



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: DISEÑO, EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y
CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO CAMINADOR
ANTIESTRÉS PROTOTIPO CON ACCIONAMIENTO EN
INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA MEDIANTE
APROVECHAMIENTO DEL RECURSO SOLAR
FOTOVOLTAICO.**

AUTORES:

BARBA LUCERO, SANTIAGO SEBASTIÁN

CHILUIZA ESPÍN, SANTIAGO JAVIER

TUTOR: ING. GUTIERREZ, ROBERTO

SANGOLQUÍ

2016



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “DISEÑO, EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO CAMINADOR ANTIESTRÉS PROTOTIPO CON ACCIONAMIENTO EN INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA MEDIANTE APROVECHAMIENTO DEL RECURSO SOLAR FOTOVOLTAICO”, realizado por los señores BARBA LUCERO Y CHILUIZA SANTIAGO SEBASTIÁN y CHILUIZA ESPÍN SANTIAGO JAVIER, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores SANTIAGO SEBASTIÁN BARBA LUCERO y SANTIAGO JAVIER CHILUIZA ESPÍN para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 24 de Octubre del 2016

Ing. ROBERTO GUTIERREZ

DIRECTOR



ESPE
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
 MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

El presente proyecto titulado "DISEÑO, EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO CAMINADOR ANTIESTRÉS PROTOTIPO CON ACCIONAMIENTO EN INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA MEDIANTE APROVECHAMIENTO DEL RECURSO SOLAR FOTOVOLTAICO.", ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado el derecho intelectual de terceros considerándolos en citas y como fuentes en el registro bibliográfico.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto.

Sangolquí, 24 de Octubre del 2016

Santiago Sebastián Barba Lucero

C.C.: 171875634-7

Santiago Javier Chiliza Espin

C.C.: 180327071-7



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN DE LA PUBLICACIÓN

Nosotros, Santiago Sebastián Barba Lucero y Santiago Javier Chiluzza Espín, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente proyecto de investigación “**DISEÑO, EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO CAMINADOR ANTIESTRÉS PROTOTIPO CON ACCIONAMIENTO EN INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA MEDIANTE APROVECHAMIENTO DEL RECURSO SOLAR FOTOVOLTAICO.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 24 de Octubre del 2016

Santiago Sebastián Barba Lucero

C.C.: 171875634-7

Santiago Javier Chiluzza Espín

C.C.: 180327071-7

DEDICATORIA

A mi madre, por su apoyo, enseñanzas y cariño incondicional, por ser partícipe en los mejores momentos de mi vida, pero sobre todo por acompañarme y guiarme en los más difíciles.

A mi abuelita Tere, por sus enseñanzas llenas de amor que moldearon el hombre que soy y que a pesar de que ya no la tengo más en mi vida, su recuerdo está siempre en mi corazón.

Santiago Barba L.

A mis padres Wilson e Isabel, quienes han sido un pilar fundamental en mi desarrollo personal enseñándome a saber llevar una vida equilibrada llena de alegría y respeto.

A mis hermanos Diego y Fernando, quienes son mis mejores amigos y sé que siempre estarán en cualquier circunstancia de mi vida.

Santiago Chiliza E.

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres, por el apoyo y cariño durante la realización de este trabajo.

Al Ing. Roberto Gutiérrez, cuya experiencia y dedicación a la enseñanza nos brindó de sus conocimientos para culminar el trabajo.

A nuestras familias, que siempre han sido un gran soporte en nuestras vidas.

A nuestros amigos, por su ayuda y afecto durante toda la carrera.

Santiago Barba L. / Santiago Chiliza E.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|----|
| DEDICATORIA..... | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| Capítulo 1 | 1 |
| GENERALIDADES | 1 |
| 1.1. Antecedentes | 1 |
| 1.1.1. Energía Solar..... | 2 |
| 1.2. Definición del Problema | 4 |
| 1.3. Objetivos..... | 5 |
| 1.3.1. Objetivo General..... | 5 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos | 5 |
| 1.4. Justificación e Importancia de la Investigación | 6 |
| 1.5. Alcance | 7 |
| Capítulo 2..... | 8 |
| MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE | 8 |
| 2.1. Estado del Arte | 8 |
| 2.2. Estructura del Vehículo | 14 |
| 2.2.1. Material | 15 |
| 2.2.2. Propiedades Mecánicas | 16 |
| 2.2.3. Soldadura | 17 |
| 2.3. Sistemas Asociados al Vehículo | 19 |
| 2.3.1. Sistema de Dirección..... | 20 |
| 2.3.2. Sistema Caminadora..... | 21 |
| 2.3.3. Sistema de Potencia..... | 22 |
| 2.3.4. Sistema de Transmisión | 24 |
| 2.3.5. Sistema Fotovoltaico | 26 |

| | |
|---|----|
| 2.3.6. Sistema de Frenos..... | 30 |
| Capítulo 3..... | 32 |
| DISEÑO CONCEPTUAL | 32 |
| 3.1. Requisitos y Restricciones del Prototipo | 32 |
| 3.1.1. Restricciones Geográficas..... | 32 |
| 3.1.2. Restricciones Tecnológicas..... | 33 |
| 3.1.3. Restricciones Legislativas..... | 34 |
| 3.1.4. Restricciones Geométricas del Vehículo | 34 |
| 3.1.5. Resumen..... | 36 |
| 3.2. Especificaciones Técnicas del Prototipo | 36 |
| 3.2.1. Voz del Usuario | 37 |
| 3.2.2. Voz del Ingeniero | 37 |
| 3.2.3. Documento de Especificación | 38 |
| 3.3. Análisis Funcional..... | 39 |
| 3.3.2. Descripción General Del Prototipo | 39 |
| 3.3.3. Módulos del Prototipo..... | 39 |
| 3.4. Diseño Conceptual | 42 |
| 3.4.1. Diseño Conceptual del Sistema Estructural..... | 43 |
| 3.4.2. Diseño Conceptual del Sistema Fotovoltaico | 48 |
| 3.4.3. Diseño Conceptual del Sistema De Potencia..... | 51 |
| 3.4.4. Diseño Conceptual del Sistema de Transmisión. | 55 |
| Capítulo 4..... | 59 |
| DISEÑO | 59 |
| 4.1. Diseño de la Estructura del Vehículo..... | 59 |
| 4.1.1. Estructura | 59 |
| 4.1.2. Análisis de fuerza. | 61 |
| 4.1.3. Selección de sección..... | 67 |

| | | |
|------------------------------|--|-----|
| 4.1.4. | Resistencia a la fatiga | 68 |
| 4.1.5. | Simulación de la estructura del prototipo: | 72 |
| 4.2. | Diseño del Sistema de Potencia | 73 |
| 4.2.1. | Potencia y Torque del Vehículo | 73 |
| 4.2.2. | Potencia y Torque de la Caminadora | 75 |
| 4.2.3. | Selección del Motor. | 81 |
| 4.3. | Diseño del Sistema de Transmisión. | 83 |
| 4.3.1. | Cadena | 83 |
| 4.3.2. | Piñones | 83 |
| 4.3.3. | Longitud de la cadena | 89 |
| 4.3.4. | Eje del Contragiro..... | 92 |
| 4.4. | Diseño del Sistema Caminadora | 101 |
| 4.4.1. | Polea | 101 |
| 4.4.2. | Polea Motriz..... | 102 |
| 4.4.3. | Contra Tambor..... | 106 |
| 4.5. | Diseño del Sistema Fotovoltaico..... | 106 |
| 4.5.1. | Baterías..... | 107 |
| 4.5.2. | Paneles Fotovoltaicos..... | 110 |
| 4.5.3. | Tiempo de Carga de las Baterías | 111 |
| 4.5.4. | Regulador de Carga | 112 |
| 4.5.5. | Conductores y Protecciones | 113 |
| 4.6. | Diseño del Sistema de Dirección | 115 |
| 4.6.1. | Radio de Giro..... | 116 |
| Capítulo 5..... | | 120 |
| CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE | | 120 |
| 5.1. | Diagramas de Procesos Constructivos | 120 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5.1.1. | Sistema Estructural..... | 120 |
| 5.1.2. | Sistema de Dirección..... | 121 |
| 5.1.3. | Sistema Caminadora..... | 122 |
| 5.2. | Construcción del Sistema Estructural | 123 |
| 5.2.1. | Medición y Corte | 123 |
| 5.2.2. | Doblado de Tubos..... | 124 |
| 5.2.3. | Alineación, nivelación y sujeción de la estructura | 124 |
| 5.2.4. | Soldadura | 125 |
| 5.3. | Construcción y Montaje del Sistema de Dirección..... | 127 |
| 5.3.1. | Soportes de las Ruedas Delanteras..... | 127 |
| 5.3.2. | Eje de Dirección | 127 |
| 5.3.3. | Pletinas | 128 |
| 5.3.4. | Brazos de Dirección | 129 |
| 5.3.5. | Montaje del Sistema de Dirección..... | 129 |
| 5.4. | Construcción y Montaje del Sistema Caminadora | 130 |
| 5.4.1. | Ejes de los tambores..... | 131 |
| 5.4.2. | Plataforma de Carga | 131 |
| 5.4.3. | Soportes Anti vibratorios | 132 |
| 5.4.4. | Montaje del Sistema Caminadora..... | 132 |
| 5.5. | Montaje del Sistema de Frenos | 133 |
| 5.6. | Montaje Sistema Fotovoltaico..... | 133 |
| 5.7. | Montaje Sistema de Potencia | 134 |
| 5.8. | Construcción y Montaje del Sistema de Transmisión | 134 |
| 5.8.1. | Sistema de Transmisión del Vehículo..... | 134 |
| 5.8.2. | Sistema de Transmisión de la Caminadora..... | 134 |

| | |
|--|-----|
| 5.9. Pintura..... | 135 |
| Capítulo 6..... | 138 |
| PROTOCOLO DE PRUEBAS..... | 138 |
| 6.1. Pruebas de Funcionamiento..... | 139 |
| 6.1.1. Puesta en Marcha del Motor | 140 |
| 6.1.2. Vibraciones y Ruidos | 140 |
| 6.1.3. Sistema de Frenado | 140 |
| 6.1.4. Maniobrabilidad y Estabilidad..... | 141 |
| 6.1.5. Prueba de Transmisión de Potencia..... | 141 |
| 6.1.6. Prueba de Velocidad..... | 141 |
| 6.2. Pruebas de Carga..... | 142 |
| 6.2.1. Carga Directa | 142 |
| 6.2.2. Carga Híbrida..... | 142 |
| 6.2.3. Carga Solar..... | 142 |
| 6.3. Pruebas de Autonomía | 143 |
| 6.3.1. Autonomía Sin el Sistema Fotovoltaico..... | 143 |
| 6.3.2. Autonomía Con el Sistema Fotovoltaico | 143 |
| Capítulo 7..... | 144 |
| ESTUDIO ECONÓMICO | 144 |
| 7.1. Análisis de Costos..... | 144 |
| 7.1.1. Costo de Materiales | 144 |
| 7.1.2. Costo de Componentes de Sistema de Dirección | 145 |
| 7.1.3. Costo de Componentes de Sistema Caminadora | 146 |
| 7.1.4. Costo de Componentes de Sistema de Frenos | 146 |
| 7.1.5. Costo de Componentes del Sistema Fotovoltaico | 146 |
| 7.1.6. Costo de Componentes de Sistema de Potencia | 147 |
| 7.1.7. Costo de Componentes de Sistema de Transmisión..... | 147 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 7.1.8. Costo de Mano de Obra..... | 147 |
| 7.2. Presupuesto Total..... | 148 |
| Capítulo 8..... | 149 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 149 |
| 8.1 Conclusiones..... | 149 |
| 8.2 Recomendaciones..... | 151 |
| Bibliografía..... | 152 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Vehículo Solar eVe | 3 |
| Figura 2. Avión solar Sunseeker | 4 |
| Figura 3. Perfiles Y Barras De Diferentes Secciones | 16 |
| Figura 4. Esquema Soldadura TIG | 18 |
| Figura 5. Esquema Soldadura SMAW | 19 |
| Figura 6. Partes de una Bicicleta Eléctrica | 20 |
| Figura 7. Partes de una Caminadora Eléctrica..... | 20 |
| Figura 8. Esquema Sistema Caminadora | 22 |
| Figura 9. Componentes motor de corriente continua | 23 |
| Figura 10. Acoplamiento de una cadena y una catarina | 25 |
| Figura 11. Bicicleta monomarcha | 25 |
| Figura 12. Acople de correa dentada a polea..... | 26 |
| Figura 13. Instalación solar fotovoltaica sin inversor, utilización a 12VCD..... | 27 |
| Figura 14. Instalación solar fotovoltaica con inversor, utilización a 12VCD | 27 |
| Figura 15. Paneles fotovoltaicos..... | 28 |
| Figura 16. Mapa Tramos Ciclovía..... | 32 |
| Figura 17. Mapa Ruta Ciclopaseo | 33 |
| Figura 18. Función principal del prototipo | 39 |
| Figura 19. Función del Módulo Sistema Estructural | 40 |
| Figura 20. Función del Módulo Sistema Fotovoltaico..... | 40 |
| Figura 21. Función del Módulo Sistema De Potencia | 41 |
| Figura 22. Función del Módulo Sistema De Transmisión | 41 |
| Figura 23. Función del Módulo Sistema De Dirección | 41 |

| | |
|--|----|
| Figura 24. Función del Módulo Sistema Caminadora | 42 |
| Figura 25. Función del Módulo Sistema de Frenos | 42 |
| Figura 26. Módulo estructural - Alternativa 1 | 44 |
| Figura 27. Módulo estructural - Alternativa 2 | 45 |
| Figura 28. Panel solar monocristalino..... | 49 |
| Figura 29. Panel solar policristalino..... | 50 |
| Figura 30. Bobina elemental del motor de DC con escobillas | 51 |
| Figura 31. Bobina elemental del motor de DC con escobillas | 52 |
| Figura 32. Fuerzas verticales y anteroposteriores en los tests de marcha (izquierda) y carrera (derecha). | 60 |
| Figura 33. Longitud entre apoyos del travesaño lateral | 62 |
| Figura 34. Diagrama de Momentos Vigas Laterales (a) Estático (b) Alternante | 62 |
| Figura 35. Reacciones en los apoyos vigas laterales (a) Estático (b) Alternante | 63 |
| Figura 36. Diagrama de cortantes vigas laterales (a) Estático (b) Alternante | 64 |
| Figura 37. Diagrama de momentos flectores vigas laterales (a) Estático (b) Alternante | 65 |
| Figura 38. Diagrama de Goodman | 71 |
| Figura 39. Análisis Estático Para Condiciones Normales De Operación | 72 |
| Figura 40. Análisis Estático Para La Condición Más Desfavorable De Operación ... | 73 |
| Figura 41. Diagrama cuerpo libre del Vehículo | 74 |
| Figura 42. Tensiones en la banda | 78 |
| Figura 43. Relación de Tensiones. | 79 |
| Figura 44. Esquema de cadena y catarina (Motor, Rueda, Contragiro)..... | 90 |
| Figura 45. Esquema de cadena y catarina (Contragiro, Guía, Tambor Motriz) | 91 |
| Figura 46. Esquema de ubicación de las chumaceras y las catarinas del contragiro . | 92 |
| Figura 47. Esquema del contragiro (Eje X) | 93 |

| | |
|--|-----|
| Figura 48. Vista lateral en el punto D | 93 |
| Figura 49. Vista lateral en el punto B | 95 |
| Figura 50. Diagrama de Cuerpo Libre Plano x-y | 95 |
| Figura 51. Diagrama de Esfuerzos Cortantes Plano x-y | 96 |
| Figura 52. Diagrama de Momento Flectores Plano x-y | 96 |
| Figura 53. Diagrama de Cuerpo Libre Plano x-z | 97 |
| Figura 54. Diagrama de Esfuerzos Cortantes Plano x-z | 97 |
| Figura 55. Diagrama de Momento Flectores Plano x-z | 98 |
| Figura 56. Esquema General del Tambor | 102 |
| Figura 57. Diagrama de cuerpo libre de la polea y las fuerzas a las que está sometida | 103 |
| Figura 58. Diagrama de cuerpo libre para el eje motriz | 103 |
| Figura 59. Grafica de Cortante para el Eje de la Polea Motriz..... | 104 |
| Figura 60. Grafica de Momento Flector para el Eje de la Polea Motriz | 104 |
| Figura 61. Irradiación Solar Global Ecuador..... | 107 |
| Figura 62. Geometría de la Dirección | 116 |
| Figura 63. Ángulos de Viraje | 117 |
| Figura 64. Ángulos de las Pletinas de los Soportes..... | 118 |
| Figura 65. Longitudes de las Pletinas y Barras de Dirección | 119 |
| Figura 66. Diagrama de Flujo Estructura..... | 120 |
| Figura 67. Diagrama de Flujo Sistema de Dirección | 121 |
| Figura 68. Diagrama de Flujo Sistema Caminadora | 122 |
| Figura 69. Medición perfiles. | 123 |
| Figura 70. Corte curvo en la parte delantera del chasis. | 123 |
| Figura 71. Doblado manual de Tubo..... | 124 |
| Figura 72. Alineación y Nivelación de la estructura | 124 |

