCATIVA FISCOMISIONAL "NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO"
DIÓCESIS DE LOJA
"Verdad, Virtud y Ciencia"

Loja, 07 de junio del 2022.

Lic. David Andrés Castillo

DOCENTE DE INGLÉS DE LA UNIDAD EDUCATIVA FISCOMISIONAL "NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO"

A petición verbal de la parte interesada:

CERTIFICA

Que, la traducción del documento adjunto solicitado por el Sr. **JEAN PAUL HERRERA ORDOÑEZ** con cedula de ciudadanía No. **1105385130**, cuyo tema de investigación se titula: **Dimensionamiento y construcción de una bicicleta eléctrica**, ha sido realizado por el Lic. David Castillo, docente de la Unidad Educativa Fiscomisional "Nuestra Señora del Rosario. Esta es una traducción textual del documento adjunto, y el traductor es competente para realizar traducciones. Lo certifico en honor a la verdad, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

Atentamente.-

.....
Lic. David Castillo
DOCENTE DE INGLÉS