| | |
|---|-----|
| Figura 73. Unión de Bastidor y Componentes | 126 |
| Figura 74. Soporte de Rueda Delantera | 127 |
| Figura 75. Proceso de Construcción del Eje de Dirección | 128 |
| Figura 76. Perforación de Brazo de la Rueda | 129 |
| Figura 77. Barras de Dirección..... | 129 |
| Figura 78. Sistema de Dirección Ensamblado | 130 |
| Figura 79. Roscado Eje de Tambores | 131 |
| Figura 80. Sistema Caminadora Ensamblado..... | 132 |
| Figura 81. Sistema Fotovoltaico Ensamblado | 133 |
| Figura 82. Sistema Fotovoltaico Ensamblado | 135 |
| Figura 83. Imprimación Estructura con WASH PRIMER | 136 |
| Figura 84. Pintura Base Estructura..... | 136 |
| Figura 85. Pintura Final Estructura | 137 |
| Figura 86. Ubicación Geográfica Pruebas Prototipo..... | 138 |
| Figura 87. Pruebas de Funcionamiento..... | 140 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Tipos De Frenos De Llantas..... | 30 |
| Tabla 2. Tipos De Frenos De Buje..... | 31 |
| Tabla 3. Dimensiones Antropométricas En Posición De Pie Trabajadores Industriales De Sexo Masculino De 18 A 65 Años. | 35 |
| Tabla 4. Restricciones del Prototipo | 36 |
| Tabla 5. Documento de Especificación..... | 38 |
| Tabla 6. Matriz Combinada del Módulo Sistema Estructural | 47 |
| Tabla 7. Matriz de Selección del Módulo Sistema Estructural | 48 |
| Tabla 8. Matriz Combinada del Módulo Sistema de Potencia – Motor | 54 |
| Tabla 9. Matriz de Selección del Módulo Sistema de Potencia – Motor..... | 54 |
| Tabla 10. Matriz Combinada del Módulo Sistema de Transmisión..... | 57 |
| Tabla 11. Matriz de Selección del Módulo Sistema de Transmisión..... | 58 |
| Tabla 12. Propiedades Mecánicas Acero ASTM A500 | 60 |
| Tabla 13. Propiedades de perfiles cuadrados DIPAC | 67 |
| Tabla 14. Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin..... | 69 |
| Tabla 15. Factores de Confiabilidad k_e | 71 |
| Tabla 16. Masas que actúan en el Vehículo | 74 |
| Tabla 17. Características de la banda..... | 76 |
| Tabla 18. Coeficientes de fricción recomendados entre bandas transportadoras con cubiertas de goma y superficie de poleas con diferentes terminaciones (Norma DIN 22101) en estado de funcionamiento continuo | 79 |
| Tabla 19. Potencia Y Torque Requeridos | 82 |
| Tabla 20. Elementos que incluyen en el kit del motor | 82 |
| Tabla 21. Especificaciones Técnicas Motor DC | 82 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 22. Datos Vehículo y Caminadora | 84 |
| Tabla 23. Torque Y Potencia Necesarios Evaluados Para Distintas Pendientes | 88 |
| Tabla 24. Diámetros de Paso Piñones Utilizados..... | 89 |
| Tabla 25. Capacidad total de la batería según su ciclo de trabajo | 109 |
| Tabla 26. Tiempos de Carga de las Baterías..... | 111 |
| Tabla 27. Capacidad total de la batería según su ciclo de trabajo | 115 |
| Tabla 28. Características Electrodo E-6013 | 125 |
| Tabla 29. Variables Principales Proceso SMAW..... | 126 |
| Tabla 30. Resultados Prueba de Funcionamiento | 139 |
| Tabla 31. Velocidades Máximas De Los Sistemas Caminadora Y Vehículo | 141 |
| Tabla 32. Tiempo De Carga Según El Tipo De Carga..... | 142 |
| Tabla 33. Comparación de Resultados en las Pruebas de Autonomía | 143 |
| Tabla 34. Costo de Materiales | 145 |
| Tabla 35. Costo de Materiales Sistema de Dirección | 145 |
| Tabla 36. Costo de Materiales Sistema Caminadora | 146 |
| Tabla 37. Costo de Materiales Sistema de Frenos..... | 146 |
| Tabla 38. Costo de Materiales Sistema Fotovoltaico | 146 |
| Tabla 39. Costo de Materiales Sistema de Potencia..... | 147 |
| Tabla 40. Costo de Materiales Sistema de Transmisión | 147 |
| Tabla 41. Costo Mano de Obra..... | 148 |
| Tabla 42. Presupuesto Total | 148 |

NOMENCLATURA

| | |
|----------------|---|
| μ_2 | Coefficiente de fricción entre la polea y la banda |
| a | Ancho de vía del vehículo |
| Ar | Longitud de arco |
| Ave | Ángulo de viraje rueda externa a la curva |
| Avi | Ángulo de viraje rueda interna a la curva |
| b | Batalla |
| C | Capacidad total |
| D | Diámetro de paso del piñón |
| E | Energía requerida |
| F | Fuerza total requerida |
| f | Coefficiente de fricción de la banda |
| FS | Factor de seguridad |
| g | Gravedad (9,81 m/s ²) |
| HSP | Horas de sol pico |
| I | Intensidad |
| k _a | Factor de superficie |
| kA | Coefficiente de autodescarga del acumulador |
| k _b | Factor de tamaño |
| kB | Coefficiente de pérdidas del acumulador |
| k _c | Factor de confiabilidad |
| k _d | Factor de temperatura |
| k _e | Factor de modificación por concentración de esfuerzos |
| k _f | Factor de efectos diversos |
| kS | Coefficiente de seguridad |
| kT | Factor de corrección por temperatura |

| | |
|------------------------------|---|
| kV | Coefficiente de pérdidas varias |
| L | Longitud |
| m | Masa total del vehículo |
| $M_{\text{alternante}}$ | Momento flector alternante |
| N | Ancho de la banda |
| N_1 | Número de dientes conductor |
| $N_{\text{días}}$ | Número de días de autonomía |
| p | Paso de la cadena |
| P_{cc} | Potencia de consumo en corriente continua |
| PD | Profundidad máxima de descarga |
| P_{gen} | Potencia nominal de los paneles fotovoltaicos |
| R | Rendimiento global |
| R_{giro} | Radio de giro |
| S_u ó S_{ut} | Resistencia última de tensión |
| S_y | Resistencia a la fluencia del material |
| T | Torque necesario de la caminadora |
| T_1 | Tensión de entrada de la banda |
| V | Velocidad lineal del vehículo |
| V_{na} | Voltaje nominal del sistema |
| w_{motor} | Velocidad angular del motor |
| Z | Módulo de sección |
| α | Pendiente del terreno |
| α_1 | Ángulo de revestimiento en la polea |
| δ_{cable} | Conductividad del cable |
| $\sigma_{\text{alternante}}$ | Esfuerzo medio alternante |
| ηG | Rendimiento de los paneles fotovoltaicos |

RESUMEN

La actividad física diaria es una de las principales soluciones para combatir enfermedades causadas por el estrés y el sedentarismo laboral. Las máquinas actuales para hacer ejercicio demandan gran esfuerzo físico al usuario y limitan a un entorno cerrado por lo que el presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un vehículo prototipo caminador antiestrés que permite al usuario realizar una caminata mientras que el vehículo se desplaza a una mayor velocidad. En la actualidad, el uso de energías alternativas se ha implementado en distintos tipos de máquinas y dispositivos para inducir un ahorro energético buscando una concienciación medioambiental, por lo que se incorpora este tipo de energía al prototipo evaluando energéticamente su rendimiento. El vehículo utiliza un sistema de propulsión eléctrico y regulación de potencia, incorporando un kit eléctrico para bicicletas, que constan de un motor de corriente continua de 450 W, un módulo de control, frenos y acelerador. El motor es alimentado por dos baterías recargables de 12 V 17 Ah con una autonomía de uso de 1 hora a una velocidad promedio de 8 km/h, en tanto que el usuario camina a una velocidad de 2,8 km/h. Los acumuladores tienen 3 tipos de carga: directa a la red, solar e híbrida, siendo la carga híbrida la que presenta un menor tiempo de carga. Con la construcción de este prototipo se logró incentivar el ejercicio de una manera entretenida, mediante la aplicación de fuentes de energía alternativa.

PALABRAS CLAVE

- **VEHÍCULO**
- **CAMINADORA**
- **PANEL FOTOVOLTAICO**
- **ANTIESTRÉS**
- **ENERGÍA SOLAR**

ABSTRACT

Daily physical activity is one of the main solutions to combat diseases caused by workstress and sedentary work. The current exercise machines demand great physical effort and limited to a closed user environment so this project consists in the design and construction of a prototype vehicle antistress walker that allows the user to walk while the vehicle is rolling at a higher speed. Currently, the use of alternative energy has been implemented in different types of machines and devices to induce energy savings looking for an environmental awareness, so this energy is incorporated into the prototype to evaluate their performance energetically. The vehicle uses an electric propulsion system and power control, incorporatig an electric bicycle kit, consisting of a DC motor 450 W, a control module, brakes and accelerator. The engine is powered by two rechargeable batteries 12 V 17 Ah, use autonomy 1 hour at an average speed of 8 km/h, while the user walks at a speed of 2,8 km/h. The batteries have 3 types of load: direct electricity mains, solar and hybrid; the hybrid load has a smaller load time. With the construction of this prototype was achieved encourage exercise in an entertaining way, through the application of alternative energy sources.

KEYWORDS

- **VEHICLE**
- **TREADMILL**
- **PHOTOVOLTAIC PANEL**
- **ANTI-STRESS**
- **SOLAR ENERGY**

Capítulo 1

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

El estrés y el sedentarismo son dos de los principales problemas en el actual mundo laboral; con el tiempo ambos pueden ocasionar en el organismo graves enfermedades.

El 10 % de los ecuatorianos sufre de estrés y el 14 % tiene el colesterol alto. Así lo determina un estudio realizado por la empresa GFK, cuya encuesta fue aplicada en Quito y Guayaquil a 1006 personas. En el Puerto Principal hubo 514 encuestados y en la capital 492. Los dolores de cabeza en Ecuador se ubican en el 49 %, síntoma que también se asocia con el 10 % del estrés y el 6 % de la población que dice tener estreñimiento. (Diario Expreso, 2012)

Solo en las industrias de Guayaquil hay el 60 % de casos de hipertensión, una de las principales enfermedades derivadas del estrés. Esta patología consiste en la estrechez de las arterias y es causada por la tensión que producen las situaciones difíciles. Un cuadro grave de hipertensión puede generar un infarto.

En el mes de marzo 2015, la población económicamente activa (PEA) a nivel nacional fue de 7,4 millones de personas; en el área urbana es de 4,9 millones de personas (66 % de la PEA total), y en el área rural fue de 2,5 millones de personas (el 34 % restante). (Granda C, 2015)

Si se relaciona estos datos, con los de estrés y enfermedades asociadas, la población económicamente activa en áreas urbanas que sufre de estrés es aproximadamente 490000 personas, mientras que 686000 sufren de colesterol alto, y 2,4 millones padecen de dolores de cabeza.

Se considera que 30 minutos de natación, caminata o bicicleta ayudan a reducir el nivel de estrés que se acumula luego de una jornada extenuante, además la inversión implica un costo de 10 a 15 dólares por cada sesión. (Ontaneda, 2015)

Haciendo uso de tecnologías renovables se podría construir diferentes modelos de prototipos que nos permitan combatir contra estas enfermedades de una manera ecológica, amigable para el usuario y económicamente accesible como es la tecnología solar fotovoltaica.

1.1.1. Energía Solar

El uso de la energía solar fotovoltaica como una fuente de energía comienza en el año de 1976, donde se empieza a darle un uso significativo como es la generación de energía eléctrica para casas, y proporcionar energía a satélites.

Hoy, los sistemas fotovoltaicos son confiables y económicamente competitivos, se encuentra en constante innovación, y se la puede usar en máquinas que permitan combatir el estrés mediante el ejercicio.

Entre los prototipos en los que esta tecnología ha sido implementada se encuentran computadoras, celulares, viviendas, vehículos e incluso medios de transporte aéreos y marítimos. Entre los cuales se puede mencionar:

1.1.1.1. Vehículo híbrido para transporte ecológico y ahorro energético

La producción y consumo de energía tienen una repercusión directa en el Medio Ambiente. El hombre se ve afectado por la grave contaminación ambiental. Los recursos energéticos se agotan además de crearnos dependencias, por lo que es necesario fomentar las fuentes de energía renovable, no despilfarrando las ilimitadas y gratuitas energías solar y eólica. Los objetivos van paralelos con las prioridades, empleando estrategias adecuadas como son la instalación junto al chasis en la parte delantera de un sistema de tracción eléctrica que convierte las ruedas delanteras en motrices y directrices eléctricas: solares-eólicas y, siendo el coche híbrido, las ruedas traseras tienen tracción de gasolina. (Larraya, 2001)

Otra estrategia ha sido la colocación de un panel fotovoltaico en el techo del vehículo, acompañado de un generador eólico, encargándose ambos de sumar sus energías para cargar las baterías que almacenan la energía necesaria para su funcionamiento.

1.1.1.2. Motocicleta Solar Casera

Con un costo de \$3300 y ochenta horas de trabajo se implantó alas fotovoltaicas a una moto. Los paneles desplegados, sólo sirven para generar energía que luego se almacena. La motocicleta tiene una autonomía de aproximadamente 18 km, posterior a esto se debe desplegar los paneles capaces de generar unos 30 vatios de energía, con un tiempo de recarga de 8 horas, siendo esta motocicleta amigable con el planeta.

1.1.1.3. Vehículos solares

La revolución solar también llega al mundo de los automóviles. Cada vez son más los fabricantes que ponen a prueba sus prototipos solares. Algunos ejemplos de coches que solo necesitan la luz del sol para arrancar son: eVe, un vehículo que alcanza los 140 km/h con una autonomía de 500 km; o el holandés Stella, un coche solar familiar y unos de los más ligeros que existe en el mercado con 380 kilos. (Twenergy, 2014)



Figura 1. Vehículo Solar eVe

Fuente: (López, 2015)

1.1.1.4. Aviones solares

Uno de los inventos más sorprendentes, es el avión solar. El prototipo más espectacular es el Solar Impulse 2, un avión que tiene el reto de dar la vuelta al mundo sin utilizar ningún tipo de combustible sólo la luz del sol. La aeronave es

capaz de permanecer cinco días y cinco noches en vuelo sin tener que aterrizar. (Twenergy, 2014)



Figura 2. Avión solar Sunseeker

Fuente: (Isan, 2013)

1.2. Definición del Problema

De las principales enfermedades ocasionadas por el duro y competitivo mundo laboral es el estrés, un trastorno psicológico que afecta principalmente a personas que tienen alta carga y desafíos laborales. Este trastorno impide en la toma de decisiones, asumir responsabilidades y crecer personal y laboralmente. Según datos estadísticos, en el Ecuador gran parte de la población económicamente activa la padece. (Diario Expreso, 2012)

El sedentarismo afecta a la mayor parte de los trabajadores que pasan prácticamente la totalidad de su jornada laboral sentados. Las personas que realizan escasa actividad física suelen mostrar síntomas de cansancio, aumento de peso y de volumen asociados con una baja concentración. (Caroli, 2015)

La actividad física regular potencia el rendimiento del organismo, reduce los factores de riesgo de muchas enfermedades, mejora la calidad y esperanza de vida. Con un entrenamiento diario moderado se evita la sensación de agotamiento o cansancio elevando los niveles de energía y reduciendo el estrés al mínimo.

A nivel físico, hacer ejercicio regularmente tiene como resultados una mejora de la postura corporal y del equilibrio, un aumento y fortalecimiento de la masa muscular, una mayor flexibilidad y la disminución de la grasa corporal.

A nivel psíquico, el ejercicio aporta una mejora de la concentración y del rendimiento intelectual, mayor resolución, mejora del sueño y eliminación del cansancio generalizado.

La alcaldía del distrito metropolitano mediante programas como BICIQ; sistema público de alquiler de bicicletas y el ciclopaseo semanal; iniciativa que se realiza todos los domingos, creada hace varios años con el fin de promover la recreación familiar y la actividad física, sin lugar a dudas, son un planteamiento viable para generar beneficios en términos de bienestar físico y salud pública, sin embargo, muchas personas no usan de estos programas al no considerarse en condiciones para realizar una actividad física muy fuerte, por falta de tiempo o simplemente no se ven motivados ni interesados.

Combatir con los arraigados hábitos de quienes no gustan de realizar actividad física, es el principal reto de este proyecto al buscar una forma diferente, original y orientado a personas de todas las edades, que motivará a la realización de actividad física de una forma fácil y divertida.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar, evaluar energéticamente y construir un vehículo caminador antiestrés prototipo con accionamiento en interfaz hombre – máquina mediante aprovechamiento del recurso solar fotovoltaico.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar, seleccionar y construir la estructura del vehículo, el sistema de propulsión eléctrico, el sistema de almacenamiento de energía solar fotovoltaica y los elementos de control de dirección y regulación de potencia electrónicos.

- Ejecutar pruebas de campo para determinar el correcto funcionamiento del vehículo y su función específica de movilizar personas.
- Realizar una evaluación económica.

1.4. Justificación e Importancia de la Investigación

En el Ecuador existe un alto porcentaje de afecciones a la salud relacionados con enfermedades y estrés laboral. Estos malestares son sencillos de evitarlos canalizando nuestra energía a través del ejercicio. Las actividades deportivas liberan endorfinas, la hormona responsable de la sensación de felicidad que hace que veamos las cosas de una manera positiva.

La adquisición de una nueva forma de transportarse incentivando al ejercicio y el fácil modo de uso para personas de todas las edades especialmente para aquellas personas que trabajan y pueda ser utilizado en rutas como ciclovías, ciclopaseo así como los distintos parques lineales ubicados en nuestra ciudad, inclusive siendo útil para mejorar la movilidad en horas pico gracias a la autonomía del móvil.

Con la implementación de un vehículo de entretenimiento con un sistema de potencia que solo depende de una simple caminata combinado con un soporte de potencia eléctrico facilitando el esfuerzo físico y que, cuando el conductor lo requiera activar una forma de desplazamiento independiente que no requiera del esfuerzo humano, incentivará a personas que buscan llevar una vida más sana y deportiva pero tienen recelo de no poder con una carga física muy fuerte a parte de una forma diferente y entretenida que se pueda disfrutar en compañía de la familia y amigos, en consecuencia reducir los niveles de estrés y el sedentarismo en las personas.

Con este proyecto están inmersos tres aspectos: Investigativo, al diseñar y construir una nueva clase de vehículo. Social, al incentivar el deporte mediante la recreación de las personas reduciendo el estrés y el sedentarismo, en efecto mejorando la eficiencia laboral y la calidad de vida. Finalmente el aspecto académico al aprovechar una forma de energía renovable como es la solar fotovoltaica.

1.5. Alcance

Este proyecto tiene como finalidad la materialización del diseño de un vehículo que permita facilitar la movilidad, incentivar la actividad física y reducir el nivel de estrés en los usuarios.

La solución al problema consiste en diseñar, construir e implementar un vehículo que pueda ser propulsado mecánicamente, mediante un motor encargado del movimiento del vehículo y que a su vez facilite el funcionamiento de la banda caminadora, que ayude a la persona a transportarse con mayor rapidez. El sistema estará constituido por un panel fotovoltaico que será parte de la estructura del triciclo, un motor eléctrico que servirá para transmitir la potencia y así aumentar el periodo de uso del vehículo e incorporada una batería que será la encargada de suministrar la energía al motor.

El vehículo será controlado mediante una interfaz hombre – máquina con mandos que permitirán activar el sistema autónomo eléctrico, asimismo de tener indicadores para el control de distancia que se puede recorrer con el sistema de apoyo, además de un sistema de seguridad para garantizar el uso de este prototipo.

En conclusión el proyecto se basa en la aplicación de la energía solar fotovoltaica como fuente de energía a un prototipo de vehículo basado en una caminadora eléctrica sobre ruedas que permitirá un desplazamiento más rápido que el caminar del usuario y que en caso de agotamiento permita un desplazamiento independiente que no requiera de trabajo físico. Además tiene como fin motivar el ejercicio en los usuarios, combatiendo enfermedades laborales fáciles de tratar con el simple hecho de divertirse haciendo actividad física.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1. Estado del Arte

La bibliografía correspondiente a estudios innovadores sobre esta tecnología comienza en el año de 1976, donde se empieza a darle un uso significativo como es la generación de energía eléctrica para casas, y proporcionar energía a satélites.

Grey, J en una conferencia realizada en Río de Janeiro en el año de 1976 presentó una perspectiva del uso de energía solar para el uso terrestre. Entre los tipos de energía mencionadas se encontraban la conversión fotovoltaica de la radiación solar directamente a energía eléctrica y la potencia transmitida a la Tierra desde un panel solar fotovoltaico en órbita geostacionaria; en esta época la energía fotovoltaica era una propuesta innovadora y en inicios de desarrollo. (Grey, 1976)

Glaser, Peter E, en agosto de 1976 realizó un programa estadístico sobre el estado de desarrollo de la energía solar en satélites basado en conversión fotovoltaica y sus características más destacadas. Los resultados fueron presentados y comparados con los costos de generación de energía mediante sistemas terrestres. Se sugirió la implementación de un programa de desarrollo de los SPSS y que las aéreas críticas de esta tecnología deben ser desarrolladas antes de su comercialización. (Glaser, 1976)

En noviembre del 1976 Ralph, E y Shahryar I, en una conferencia realizada en Arabia Saudita, mencionaron el potencial de los sistemas fotovoltaicos para satisfacer las necesidades de generación de energía eléctrica. El desarrollo de nuevos procesos de fabricación de células solares que abarataría sus costos por la automatización en el proceso, también fue señalado durante la presentación. (Ralph & Shahryar, 1976)

Las aplicaciones para el uso combinado de energía solar y sistemas térmicos para su uso en una vivienda familiar se lograron gracias al desarrollo de un sistema en el que la electricidad generada por el proceso fotovoltaico y térmico era almacenada

utilizando el aire como medio de transporte, el sistema fue desarrollado por Shewchun, J et al. Se determinó que para un desarrollo económico viable se debe explotar el desarrollo de nuevas tecnologías en fabricación de células de película tales como Cu, 2S-CdS y cintas de silicón. (Shewchun, y otros, 1976)

Para los años 80 la tecnología fotovoltaica ya se encontraba más desarrollada pero le faltaba aún un largo camino por recorrer.

Stoy, B, en el año de 1982 realizó un análisis de la potencia económica de la integración de sistemas solares terrestres y extraterrestres en sistemas de generación de energía ya existente. Gracias a la reducción en los costos de las células y sus componentes se volvía más llamativo el uso de estos sistemas. En lo que concierne a aplicaciones terrestres sus aplicaciones se dividían en dos: la generación de energía en plantas de energía solar y la generación de energía en edificios mediante la colocación de paneles en los techos. (Stoy, 1982)

En la Conferencia Internacional de Energía de Telecomunicaciones realizada en 1988 se presentaron diferentes tipos de proyectos que mostraron el desarrollo de sistemas híbridos fotovoltaicos y las nuevas aplicaciones de estos sistemas.

Gropper, J, realizó un estudio técnico y económico entre los sistemas energéticos fotovoltaicos y turbogeneradores de vapor de ciclo cerrado para aplicaciones en telecomunicaciones en Nigeria. Concluyó que el turbogenerador de vapor de ciclo cerrado, sea en forma independiente o en una configuración híbrida solar, es el sistema de elección por ser más rentable económicamente, contar con una alta disponibilidad y mínimo mantenimiento. (Gropper, Technical and economic trade-off study between photovoltaic power systems and closed cycle vapor turbogenerators, 1988)

De Gregorio, R et al, en 1988 presentaron los primeros resultados de un sistema energético prototipo híbrido fotovoltaico que consistía de una planta experimental fotovoltaica integrado con un generador eléctrico diésel. La primera parte del proyecto se culminó en un año y medio presentado tres aspectos importantes:

- El sistema ajustable de carga desde el PV a la batería,

- Los criterios de control del estado de carga de la batería de las células
- Formas de inversión DEG para un óptimo balance energético para gradualmente introducir subsistemas en el proyecto.

La segunda fase se realizó durante 6 meses donde se recogió y analizó datos con el objetivo de comprobar la idoneidad del proyecto con respecto a la integración de una planta eólica. (De Gregorio, Piccolo, Biondini, & Goglia, 1988)

Braun, G et al, en el año de 1991 realizaron una comparación de dos tecnologías de generación de energía solar, utilizadas como un recurso de utilidad en horas pico: los sistemas cilindro-parabólicos solares térmicos y sistemas fotovoltaicos. Los resultados indicaron que la energía solar estaba muy cerca de convertirse en una alternativa económicamente viable, sin embargo, la energía fotovoltaica podía surgir a largo plazo como un recurso altamente competitivo. (Braun, 1991)

Hamakawa, Y, realizó un análisis de los avances tecnológicos en Japón, realizó un estudio estadístico sobre la producción de paneles fotovoltaicos y los costos de producción anuales. Como tema secundario de discusión se analizó los esfuerzos para el mejoramiento de la eficiencia de las células solares, el estado actual de esta tecnología y su nuevo papel para la contribución en el cuidado del medio ambiente. (Hamakawa, 1991)

Jaboori, Monji G et al, presentaron una contribución para la optimización del diseño y simulación de la tecnología fotovoltaica. Se demostró que existe una mejora hasta del 12 % en el rendimiento de los sistemas de riego al seleccionar un tamaño adecuado de la interfaz de la batería. (Jaboori, Saied, & Hanafy, 1991)

Steffens, F, en 1991 realizó un análisis de los sistemas de almacenamiento de energía hasta la fecha, determinó que las baterías de plomo/ácido mejoran la eficiencia y reducen los costos para las instalaciones fotovoltaicas. Llegó a la conclusión de que los precios de las celdas solares son muy elevados, sin embargo, los sistemas fotovoltaicos son competitivos tanto en pequeñas instalaciones remotas como en grandes aplicaciones industriales. (Steffens, 1991)

Arbuzov, D et al, en el año de 1995 realizaron una investigación sobre el método de conversión de energía solar fotovoltaica basado en la descomposición espectral de la radiación, utilizaron una lente de prisma y fotoconvertidores basados en silicio y arseniuro de galio a una concentración de 15 veces la media de la radiación solar, los resultados fueron:

- La eficiencia del sistema aumentó 35 %
- La temperatura de funcionamiento disminuyó en 25 ° C. (Arbuzov, 1995)

Van Vechten, J, mencionó en 1995 que la única esperanza de una fuente de energía verdaderamente sostenible es la energía solar. Por lo que realizó un análisis de cómo se podría suministrar energía fotovoltaica a gran escala y a precios asequibles, en su estudio también propuso diferentes materiales que podrían ser utilizados para la construcción de colectores solares y células fotovoltaicas. Todo esto como consecuencia de que los sistemas fotovoltaicos hasta la fecha eran solo utilizados en satélites de potencia, dispositivos remotos y nichos de mercado. (Van Vechten, 1995)

Hasta mediados de los 90 uno de los principales problemas era que la tecnología fotovoltaica continuaba sin ser económicamente rentable, y los estudios realizados en esa época se enfocaban en la posible reducción de los costos.

Luque, A et al, realizó un estudio de los posibles costos de plantas fotovoltaicas de concentración de energía, basándose en la experiencia adquirida con plantas térmicas solares y la eficiencia obtenida de los datos mundiales logrados de las plantas fotovoltaicas. Los resultados determinaron que el costo de las plantas de concentración de energía fotovoltaica debería ser 008 ECU s/kWh, 1/3 de las plantas de módulo plano y del mismo valor incluso menor a las plantas de energía solar térmica usadas en esa época. Los estudios revelaron que las plantas fotovoltaicas de alta concentración son muy prometedoras en un futuro. (Luque, Sala, Araujo, & Bruton, 1995)

En 1995 se realizaron estudios para el desarrollo de un sistema de energía solar lunar. El estudio realizado por Criswell, R, presenta la idea de recoger energía solar en la superficie de la luna y convertirla en microondas. LSP (Lunar Solar Power)

consiste en un sistema que mediante reflectores o retransmisores orbitales transmiten múltiples rayos de energía que serán recogidos en la tierra por receptores llamados rectennas. Se presentaron tres tipos de LSP, que según el estudio podrían proporcionar 1000000 GWe de energía eléctrica limpia de bajo costo, entre un sinnúmero de beneficios entre los cuales se incluía el establecimiento de una economía entre la Tierra y la Luna. (Criswell, 1995)

Otro de los objetivos de los años 90 era suministrar energía a lugares remotos, Davis, M, presentó su trabajo que permitiría proveer energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos a las casas sin electricidad en Sudáfrica de zonas rurales donde la ampliación de la red eléctrica demandaba un alto costo. (Davis, 1995)

En 1998 Imre, L y Bitai, A, presentaron la aplicación de sistemas solares complejos, motivados por los múltiples efectos en aumentar la eficiencia y las ventajas obtenidas por los usos multifunciones de los elementos del sistema. Al implementar un convertidor de energía fotovoltaica térmica combinada produciría electricidad que puede ser utilizada directamente por los consumidores, puede ser almacenada en baterías o alimentada a la red mientras que el calor que se puede utilizar para la producción de agua caliente a partir de energía solar. (Imre & Bitai, 1998)

En el mismo año Suiza realizó un estudio a cargo de Dones, R y Frischknecht, R, donde se discute los resultados obtenidos de las plantas fotovoltaicas conectadas a la red, basándose en los últimos estudios de evaluación del ciclo de vida de sistemas utilizados en esa época y sistemas futuros. Entre las tecnologías analizadas de la época fueron las células de silicio monocristalino, policristalino y amorfas. También se discute sobre las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los diferentes sistemas de la época y se realizó una comparación entre ellos. (Dones & Frischknecht, 1998)

Rahman, S et al, realizaron en 1998 un estudio para maximizar el rendimiento de un sistema híbrido fotovoltaico-combustible utilizando un controlador de doble bucle. El primer bucle se encarga del seguimiento del punto de máxima potencia,

donde se extrae la máxima potencia solar. El segundo bucle llamado controlador real / potencia reactiva (RRPC), se encarga de los requisitos del sistema para potencias real y reactiva mediante el control de combustible de entrada. Se determinó que este tipo de implementación mejora la eficacia del sistema lo que podría ser usado en plantas de generación de energía híbridas. (Ro & Rahman, 1998)

A inicios del siglo XXI los investigadores Senadeera, G.K.R, et al, realizaron una investigación para la fabricación de células fotovoltaicas de politiofeno de alta eficiencia sensibilizadas con diferentes semiconductores. Como resultado se llegó que los electrodos de TiO_2 nanoporoso tienen una eficiencia de conversión de corriente de hasta 60 % a 430 nm, mientras que la eficiencia de los electrodos de $\text{SnO}_2\text{-ZnO}$ nanoporoso bajo una misma iluminación es de 1,5 %. (Senadeera, Nakamura, Kitamura, Wada, & Yanagida, 2003)

En 2007 Robles-Ocampo, B et al, realizaron el diseño y construcción de un sistema solar híbrido Fotovoltaico/Térmico con un módulo Fotovoltaico bifacial de Si cristalino compatible con un colector plano transparente en las zonas visibles y cercanas al espectro infrarrojo. Los estudios realizados del sistema demostraron que la eficiencia de utilización de la energía solar global para el sistema relacionado con el flujo de radiación directa es del orden de 60 %, con una eficiencia eléctrica de 16,4 %. (Robles-Ocampo, y otros, 2007)

Martin, C at al, ejecutaron un modelo numérico para explicar el papel de la interfaz morfológica en las células solares compuestas, demostrando que la eficiencia de la conversión de la energía total del dispositivo, depende del grosor y el tamaño de la característica interfacial. Por medio de este modelo se observó que un aumento del factor de relleno se da cuando sal de litio $\text{Li}[\text{C F}_3 \text{ S O}_2]_2 \text{N}$ es añadida al dispositivo, debido a un aumento de la movilidad en los agujeros del polímero. (Martin, Burlakov, Assender, & Barkhouse, 2007)

Ye, Y et al, en el año de 2010, realizaron un estudio para la utilización de nanocables (nanocinta) Schottky de alto rendimiento en conjunto con células solares con Electrodos Schottky de Au/grafeno. Mostraron un excelente comportamiento fotovoltaico, presentaron las siguientes características:

- Tensión de circuito abierto de ~ 0.15 V
- Corriente de cortocircuito de ~ 275.0 pA, y
- Eficiencia de conversión de energía de hasta $\sim 1,5$ %.

Como resultado de la investigación se llegó a que este tipo de células son prometedoras y novedosas, y presentaron potencial para aplicaciones en sistemas integrados nano – optoelectrónicos. (Ye, y otros, 2010)

El Bassiouny, O et al, realizaron el diseño de una configuración en paralelo de dos inversores de diferentes tamaños para sistemas fotovoltaico residenciales para un desempeño eficiente y rentable energéticamente. El rango de potencia de un inversor es pequeño para poder manejar las frecuentes condiciones de baja insolación, un inversor más grande maneja altas radiaciones con un régimen de alta potencia.

Para poder optimizar la eficiencia de conversión DC-AC global se propuso una estrategia de control en el cual los dos inversores no se desvíen hacia los regímenes de baja eficiencia asociadas con cargas parciales y excesivas. La simulación dio como resultados para un sistema de 9 kW en Tennessee y Colorado que la implementación de esta configuración puede incrementar la eficiencia de conversión hasta un 20 % en comparación de un sistema utilizando un solo inversor. (El Bassiouny, Dhople, Davoudi, & Chapman, 2010)

2.2. Estructura del Vehículo

Los materiales a considerar para el diseño y fabricación de la estructura, son perfiles estructurales de uso industrial con disponibilidad en el mercado.

La estructura del vehículo es la pieza básica en la cual se fijan los otros componentes como la horquilla, las ruedas, el manillar y distintos sistemas anexos al vehículo. Es decir, se trata de conseguir una estructura rígida capaz de soportar grandes esfuerzos cumpliendo con los requerimientos previos de diseño.

2.2.1. Material

Los perfiles estructurales de acero y aluminio son los más utilizados en la industria para la fabricación de estructuras, presentan una gran variedad de geometrías y dimensiones de acuerdo a la necesidad de diseño.

2.2.1.1. Acero.

Utilizado en la construcción de bicicletas durante largas décadas. Este material presenta alta durabilidad, buena absorción de las irregularidades del camino, alta resistencia a la ruptura y un límite elástico bajo. Esto quiere decir que el material se dobla mucho antes de una ruptura por fatiga, evitando de esta manera graves accidentes.

Al tener una resistencia a la ruptura muy alta ($> 1000 \text{ N/mm}^2$), se puede utilizar tubería con espesores de pared de hasta 0.4 mm, sin embargo, al momento de ser sometida una tubería tan delgada a la soldadura puede ocasionar varios y riesgosos inconvenientes. Por esta razón los tubos presentan un engrosamiento en sus extremos, permitiendo reducir el peso y soldar en las partes más gruesas.

Es además el material más fácil de maquinar, soldar y de mayor asequibilidad. La fabricación de tubos de acero de excelente calidad es relativamente barata, por lo que su precio resulta económico en comparación de otros materiales.

Sus principales desventajas son su alta densidad, que se refleja en su elevado peso y la vulnerabilidad ante la corrosión, por lo que el uso de pintura de protección es de uso obligatorio.

2.2.1.2. Aluminio.

El aluminio al ser un material demasiado blando no puede ser usado en la fabricación de estructuras de vehículos por sí solo, por lo que se recurre a aleaciones con otros elementos. Las aleaciones de aluminio más comunes utilizadas son:

- Serie 5000: es una aleación de aluminio con manganeso, silicio y magnesio.
- Serie 6000: al metal extraído de la bauxita se le añade magnesio y silicio.
- Serie 7000: con aluminio, magnesio, zinc, manganeso y silicio se consigue esta denominación.

Estas aleaciones pretenden conseguir elevar su resistencia a la ruptura (aproximadamente a los 500 N/mm^2) y sobre todo mejorar su resistencia a la fatiga. Sin embargo, por su baja resistencia a la deformación, a la fatiga y sobre todo a la ruptura, la fabricación de los marcos se los realiza con diámetros o espesores muy grandes, de esta manera se elimina la flexión generada por el uso de la bicicleta.

Otra desventaja es su precio elevado en comparación al del acero debido a la gran cantidad de energía necesaria para extraer el aluminio de la naturaleza.

Entre sus puntos fuertes está su gran ligereza, menor en un 50 % al acero, y que a pesar de usar tubería de mayor diámetro y espesores no llegan en ningún caso a los valores del acero, aparte de ser un material que apenas se ve afectado por la corrosión, por lo que el uso de pintura es simplemente decorativo.

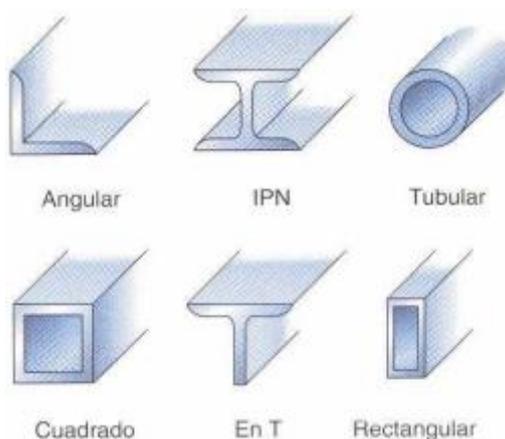


Figura 3. Perfiles Y Barras De Diferentes Secciones

Fuente: (Saiz, 2013)

2.2.2. Propiedades Mecánicas

Previo a un análisis individual de cada material es necesario referirse a las propiedades mecánicas que poseen con el fin de facilitar comparaciones entre ellos.

Askeland, Donald R, en su libro Ciencia e Ingeniería de los Materiales define a las propiedades mecánicas como: “Propiedad de un material, como la resistencia, que describen qué tanto resisten las fuerzas aplicadas, incluyendo fuerzas de tensión o compresión, de impacto, cíclicas o de fatiga, o las fuerzas a altas temperaturas.” (Askeland, 2010)

Entre las propiedades mecánicas relevantes se encuentran:

- **Elasticidad:** Capacidad de un material para restaurar su forma original una vez que desaparece el esfuerzo aplicado.
- **Dureza:** resistencia de la superficie a la penetración o rayadura por otro material de mayor dureza.
- **Fragilidad:** Facilidad que presenta un material para quebrarse al ejercer una fuerza brusca.
- **Fatiga:** Capacidad de resistencia a la deformación de un material sometido a cargas cíclicas inferiores a la rotura.
- **Maleabilidad:** Facilidad con la que un material se lo puede convertir en láminas sin romperse.
- **Acritud:** Capacidad de un material para aumentar su dureza, fragilidad o resistencia al ser sometidos a una deformación en frío.
- **Plasticidad:** Disposición de un material para mantener su nueva forma una vez deformado por la acción de una fuerza.
- **Ductilidad:** Facilidad con la que un material se lo puede estirar en forma de hilos.
- **Tenacidad:** Factor que nos permite medir la resistencia de oposición a la ruptura que presenta un material al ser sometido a fuerzas de deformación.
- **Soldabilidad:** propiedad de los materiales a ser unidos térmicamente.

2.2.3. Soldadura

Proceso mediante el cual se unen partes, implicando la cohesión localizada por fusión o presión, y que generalmente se deposita un material de aporte aunque no necesariamente es requerido.

2.2.3.1. Soldadura GTAW (TIG)

Consiste en un proceso de soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa, generado entre un electrodo de tungsteno no consumible y el material base, con o sin material de aporte. La protección gaseosa desplaza el aire del ambiente a soldar para evitar contaminación en la soldadura.

La característica principal de este proceso es una alta calidad de soldadura en metales, inclusive materiales de espesores delgados y perfiles estructurales. Entre sus propiedades de soldadura destaca su resistencia a la corrosión y mayor ductilidad que con otros procesos. Si los requerimientos de terminación requieren una soldadura homogénea de buena apariencia con un acabado liso es recomendable utilizar soldadura TIG.

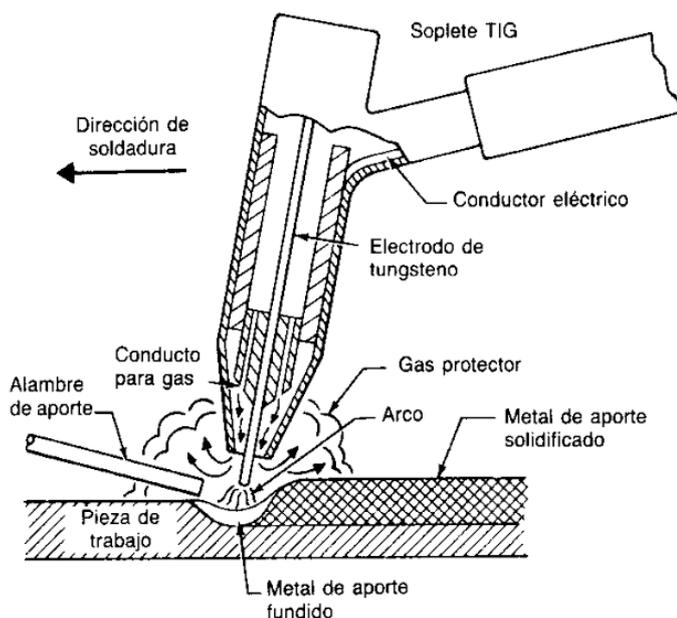


Figura 4. Esquema Soldadura TIG

Fuente: (Saiz, 2013)

2.2.3.2. Soldadura SMAW

Es uno de los procesos de soldadura más utilizados, el calor de soldadura es generado por un corto circuito entre el material base (Pieza de trabajo) y el electrodo metálico consumible (material de aporte), el mismo que se encuentra recubierto por una composición adecuada de distintos compuestos químicos (fundente) encargados de crear una atmósfera que permite la protección del proceso, evitando la penetración de humedad, posibles contaminantes y genera un enfriamiento más lento. Sin embargo, genera escoria por lo que se podría decir que es un proceso sucio, al cual si no se le da una adecuada limpieza entre cordones el cordón puede sufrir discontinuidades. (De Máquinas y Herramientas, 2013).

En la figura 5, se puede observar los elementos que participan en la soldadura SMAW:

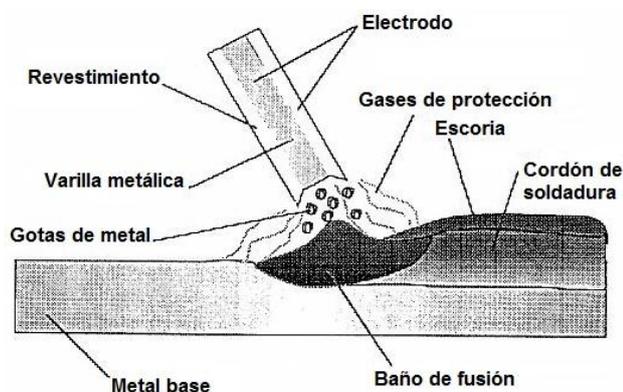


Figura 5. Esquema Soldadura SMAW

Fuente: (De Máquinas y Herramientas, 2013)

2.3. Sistemas Asociados al Vehículo

Un sistema representa los módulos ordenados de elementos o componentes interrelacionados que cumplen una determinada función. Conjuntamente estos sistemas interactúan entre sí para generar un mecanismo capaz de cumplir un objetivo específico. (Pérez & Merino, 2014)

En la figura 6, se puede observar los principales componentes de una bicicleta eléctrica, mientras que en la figura 7 se representa los principales componentes de una caminadora; de los cuales se seleccionan y clasifican los componentes necesarios para la fabricación del vehículo.

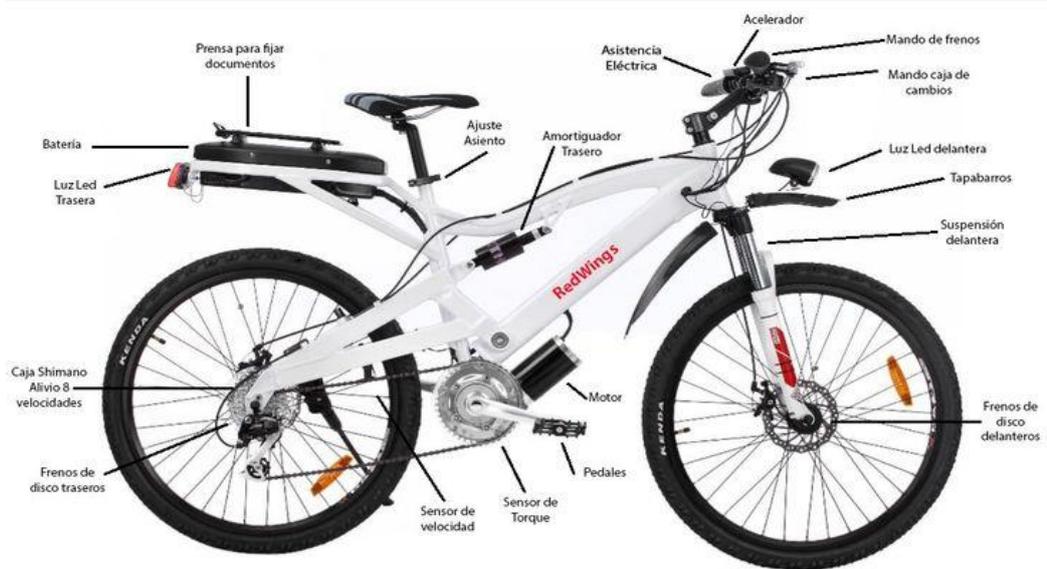


Figura 6. Partes de una Bicicleta Eléctrica

Fuente: (Redwings, 2013)



Figura 7. Partes de una Caminadora Eléctrica

Fuente: (Jarol, 2015)

2.3.1. Sistema de Dirección

Tiene como fin realizar un cambio de dirección tanto a derecha como a izquierda, de tal manera que permita la conducción del vehículo a voluntad del

usuario. Lo conforma el manubrio, la potencia, los brazos de dirección, los soportes de las llantas y las ruedas delanteras.

2.3.1.1. Potencia o Tija del Manubrio

Su función es unir el manubrio a la estructura del prototipo mediante el tubo de dirección de la horquilla. La posición del manubrio se determina mediante la forma, ubicación y tamaño de la potencia. Existen varios tipos de potencia (Ramírez, 2014):

- **Potencia con rosca:** es la más utilizada en la mayoría de bicicletas urbanas donde la potencia se fija dentro del tubo de dirección roscado el cual no se prolonga por encima del tubo frontal. La medida usual del tubo de la horquilla es de 1 pulgada, empleando una llave de ajuste de 32 mm. La ventaja de este tipo de potencia de rosca es ajustar la altura del manubrio ya que existe una porción de tubo que va dentro de la horquilla de dirección.
- **Potencia sin rosca:** La horquilla presenta un tubo totalmente liso sin rosca. En este modelo la potencia une el manubrio con la horquilla mediante una pieza cilíndrica de unos 10 cm que tiene la posibilidad de desplazarse sobre el eje vertical de la horquilla para mejorar la comodidad del ciclista. Su funcionamiento se basa con tornillos de sujeción que al ser apretados, la dirección y la horquilla quedan atrapados mediante la potencia. Por lo general la medida del tubo de la horquilla para este tipo de potencia es de $1\frac{1}{8}$ pulgada.
- **Potencia integrada:** llamada también Direct Mount, esta potencia se emplea en horquillas especiales de doble pletina con la diferencia que ésta no va sobre la dirección sino tienen un anclaje especial sobre la propia horquilla. El diámetro general para el manillar es de 31.8 mm con un ángulo de inclinación de hasta 15° .

2.3.2. Sistema Caminadora

Este sistema le permite caminar a la persona de una manera cómoda y segura dentro del prototipo. Lo conforma una plataforma de carga, una polea motriz, un contra tambor y un mecanismo de alineación y tensión de la banda.

Las dimensiones de la plataforma se basan en el paso promedio de una persona. Según la Universidad Estadounidense de la Medicina Deportiva (*American College*

of Sports Medicine) existen aproximadamente 2000 pasos en una milla (1,6 km), unos 1250 pasos por kilómetro. En tanto que el largo del paso promedio es de 2,6 pies o cerca de 31 pulgadas (0,8 m). El largo promedio de la zancada, o dos pasos, es cerca de 62 pulgadas (1,57 m) o un poco más que 5 pies (1,57 m). Datos que se consideran para el diseño de la plataforma en los capítulos siguientes. (Johnson, 2014).

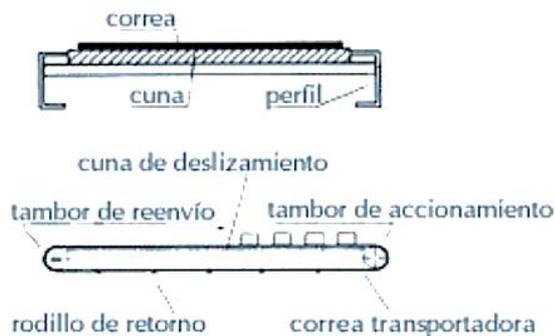


Figura 8. Esquema Sistema Caminadora

Fuente: (Fernández, 2014)

2.3.3. Sistema de Potencia

Es el encargado de transformar la energía eléctrica de entrada en energía mecánica de salida aplicando una corriente por medio de una fuente externa.

El estudio se enfoca en los motores de corriente continua debido a la aplicación que requiere el vehículo: alto par de arranque y una velocidad variable.

Se puede regular la velocidad de giro controlando la corriente del inductor o del inducido o ambas a la vez, aplicando una tensión al bobinado inducido del rotor por medio del colector de delgas, transformando la fuerza contra electromotriz (fcem) en energía mecánica rotativa.

Los elementos tanto magnéticos como eléctricos que constituyen un motor de corriente continua se muestran a continuación en la figura 9:

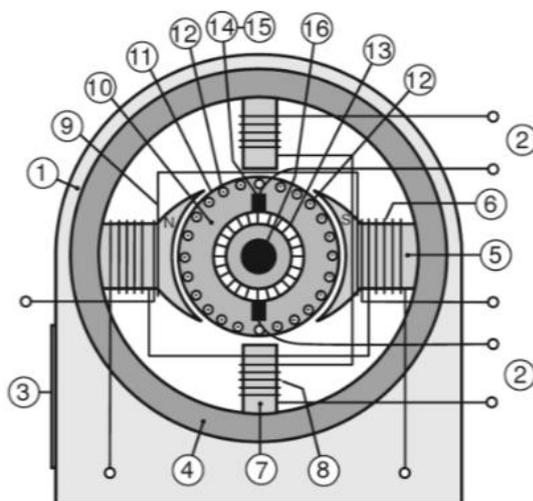


Figura 9. Componentes motor de corriente continua

Fuente: (Roldan V, 2014)

1. Carcasa.
2. Caja de conexiones.
3. Placa de características.
4. Culata.
5. Polos principales.
6. Bobinado inductor.
7. Polos auxiliares o de conmutación.
8. Bobinado auxiliar o de conmutación.
9. Bobinado de compensación.
10. Conjunto rotor.
11. Circuito magnético con ranuras para alojar los conductores de las bobinas.
12. Bobinado rotórico (inducido).
13. Colector de delgas.
14. Portaescobillas.
15. Escobillas.
16. Eje del motor.

Con frecuencia, un criterio de selección de un motor es su par torsional, más que por su potencia nominal. Para este tipo de motores de par torsional se aplica la condición de rotor bloqueado, donde soporta determinada tensión en una carga.

De acuerdo al par torsional que pueden ejercer este tipo de motores se los puede clasificar en:

- **Servomotores:** Obtienen el control automático de la posición o velocidad de un mecanismo, debido a una señal de control. Presentan características de respuesta rápida.
- **Motores de pasos:** Emplea una corriente de pulsos electrónicos recíprocos a una rotación fija o pasos por cada pulso. Poseen una posición angular muy precisa, ya que se cuenta y se controla la cantidad de pulsos que llegan al motor.
- **Motores sin escobillas:** Las escobillas son requeridas para hacer contacto con el conmutador que se ubica en el eje del motor. Dicha conmutación en este tipo de motores, ocurre mediante dispositivos electrónicos de estado sólido, lo cual representa en una larga vida del motor en comparación a los motores CD con escobillas.
- **Motores de circuito impreso:** El rotor es un disco plano, acoplado entre dos imanes permanentes. Su diámetro es relativamente grande, pero tiene una inercia baja por lo que presenta grandes aceleraciones.

2.3.4. Sistema de Transmisión

Empleado para transmitir energía y que ésta se convierta en movimiento a través de las ruedas del vehículo. Por lo general vienen acompañados de mecanismos para convertir la velocidad y el torque mediante relaciones de transmisión.

2.3.4.1. Transmisión por cadena

Este tipo de transmisión emplea el principio de engranaje a través de platos de estrella o catarinas donde la transferencia de energía tiene lugar con ayuda de eslabones que conforman la cadena. (Mott, 2006).

Este sistema permite transmitir un movimiento giratorio entre dos ejes. Consta de una cadena cerrada cuyos eslabones se acoplan a la catarina (rueda dentada) del mecanismo de ejes conductor y conducido.

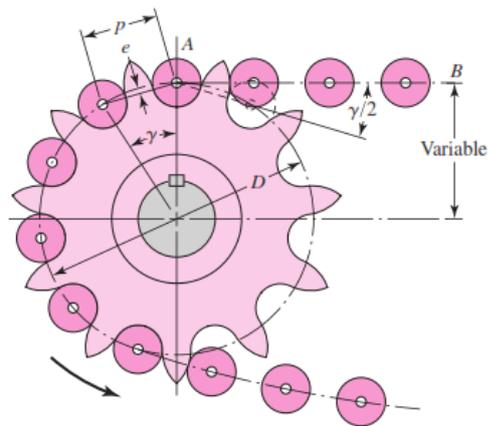


Figura 10. Acoplamiento de una cadena y una catarina

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

Un ejemplo común de este tipo de transmisión es la bicicleta mono marcha o de una velocidad, que consiste en un mecanismo con un solo engranaje donde la relación de transmisión de la bicicleta se mantiene constante y no permite variar la velocidad mediante cambios internos o algún tipo de desviador de cambios. A partir de éste se varían las bicicletas con arreglos de diferentes tipos de catarinas para modificar su velocidad y relación de transmisión.



Figura 11. Bicicleta monomarcha

Fuente: (Xavi, 2015)

2.3.4.2. Transmisión por banda

A diferencia de la transmisión por cadena, se tiene una cinta flexible o correa que trabaja de acuerdo al principio de poleas dentadas. La correa es generalmente fabricada de kevlar con un alto porcentaje de durabilidad y tensión. Las aplicaciones de esta transmisión están orientadas generalmente a bicicletas estáticas en donde su entorno no se afecta directamente el desempeño de la banda. (Grant & Ballantine, 1992).

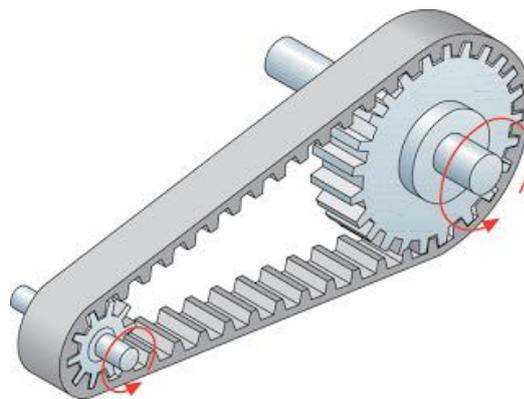


Figura 12. Acople de correa dentada a polea

Fuente: (Carmona, 2012)

2.3.5. Sistema Fotovoltaico

Este sistema está conformado por una determina configuración de paneles fotovoltaicos conectados entre sí que aprovechan la energía solar para transformarla en energía eléctrica.

Un sistema fotovoltaico funciona de la siguiente manera:

1.- Los rayos solares penetran en la superficie de los paneles fotovoltaicos, los cuales pueden estar conectados en serie o en paralelo según la necesidad. Éstos son los responsables de transformar la radiación luminosa en corriente continua a baja tensión.

2.- La energía es almacenada y conducida hasta un controlador de carga, encargado de transmitir toda o parte de esta energía hasta el banco de baterías o acumulador en donde es almacenada, evitando sobrecargas o descargas excesivas que podrían ocasionar daños irreversibles; y asegura que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia.

3.- La energía de los bancos de baterías o acumulador, permite disponer de corriente eléctrica durante la noche o en días de baja insolación, es decir cuando el arreglo fotovoltaico es incapaz de satisfacer la demanda por sí solo.

4.- Como componente opcional se puede colocar un inversor, el cual se encarga de transformar la corriente continua del acumulador, en corriente alterna. (SOLARTRONIC DE MEXICO S.A., 2015).

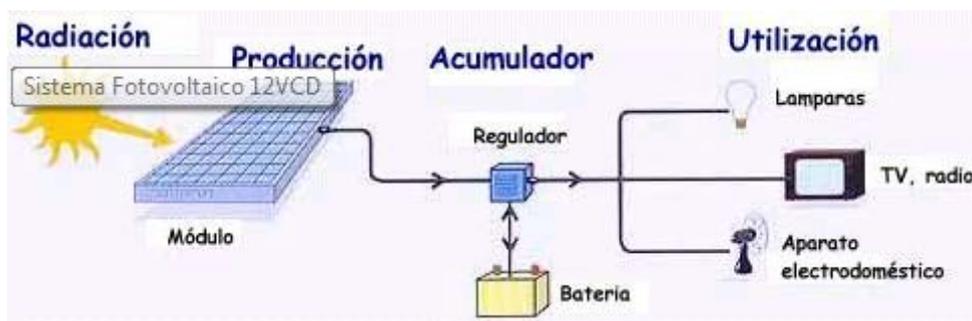


Figura 13. Instalación solar fotovoltaica sin inversor, utilización a 12VCD

Fuente: (SOLARTRONIC DE MEXICO S.A., 2015)

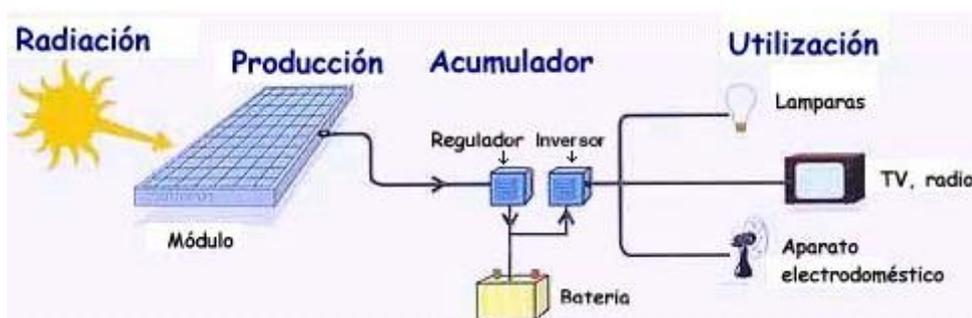


Figura 14. Instalación solar fotovoltaica con inversor, utilización a 12VCD

Fuente: (SOLARTRONIC DE MEXICO S.A., 2015)

2.3.5.1. Panel Fotovoltaico.

Consiste en un conjunto de elementos principalmente fabricados de silicio cristalino o arseniuro de galio, agrupados en células solares o fotovoltaicas dispuestos en paneles que al ser expuestos a la luz solar, transforman la energía solar en energía eléctrica. (enersave, 2013).

La luz solar transporta consigo energía a manera de flujo de fotones, incidiendo sobre las células fotovoltaicas bajo ciertas condiciones, generando corriente eléctrica, conocido como efecto fotovoltaico.

2.3.5.2. Tipos de paneles fotovoltaicos

La estructura atómica de un panel fotovoltaico puede tener efectos considerables en el diseño del sistema, así como en su rendimiento. Desde este punto de vista, se los puede clasificar de acuerdo al tipo de células que contienen: (SunFields, 2016)

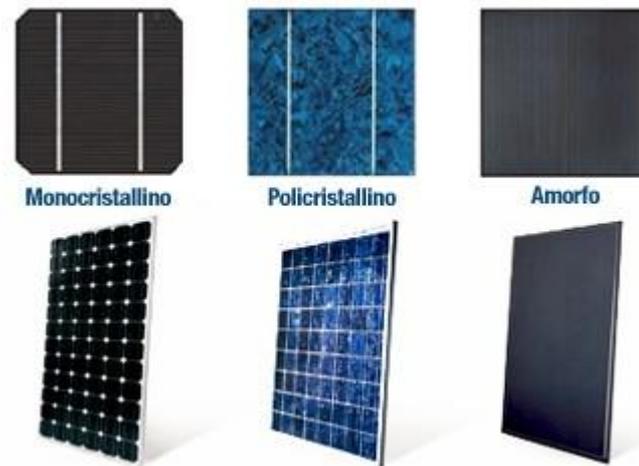


Figura 15. Paneles fotovoltaicos

Fuente: (enersave, 2013)

- **Células de silicio monocristalino:** Poseen una estructura de red cristalina, constituidas por un único cristal de silicio, perfectamente alineados lo cual garantiza una mayor conductividad. Presentan una alta eficiencia, aproximadamente del 15 %. Su fabricación requiere varios ciclos de filtración y separación intensiva lenta lo cual implica mayor pureza y a su vez costos elevados. Se los puede reconocer debido a que normalmente presentan una forma circular u octogonal.
- **Células de silicio policristalino:** también llamado multicristalino, está constituido por un conjunto de cristales de silicio, unidos mediante enlace covalente y separados por el límite de grano con diferentes formas y orientaciones. Posee una menor pureza, siendo su rendimiento menor, entre el 11 % y el 14 % de eficiencia frente al 15 % de los monocristalinos. Su fabricación atraviesa en menor cantidad ciclos de filtración, influyendo directamente en el costo del panel.
- **Células amorfas:** Tiene un arreglo irregular compuesto de átomos de silicio sobre una capa delgada. Su manufactura tiene mayor versatilidad tanto en

forma, tamaño y flexibilidad a bajo costo. La eficiencia ronda alrededor del 6 % pero su potencia se reduce con el tiempo, principalmente en los primeros meses hasta alcanzar una relativa estabilidad.

2.3.5.3. Acumuladores de Energía

Es un dispositivo que almacena energía en forma electroquímica. Se clasifica en dos tipos básicamente: (Vergara, 2010)

- **Batería primaria:** De reacción química irreversible, es decir que una vez que se ha consumido su energía no se puede volver a cargar.
- **Batería secundaria:** De reacción química reversible, es decir que una vez que se ha descargado la batería, puede ser cargada inyectando corriente mediante otra fuente externa.

2.3.5.4. Tipos de acumuladores

Entre los tipos más comunes de baterías existentes en la industria se encuentran:

- **Plomo – ácido:** Batería recargable más común en el mercado debido a su desempeño – costo aunque presenta una menor densidad de energía por peso y volumen.
- **Níquel – cadmio:** Sus celdas selladas permiten una mayor resistencia a altas temperaturas y menor peso que una batería de plomo – ácido.
- **Níquel – hidruro metálico:** Corresponde a una variación de las baterías de níquel – cadmio con una mayor densidad de energía y amigables con el medioambiente debido a su proceso de fabricación con metal hidruro.
- **Ion – litio:** Tecnología actual que presenta una mejor densidad de energía (3 veces mayor a la de plomo - ácido), así como su reducido peso y costo.
- **Polímero – litio:** El electrolito es un polímero que mejora la densidad de energía entre 5 a 12 veces en comparación a las de Ni – Cd pero con el mismo peso. Su trato es delicado debido a su peligrosidad.
- **Aire – zinc:** Su producción es más barata y con una capacidad superior hasta de 3 veces que las baterías de ion – litio. Su desarrollo se encuentra en la etapa experimental. (Vergara, 2010)

2.3.6. Sistema de Frenos

Permite detener, reducir o mantener la velocidad del vehículo mediante la acción de una manigueta de mando. Existen dos tipos de frenos:

- **Frenos de llanta:** La acción de frenado ocurre por la fricción de las pastillas sobre la llanta. Por lo general se presiona una manigueta situada en el timón de dirección.

Tabla 1.

Tipos De Frenos De Llantas

| Tipo/Descripción | Imagen |
|---|--|
| <p style="text-align: center;">Frenos de Pinza</p> <p>Conocidos como "caliper". El freno se acciona presionando la manigueta que tira de un cable flexible accionando las zapatas, haciendo que éstas presionen contra el aro de la llanta reduciendo la velocidad del vehículo.</p> |  |
| <p style="text-align: center;">Frenos Cantilever</p> <p>Similar al funcionamiento de los frenos de pinza, a diferencia que el cable hace su función desde el centro, en tanto que las zapatas están atornilladas independientemente a cada lado de la horquilla.</p> |  |
| <p style="text-align: center;">Frenos V-brake</p> <p>Es el desarrollo de los frenos cantilever, excepto que el cable va directo al brazo de freno y así la presión que ejercen las zapatas es perpendicular a la rueda, mejorando su eficacia.</p> |  |

Fuente: (Alejandro, 2014)

- **Frenos de buje:** Actúan a través de la presión ejercida sobre el buje de la rueda.

Tabla 2.

Tipos De Frenos De Buje

| Tipo/Descripción | Imagen |
|--|--|
| <p>Frenos de tambor</p> <p>Las zapatas se ubican opuestas entre sí, rozando el interior del cilindro o tambor, ejerciendo una presión que detiene el giro de la rueda.</p> |  <p>1.- Tambor 2.- Zapata o mordaza primaria 3.- Zapata o mordaza secundaria 4.- Dispositivo de retención lateral de las mordazas 5.- Soporte de articulación 6.- Bombín de doble pistón 7.- Muelles de retorno</p> |
| <p>Frenos de contra pedal</p> <p>Su acción de frenado ocurre en la rueda trasera al pedalear hacia atrás, en vez de dejar que gire libremente se contrapone al movimiento.</p> |  |
| <p>Frenos de Disco</p> <p>Su diseño es semejante a los frenos de los automóviles, el cable traba las zapatas contra un disco de metal situado en la manzana de la rueda. Éstos pueden ser mecánicos o hidráulicos.</p> |  |

Fuente: (Alejandro, 2014)

Capítulo 3

DISEÑO CONCEPTUAL

3.1. Requisitos y Restricciones del Prototipo

La fase de diseño del presente proyecto tiene como objetivo detallar cada aspecto de forma integral del prototipo, desde sus dimensiones y materiales hasta su funcionamiento final. El vehículo consiste en una caminadora sobre ruedas, impulsada mediante un sistema electro-mecánico alimentado a través de baterías que se cargan utilizando el recurso solar fotovoltaico y/o la red eléctrica doméstica. Se considera ciertas restricciones como condiciones geográficas de la zona de utilización, autonomía del vehículo, restricciones económicas, recursos tecnológicos y regulaciones de uso.

3.1.1. Restricciones Geográficas

El ámbito geográfico de utilización del vehículo está pensado para recorrer zonas seguras de circulación delimitadas por el Municipio de Quito para el uso de bicicletas como son: parques lineales, Sistemas de Ciclovía Integrado (figura 16) y Ciclopaseo (figura 17). Se debe mencionar que estas rutas no cuentan con pendientes pronunciadas y son de fácil movilidad.



Figura 16. Mapa Tramos Ciclovía

Fuente: (Espinoza, 2013)



Figura 17. Mapa Ruta Ciclopaseo

Fuente: (Google Maps, 2015)

Según (ARQHYS, 2012) una ciclovía cuenta con las siguientes características técnicas: Gálibo vertical mínimo 2,50 m. Pendiente recomendable 3 – 5 %. Pendiente en tramos > 300m 5 %. Radios de giro recomendados 15 km/h = 5 m.

3.1.2. Restricciones Tecnológicas

Estas restricciones dependen de la dificultad de adquisición en el mercado nacional de materiales y componentes que serán parte del vehículo, disponibilidad de mano de obra calificada y tecnología necesaria para su construcción.

Entre las principales restricciones se encuentran el kit eléctrico de potencia (motor eléctrico y sistema de control de potencia) y el kit fotovoltaico (paneles solares, controlador de carga y baterías) debido a que en el Ecuador no existe producción nacional de este tipo de tecnologías siendo su adquisición difícil y costosa.

Debido a estas restricciones el diseño de estos sistemas consiste en la selección e implementación de tecnologías y no orientado a la fabricación de los sistemas. En tanto que, el sistema caminadora consiste en la reutilización de piezas de una caminadora mecánica convencional usada, cuyo diseño se basa en verificar si estas piezas cumplen con los requisitos necesarios para su correcto funcionamiento al ser incorporadas en el prototipo. En caso contrario se diseñará y construirá piezas que cumplan con los requisitos establecidos.

3.1.3. Restricciones Legislativas

En el Distrito Metropolitano de Quito circulan alrededor de 300 bicicletas eléctricas las cuales constan de tres sistemas: sistema de potencia con un motor de 500W, sistema de iluminación mediante un dínamo y un sistema de GPS para su monitoreo. (TELEAMAZONAS, 2016)

De acuerdo al Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 046, “REQUISITOS DE SEGURIDAD PARA BICICLETAS”, vigente desde el 07 de marzo del 2014 que dispone: la velocidad de una bicicleta con asistencia eléctrica no debe superar los 25 km/h. Aplica también a los subconjuntos para sistemas que utilizan una tensión de hasta 48 VCC” (INEN, 2015).

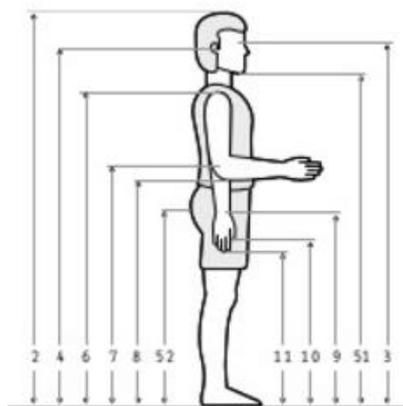
Consecuentemente el vehículo se debe acoger a parámetros de diseño no mayores a las establecidas por el Distrito Metropolitano de Quito y el Reglamento Técnico Ecuatoriano.

3.1.4. Restricciones Geométricas del Vehículo

Estas restricciones se dan según las dimensiones antropométricas de una persona, para lo cual el diseño se basa en la siguiente tabla:

Tabla 3.

Dimensiones Antropométricas En Posición De Pie Trabajadores Industriales De Sexo Masculino De 18 A 65 Años.



18 - 65 años (n=396)

| Dimensiones | Percentiles | | | | |
|---------------------------------|-------------|-------|-------|------|------|
| | \hat{x} | D.E | 5 | 50 | 95 |
| 1 Peso (kg) | 73 | 12,33 | 55,31 | 72,1 | 97,3 |
| 2 Estatura | 1675 | 62,8 | 1576 | 1668 | 1780 |
| 3 Altura de ojos | 1550 | 61,8 | 1447 | 1546 | 1651 |
| 4 Altura oído | 1538 | 63,7 | 1439 | 1534 | 1635 |
| 6 Altura hombro | 1380 | 58,49 | 1281 | 1377 | 1477 |
| 7 Altura codo | 1068 | 55,02 | 988 | 1065 | 1145 |
| 8 Altura codo flexionado | 969 | 40,81 | 906 | 969 | 1046 |
| 9 Altura muñeca | 825 | 39,49 | 757 | 822 | 919 |
| 10 Altura nudillo | 740 | 43,56 | 680 | 740 | 800 |
| 11 Altura dedo medio | 639 | 35,31 | 584 | 638 | 697 |
| 51 Altura mentón | 1442 | 61,2 | 1337 | 1440 | 1544 |
| 52 Altura trocánter may. | 873 | 44,61 | 810 | 872 | 940 |

Fuente: (Avila, Prado, & Gonzáles, 2007)

3.1.5. Resumen

Según los apartados 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.3, las restricciones del prototipo se resumen en la siguiente tabla, que sirven para establecer límites en los parámetros de diseño:

Tabla 4.

Restricciones del Prototipo

| Parámetro | Restricción |
|-------------------------|--------------------|
| Velocidad | ≤ 25 km/h |
| Potencia | $\leq 0,5$ kW |
| Pendiente | 3 – 5 % |
| Peso del Usuario | ≈ 75 kg |

3.2. Especificaciones Técnicas del Prototipo

Para obtener las especificaciones técnicas del prototipo se deberá traducir los requerimientos y necesidades de los usuarios en requerimientos técnicos de ingeniería aplicándolos en cada fase del diseño y de la fabricación. (Ribas, 2002)

Es aconsejable registrar las especificaciones del proyecto en un documento breve y ordenado de tal manera que consten las opiniones del usuario (Voz del usuario) que subsecuente se traducirán en requerimientos técnicos realizados por parte del ingeniero valiéndose de su criterio (Voz del ingeniero).

La información reunida se evalúa para determinar las especificaciones que se considerarán en el diseño permitiendo integrar la selección e implementación de sistemas anexos al prototipo.

3.2.1. Voz del Usuario

De acuerdo al criterio de los usuarios de bicicletas y vehículos eléctricos, las características con la que el prototipo debe contar son:

4. Ergonómico.
5. Resistente a impactos (choques).
6. Estable.
7. Resistente a los impactos ocasionados por las irregularidades del terreno.
8. Durabilidad.
9. Alta autonomía.
10. Seguro.
11. Bajo peso.
12. Bajo costo de adquisición.
13. Facilidad de mantenimiento.
14. Amigable con el usuario y el medio ambiente.

3.2.2. Voz del Ingeniero

Las características obtenidas por parte de usuario son traducidas por el criterio ingenieril en requerimientos técnicos aplicados al prototipo, los cuales son mencionados a continuación:

- El prototipo debe constar con una estructura y funcionamiento capaz de adaptarse a las condiciones físicas y psicológicas del usuario.
- Resistencia al impacto.
- Resistencia la flexión.
- Resistencia a la fluencia.
- Capaz de soportar cargas dinámicas.
- Resistencia a la corrosión.
- Rigidez.
- Propiedades de los materiales óptimas para su funcionamiento.

3.2.3. Documento de Especificación

Previo al desarrollo del prototipo hay que establecer la definición del producto a través de un documento de especificaciones, el cual manifieste de forma explícita el conjunto de determinaciones, características o prestaciones que debe liderar el diseño, puesto que es necesario conocer aspectos fundamentales que garanticen su buen funcionamiento (Ribas, 2002).

Tabla 5.

Documento de Especificación

| Especificaciones | | | |
|--------------------------|---------|-----|--|
| Concepto | Propone | R/D | Descripción |
| Función | U+I | R | Transportar una persona promedio |
| | U+I | R | Correcto funcionamiento |
| | U | R | Conducción segura |
| | U | D | Ejercitar a la persona |
| Dimensiones | I | R | Dimensiones acorde a la antropometría de la persona |
| Movimiento | I | R | Limitación de velocidad |
| | I | R | Movimiento rotacional - Sistemas de: potencia, transmisión y caminadora |
| Fuerzas | I | R | Soportar cargas estáticas y dinámicas generadas por el usuario y sistemas anexos |
| | I | R | Torque requerido para mover el vehículo/usuario |
| | U+I | D | Giros suaves del sistema de dirección |
| Materiales | I | R | Disponibilidad de perfiles estructurales en el mercado |
| | I | R | Accesibilidad económica a materiales de construcción |
| Señales y control | I | R | Control de potencia |
| | I | R | Controlador de carga |
| | U+I | D | Velocímetro vehículo |
| | U | D | Velocímetro banda caminadora |
| | U | D | Indicador nivel de batería |
| Mantenimiento | U | R | Disponibilidad de repuestos del vehículo |
| | U+I | R | Mantenimiento preventivo y correctivo accesible |
| Costes y plazos | I | R | Presupuesto 2000 USD |
| | I | D | Vencimiento de plazo 12 meses |
| Aspectos legales | I | R | Cumplimiento de normativa RTE INEN 046 |

Propone: U = Usuario; I = Ingeniería; F = Fabricación

R/D: R = Requerimiento; MR = Modificación de requerimiento;

NR = Nuevo requerimiento; D = Deseo; MD = Modificación de deseo;

ND = Nuevo deseo

3.3. Análisis Funcional

3.3.2. Descripción General Del Prototipo

Se puede considerar al prototipo como un producto modular, esto quiere decir que está constituido por diversos bloques constructivos denominados módulos. El prototipo está enfocado en su fácil uso y comodidad cuya función principal es combatir el estrés mediante el ejercicio y transporte del usuario.

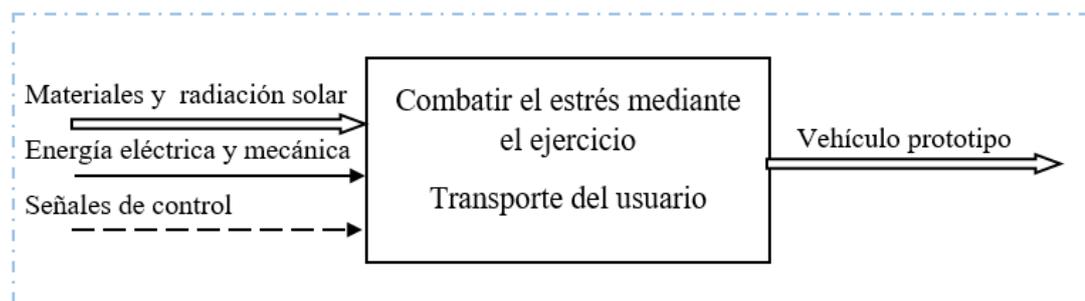


Figura 18. Función principal del prototipo

3.3.3. Módulos del Prototipo

Cada uno de los módulos constructivos que conforman el prototipo, cumplen con una función específica. Expresándolos de una forma simplificada se los puede clasificar en: Sistema Estructural, Sistema Fotovoltaico, Sistema de Potencia, Sistema de Transmisión, Sistema de Dirección, Sistema Caminadora y Sistema de Frenos.

3.3.3.1. Módulo Sistema Estructural

Lo conforma el armazón del vehículo en donde se fijan los demás módulos, adicionalmente lo constituye el sistema de la caminadora, para lo cual se trata de obtener que éste sea capaz de soportar todos los esfuerzos y exigencias que el usuario

y su entorno de funcionamiento demandan al vehículo como son: cargas producidas por el movimiento y el peso del conductor.

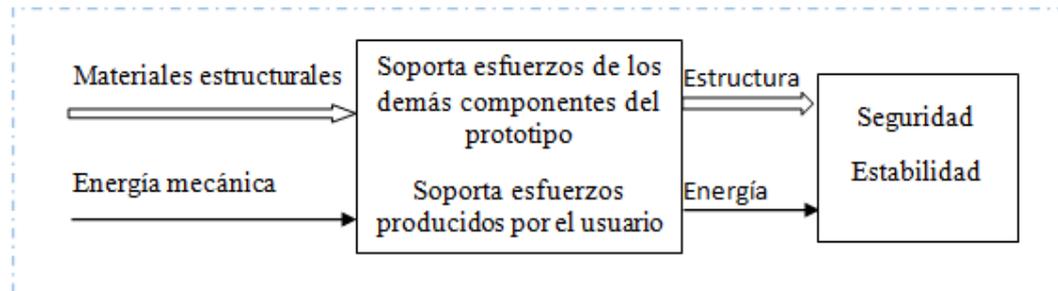


Figura 19. Función del Módulo Sistema Estructural

3.3.3.2. Módulo Sistema Fotovoltaico

Lo conforma un arreglo de paneles solares, encargados de transformar la radiación solar en energía eléctrica que es dirigida a un controlador de carga y posteriormente almacenada en acumuladores de energía.

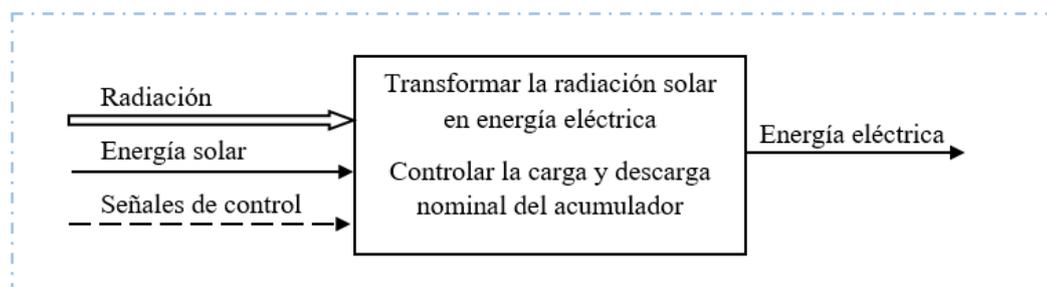


Figura 20. Función del Módulo Sistema Fotovoltaico

3.3.3.3. Módulo Sistema De Potencia

Este módulo lo conforma el motor eléctrico; encargado de transformar la energía eléctrica suministrada por acumuladores en movimiento. La velocidad del mismo es controlada por un regulador de potencia y un sistema de frenos que al ser presionados desconectan el motor.

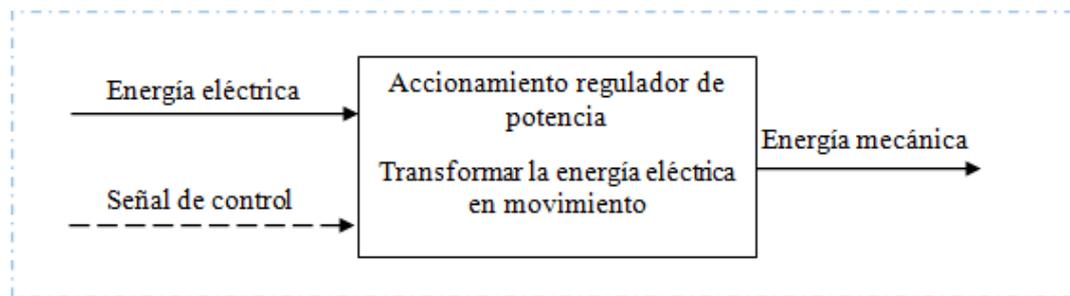


Figura 21. Función del Módulo Sistema De Potencia

3.3.3.4. Módulo Sistema De Transmisión

Encargado de transmitir la potencia generada en el motor a las ruedas motrices y al eje de movimiento de la caminadora.

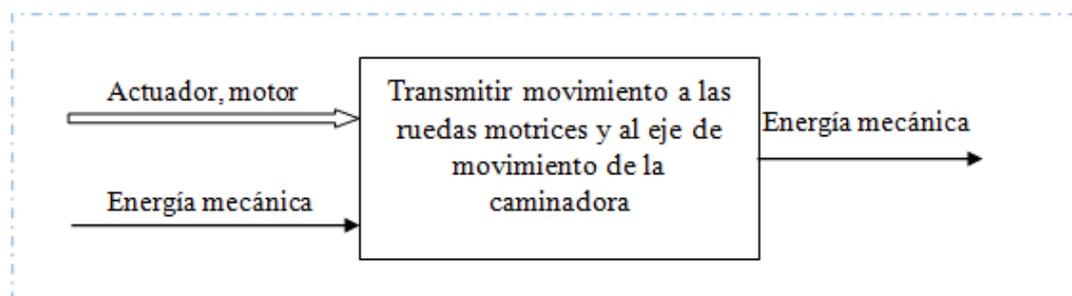


Figura 22. Función del Módulo Sistema De Transmisión

3.3.3.5. Módulo Sistema De Dirección

Permite girar de izquierda a derecha la rueda o ruedas; según la composición delantera del vehículo, con precisión para realizar un cambio de dirección a voluntad del conductor. El sistema de dirección es multifuncional ya que también interviene en la estabilidad y amortiguación (Losada, 2007).

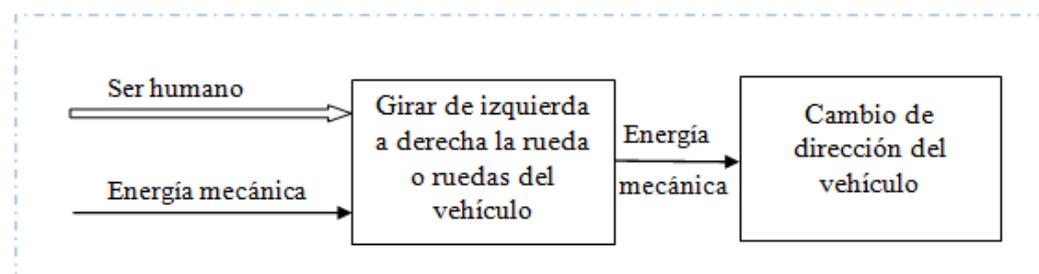


Figura 23. Función del Módulo Sistema De Dirección

3.3.3.6. Módulo Sistema Caminadora

Su función es que el usuario pueda correr o andar dentro del vehículo, siempre a una velocidad menor que la velocidad de desplazamiento del vehículo. De tal manera que el esfuerzo realizado por el usuario sea constante sin que influya el terreno.

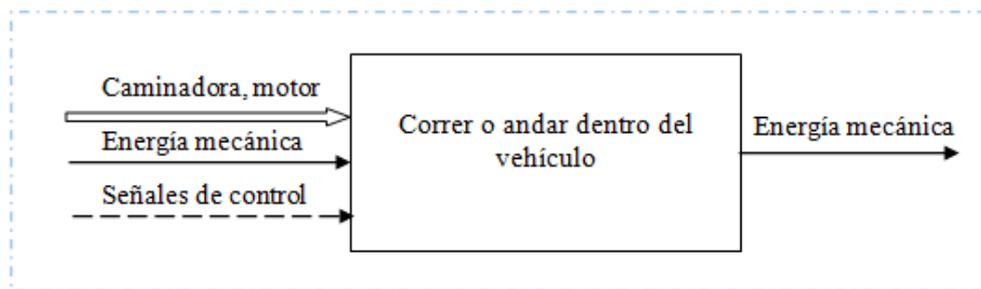


Figura 24. Función del Módulo Sistema Caminadora

3.3.3.7. Módulo Sistema de Frenos

Permite detener, reducir o mantener la velocidad del vehículo a voluntad del usuario. Por la funcionalidad del prototipo, no solo se encargará de frenar las ruedas del mismo sino que será el encargado de desconectar el motor cada que se aplique el freno para un frenado seguro.

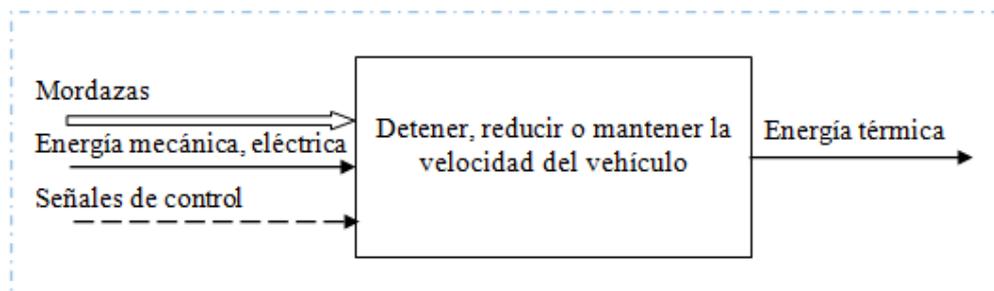


Figura 25. Función del Módulo Sistema de Frenos

3.4. Diseño Conceptual

Utilizando las especificaciones del prototipo, se desarrolla un grupo de alternativas de solución para su posterior análisis y selección de la mejor opción.

Eventualmente será necesario el uso de simulaciones virtuales que permitan visualizar de una manera más precisa las ventajas y desventajas de las distintas opciones, así como el respaldo teórico, técnico y un criterio basado en la experiencia.

Mediante las simulaciones virtuales se pretende:

- Describir el comportamiento del sistema a analizar.
- Comprobar que las soluciones generadas se ajusten a los requerimientos establecidos para el prototipo.
- Optimizar las soluciones.

El diseño conceptual contiene los parámetros fundamentales que pretende el proyecto, así como alternativas que, de ser necesarias, serán analizadas en un apartado de diseño en detalle según amerite el caso.

3.4.1. Diseño Conceptual del Sistema Estructural.

Para la generación de posibles alternativas se debe considerar los siguientes requerimientos y limitaciones: los esfuerzos generados por el usuario y el terreno, el peso de los diferentes sistemas acoplados a la estructura, el costo-beneficio del material, la seguridad y estabilidad de la estructura. Las dimensiones tomadas para las alternativas se basan en los datos obtenidos en el punto 2.3.2, donde se menciona que el paso promedio es de 2,6 pies o cerca de 31 pulgadas (0,8 metros) y las dimensiones de una persona promedio en Latinoamérica expresadas en la tabla 1.

3.4.1.1. Generación de Alternativas

Se presentan un grupo de dos alternativas de la estructura correspondiente al vehículo prototipo, las cuales se podrán ir modificando a medida que se desarrolle el vehículo con ayuda de una herramienta gráfica y de análisis numérico. Esto permite visualizar de mejor manera las distintas alternativas y facilitará el análisis de selección de las mismas.

- **Primera Alternativa**

Corresponde a un diseño clásico inspirado en un vehículo de tres llantas: la parte delantera permite el uso de un sistema de dirección típico de bicicleta para una llanta

de 26" acoplada mediante una potencia de bicicleta a la estructura de la caminadora, mientras que la parte posterior tendrá cabida a un eje que conectará las dos ruedas traseras. Debido a este tipo de diseño, es imprescindible el uso de un diferencial para evitar que el vehículo se desestabilice.

Los paneles solares descansan a manera de techo sobre el vehículo, sostenidos mediante una estructura simétrica apoyada sobre la estructura principal de la caminadora, aumentando de tal manera el punto de gravedad y disminuyendo su estabilidad. En la figura 24, se aprecia la geometría estructural para esta alternativa.

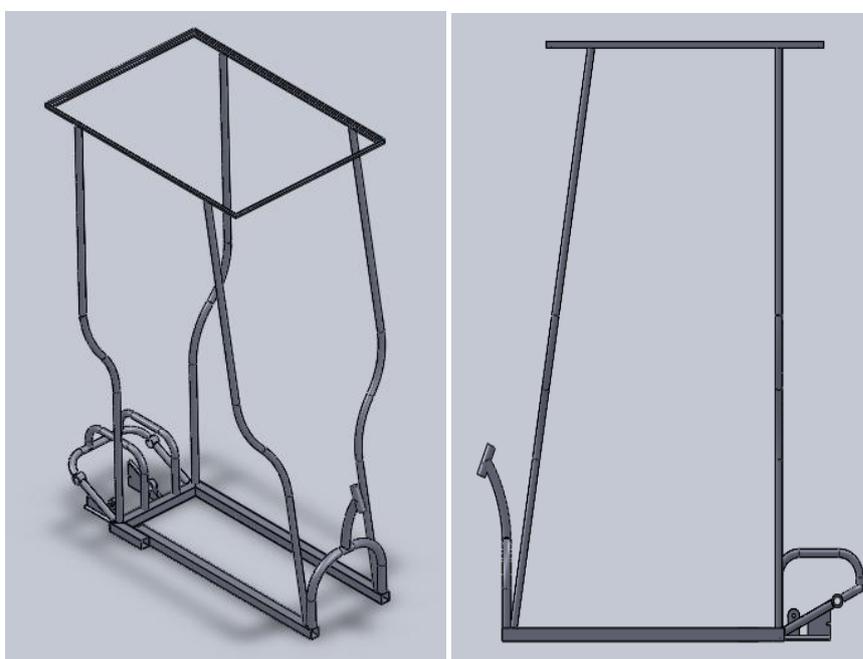


Figura 26. Módulo estructural - Alternativa 1

Ventajas

- Facilidad de acoplamiento del sistema de dirección delantero al de una bicicleta convencional.
- Protección al usuario a manera de cubierta para condiciones de sol y lluvia.
- Material resistente al impacto.
- Disponibilidad de materiales para su manufactura.
- Instalación de paneles de una mayor gama de tamaños
- Peso aproximado de 22 kg.

Desventajas

- Baja estabilidad.
- Costo elevado.
- Debido al uso de un diferencial, el peso y el costo aumentan de manera desfavorable para esta alternativa.
- Limitante de altura del usuario.
- Construcción de dificultad elevada pues requiere de mayor precisión y complejidad para su alineamiento y nivelación.
- Dificultad de soldabilidad media.
- **Segunda Alternativa**

La segunda alternativa del módulo Sistema Estructural está diseñada para albergar un sistema de dirección delantero para dos ruedas de bicicleta de 20" sujetas a soportes que no forman parte de la estructura principal pero se ensanblan a esta por medio de dos ejes de cartuchos para bicicletas los cuales ingresarán a sus respectivas camisas que se encuentran soldada a la estructura. La parte posterior está diseñada para acoger una rueda posterior de bicicleta de 20 pulgadas, el motor y el sistema de transmisión de movimiento.

Dicho módulo permite la ubicación de los paneles en la parte frontal a manera de rompevientos, donde se encuentran apoyados y fijos sobre la estructura principal de la caminadora y una estructura conformada por angulos para repisas acoplada a la estructura principal por medio de pernos. A diferencia del modelo anterior cuenta con un parachoques el cual protege el sistema de dirección, los paneles y brinda una mayor seguridad al usuario en caso de un choque.

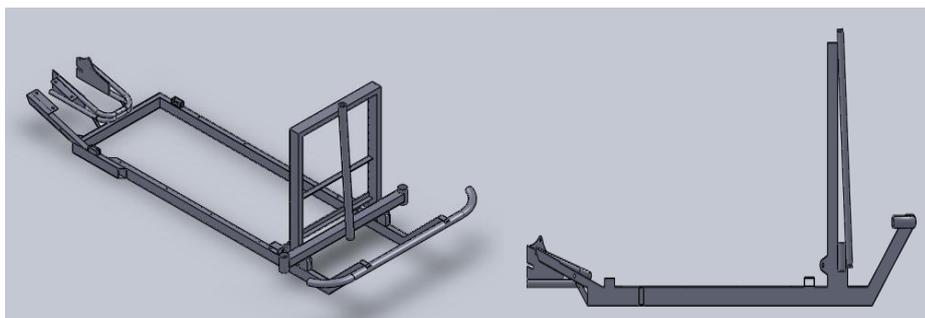


Figura 27. Módulo estructural - Alternativa 2

Ventajas

- Alta estabilidad.
- Peso de estructura aceptable 22 kg.
- Costo medio.
- Material altamente resistente al impacto.
- Disponibilidad de materiales para su manufactura.
- Facilidad de construcción pues está constituida en su mayoría de perfiles rectangulares y cuadrados por lo que facilita su alineamiento y nivelación.
- Dificultad de soldabilidad baja.
- Alta seguridad para el usuario.

Desventajas

- Construcción y diseño de un sistema de dirección que se acople a la estructura de manera adecuada.
- Limitación en el tamaño de los paneles.
- Limitada maniobrabilidad en espacios pequeños.

3.4.1.2. Evaluación y Selección de Sistema Estructural

El método de criterios ponderados es la herramienta que permite determinar la solución más conveniente. Se toma en cuenta criterios de valoración de acuerdo a su importancia, para este caso el soporte de cargas y un peso bajo de la estructura corresponden los factores más relevantes.

En resumen los parámetros a considerar para la evaluación del módulo Sistema Estructural son los siguientes:

- Peso de la Estructura.
- Estabilidad.
- Precio.
- Facilidad de Construcción.
- Facilidad de Montaje de los Módulos.

- Facilidad de Soldabilidad.
- Capacidad de instalación de paneles

3.4.1.3. Obtención de Puntos Ponderados (WF)

Una vez que se conoce las posibles alternativas para el módulo Sistema Estructural, se determina la solución más conveniente empleando el método ordinal de criterios ponderados, mediante una matriz combinada obteniendo puntos ponderados, WF.

Tabla 6.

Matriz Combinada del Módulo Sistema Estructural

| ORD. | PARÁMETROS DE DECISIÓN | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | SUMA | WF |
|------|-------------------------------------|-----|-----|---|---|---|---|---|---|------|------|
| 1 | Peso Estructura | 0 | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 11,5 | 0,18 |
| 2 | Estabilidad | 0,5 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 11,5 | 0,18 |
| 3 | Precio | | | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 10 | 0,16 |
| 4 | Facilidad de Construcción | | | | 0 | 1 | 1 | 1 | 6 | 9 | 0,14 |
| 5 | Facilidad de Montaje de los Módulos | | | | | 0 | 1 | 1 | 6 | 8 | 0,13 |
| 6 | Facilidad de Soldabilidad | | | | | | 0 | 1 | 6 | 7 | 0,11 |
| 7 | Capacidad de instalación de paneles | | | | | | | 0 | 6 | 6 | 0,10 |
| | SUMATORIA | | | | | | | | | 63 | 1,00 |

3.4.1.4. Matriz de Decisión Módulo Sistema Estructural

Establecidos los puntos de ponderación WF, se procede a realizar una matriz de decisión en donde se selecciona la mejor alternativa para el módulo Sistema Estructural.

Tabla 7.

Matriz de Selección del Módulo Sistema Estructural

| ORD. | PARÁMETROS DE DECISIÓN | WF | ALTERNATIVA 1 | | ALTERNATIVA 2 | |
|-------------------------|-------------------------------------|------|---------------|------|----------------------|------|
| | | | RF | VAL | RF | VAL |
| 1 | Peso Estructura | 0,18 | 8 | 1,44 | 8 | 1,44 |
| 2 | Estabilidad | 0,18 | 4 | 0,72 | 8 | 1,44 |
| 3 | Precio | 0,16 | 5 | 0,8 | 7 | 1,12 |
| 4 | Facilidad de Construcción | 0,14 | 4 | 0,56 | 7 | 0,98 |
| 5 | Facilidad de Montaje de los Módulos | 0,13 | 6 | 0,78 | 7 | 0,91 |
| 6 | Facilidad de Soldabilidad | 0,11 | 6 | 0,66 | 7 | 0,77 |
| 7 | Capacidad de instalación de paneles | 0,10 | 9 | 0,9 | 5 | 0,5 |
| Sumatoria | | 1,00 | 5,86 | | 7.16 | |
| Alternativa Conveniente | | | | | ALTERNATIVA 2 | |

El resultado que arroja la matriz de decisión sugiere que la alternativa 2 es la más conveniente para la construcción del prototipo.

3.4.2. Diseño Conceptual del Sistema Fotovoltaico

El sistema tiene por objetivo transformar la radiación solar en energía eléctrica, para lo cual consta de cinco componentes principales de acuerdo al apartado 2.4.

Para el diseño se analizará los paneles fotovoltaicos, acumuladores y el control de carga ya que no consta de un sistema de adaptación de corriente y el motor será evaluado en el módulo Sistema de Potencia.

En el caso de los acumuladores y el control de carga se realizará una matriz de decisión de las distintas opciones al poseer datos técnicos obtenidos en el diseño de detalle.

3.4.2.1. Generación de Alternativas – Panel Fotovoltaico

Se puede realizar una clasificación basándose en el material y métodos de fabricación de un panel solar. De estos factores dependerá su eficiencia, disponibilidad y costo.

Las alternativas propuestas se basan de acuerdo a los paneles que más se encuentra en el mercado.

- **Primera Alternativa**

Se basa en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. A este tipo de paneles se les conoce como Silicio Puro Monocristalino que alcanza un rendimiento máximo del 24,7 % en pruebas de laboratorio, en tanto que para módulos comerciales se tiene un 16 %. (Lora & Ortega, 2012)



Figura 28. Panel solar monocristalino

Fuente: (Lora & Ortega, 2012)

Ventajas

- Mayor rendimiento.

Desventajas

- Costo elevado.

- **Segunda Alternativa**

Conocida como Silicio puro policristalino, presenta materiales similares a los de la primera alternativa con la diferencia de su fabricación que se basa en secciones de una barra de silicio estructurada desordenadamente en forma de pequeños cristales. Se los reconoce por presentar una superficie granulada. El rendimiento que alcanzan

es inferior a los monocristalinos siendo de 19,8% en pruebas de laboratorio y del 14 % en módulos comerciales; sin embargo, su precio es mucho más bajo. (Lora & Ortega, 2012)



Figura 29. Panel solar policristalino

Fuente: (Lora & Ortega, 2012)

Ventajas

- Costo reducido con similar aprovechamiento en el rendimiento con diferencia de sólo el 2 %.

Desventajas

- Menor eficiencia que los paneles monocristalinos.

3.4.2.2. Evaluación y Selección del Sistema Fotovoltaico – Panel Fotovoltaico

Debido a que los parámetros de decisión son eficiencia – costo, se puede hacer una selección determinando cuál de estos factores posee mayor ponderación.

Al no existir una diferencia considerable en rendimiento, el factor con mayor ponderación es el costo por lo cual los paneles policristalinos son la alternativa adecuado para el diseño.

3.4.3. Diseño Conceptual del Sistema De Potencia

El sistema de potencia es el encargado de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, el cual utiliza un regulador de potencia para controlar las revoluciones del motor.

En este apartado se realizará un análisis del tipo de motor óptimo para el prototipo, mientras que para el caso del regulador de potencia se lo hará posterior en la fase de diseño de detalle debido a los datos técnicos específicos obtenidos del motor.

3.4.3.1. Generación de Alternativas – Motor

Para el sistema de potencia como se mencionó en el apartado 2.3.3. los dos tipos de motores utilizados para vehículos eléctricos unipersonales existentes en el mercado, son los motores de corriente continua con escobillas y los motores sin escobillas. La selección del motor se basará en el análisis de estas dos alternativas

- **Primera Alternativa**

Motor con escobillas (brushed).- Para mantener el par y evitar la inversión generada por la bobina se fijan dos anillos de cobre en el eje de giro. Seguidamente de los anillos se disponen bloques de carbón que emplean resortes ejerciendo una presión sobre éstos para que se dé el contacto eléctrico necesario. Dichos bloques de carbón son conocidos como escobillas. (Mott, 2006)

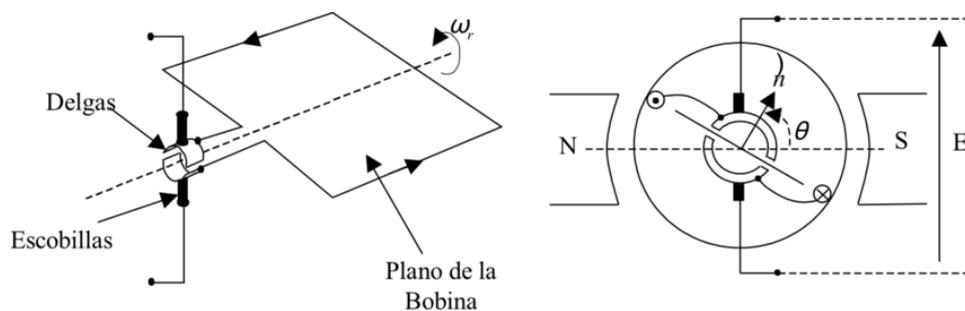


Figura 30. Bobina elemental del motor de DC con escobillas

Fuente: (Maureira, 2010)

Ventajas

- Mayor potencia de arranque.
- Conexión simple.
- Costo moderado.
- Disponibilidad en el mercado.

Desventajas

- Necesitan cambio de escobillas a los 15000 km aproximadamente.
- Rendimiento de un 75 %

- **Segunda Alternativa**

Motor sin escobillas (brushless).- Es un motor eléctrico donde la corriente circula directamente por los bobinados del estator sin ser necesarios las escobillas ni el colector como el caso del motor brushed. El elemento que controla el giro del rotor según su posición es un variador electrónico, el cual tiene por función ubicar el lugar en que se encuentra el rotor en un determinado momento para hacer que la corriente que le llegue sea la adecuada para realizar el movimiento correspondiente de rotación. (Bueno, 2013)

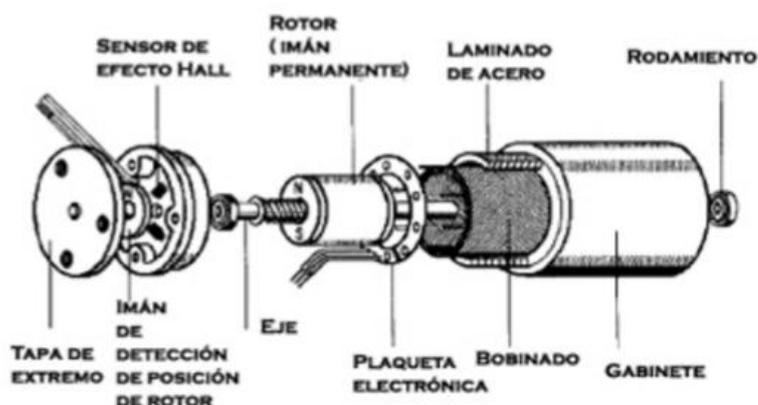


Figura 31. Bobina elemental del motor de DC con escobillas

Fuente: (tecnoficio, 2016)

Ventajas

- No requieren de mantenimiento.
- Mayor rendimiento aproximadamente de un 80 %.

Desventajas

- Conexión más compleja.
- Menor Potencia de arranque.
- Costo elevado.
- Menor disponibilidad en el mercado.

3.4.3.2. Evaluación y Selección de Sistema de Potencia - Motor

Se usa para este caso el método de criterios ponderados. Utilizados anteriormente en el Modulo Sistema Estructural. En resumen los parámetros a considerar para la evaluación del módulo Sistema de Potencia – Motor son los siguientes:

- Potencia de arranque.
- Rendimiento.
- Disponibilidad en el mercado.
- Costo.
- Facilidad de mantenimiento.
- Complejidad de conexión.

3.4.3.3. Obtención de Puntos Ponderados (WF)

El Una vez que se conoce las posibles alternativas para el módulo Sistema de Potencia - Motor, se determina la solución más conveniente empleando el método ordinal de criterios ponderados, mediante una matriz combinada obteniendo puntos ponderados, WF.

Tabla 8.**Matriz Combinada del Módulo Sistema de Potencia - Motor**

| ORD. | PARÁMETROS DE DECISIÓN | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | SUMA | WF |
|------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|------|------|
| 1 | Potencia de arranque | 0 | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 9,5 | 0,21 |
| 2 | Rendimiento | 0,5 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 9,5 | 0,21 |
| 3 | Disponibilidad en el mercado | 0,5 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 5 | 7,5 | 0,17 |
| 4 | Costo | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0 | 0,5 | 0,5 | 5 | 7,5 | 0,17 |
| 5 | Facilidad de mantenimiento | | | | | 0 | 1 | 5 | 6 | 0,13 |
| 6 | Complejidad de conexión | | | | | | 0 | 5 | 5 | 0,11 |
| SUMATORIA | | | | | | | | | 45 | 1,00 |

3.4.3.4. Matriz de Decisión Módulo Sistema de Potencia - Motor

Establecidos los puntos de ponderación WF, se procede a realizar una matriz de decisión en donde se selecciona la mejor alternativa para el módulo Sistema de Potencia - Motor.

Tabla 9.**Matriz de Selección del Módulo Sistema de Potencia – Motor**

| ORD. | PARÁMETROS DE DECISIÓN | WF | ALTERNATIVA 1 | | ALTERNATIVA 2 | |
|-------------------------|------------------------------|------|----------------------|------|---------------|-----|
| | | | RF | VAL | RF | VAL |
| 1 | Potencia de arranque | 0,21 | 8 | 1,69 | 6 | 1,3 |
| 2 | Rendimiento | 0,21 | 7 | 1,48 | 8 | 1,7 |
| 3 | Disponibilidad en el mercado | 0,17 | 7 | 1,17 | 5 | 0,8 |
| 4 | Costo | 0,17 | 8 | 1,33 | 6 | 1,0 |
| 5 | Facilidad de mantenimiento | 0,13 | 5 | 0,67 | 8 | 1,1 |
| 6 | Complejidad de conexión | 0,11 | 7 | 0,78 | 6 | 0,7 |
| Sumatoria | | 1,00 | 7,11 | | 6,5 | |
| Alternativa Conveniente | | | ALTERNATIVA 1 | | | |

El resultado que arroja la matriz de decisión sugiere que la alternativa 1 (Motor con escobillas) es la más conveniente para la construcción del prototipo.

3.4.4. Diseño Conceptual del Sistema de Transmisión.

El sistema de transmisión del vehículo es el encargado de transmitir la potencia que entrega el motor a las ruedas y a la banda caminadora. Se lo hace mediante elementos mecánicos flexibles de transmisión.

Entre las alternativas se debe considerar requerimientos como: fuerzas de tensión, fricción, vida útil, costo, de tal manera que garantice un funcionamiento a largo plazo del vehículo, por lo cual las posibilidades son dos: bandas o cadenas.

3.4.4.1. Generación de Alternativas

Entre los elementos mecánicos flexibles, existen dos tipos de transmisión de potencia importantes a considerar debido a sus características y aplicación: bandas y cadenas de rodillos. Las bandas trabajan con poleas mientras que las cadenas emplean ruedas dentadas conocidas también como catarinas. Ambas alternativas no tienen una vida infinita de tal manera que a la primera señal de deterioro se la debe reemplazar.

- **Primera Alternativa**

Bandas.- Son elementos mecánicos flexibles que transmiten potencia, los cuales se acoplan firmemente sobre poleas o poleas acanaladas. Están sujetas a un movimiento de rotación, tienen como base fundamental de funcionamiento la fuerza de fricción agarrándose a la polea impulsora. La fuerza de tensión ejerce una fuerza tangencial en la polea conducida, existiendo un par torsional en dicho eje.

Ventajas

- Peso reducido de bandas y poleas.
- Vibración mínima entre ejes de transmisión.
- Sigiloso funcionamiento.
- Grandes distancias entre ejes de transmisión.
- Precio accesible de instalación y montaje.

- Eficiencia de transmisión entre el 95 al 98 %.

Desventajas

- Debido al deslizamiento, la relación de transmisión no es constante.
- Pérdidas debido a fricción.
- Limitante en carga de transmisión.
- Vida útil reducida.
- **Segunda Alternativa**

Cadenas.- Formados por una serie de eslabones, transmiten potencia mediante el enganchamiento de los eslabones de la cadena con los dientes del piñón, permitiendo que la cadena transmita fuerzas de tensión elevadas. Es imprescindible para su funcionamiento ruedas dentadas o catarinas al momento de transmitir potencia entre ejes giratorios. La cadena de rodillos es el tipo más común de cadenas, donde la función del rodillo es tener una fricción baja entre la cadena y la catarina.

Ventajas

- Vida útil elevada.
- Fácil instalación.
- Fuerzas de tensión elevadas.
- Permite transmitir movimiento a varios ejes con una sola cadena.
- Eficiencia de transmisión del 95 %.
- Considerable distancia entre ejes.

Desventajas

- Costo considerable de instalación.
- Mantenimiento rutinario.
- Peso considerable del sistema cadena catarina.
- Posible cabeceo en la transmisión.

3.4.4.2. Evaluación y Selección de Sistema de Transmisión

El método de criterios ponderados es la herramienta que permite determinar la solución más conveniente. Se toma en cuenta criterios de valoración de acuerdo a su importancia, siendo la tensión, durabilidad, mantenimiento, precio, facilidad de montaje, entre otros criterios a considerar.

A continuación se detalla los parámetros a considerar para la evaluación del módulo Sistema de Transmisión:

- Tensión.
- Peso
- Durabilidad.
- Mantenimiento.
- Precio.
- Facilidad de montaje.
- Disponibilidad en el mercado.

3.4.4.3. Obtención de Puntos Ponderados (WF)

Una vez que se conoce las posibles alternativas para el módulo Sistema de Transmisión, se determina la solución más conveniente empleando el método ordinal de criterios ponderados, mediante una matriz combinada obteniendo puntos ponderados, WF.

Tabla 10.

Matriz Combinada del Módulo Sistema de Transmisión

| ORD | PARÁMETROS DE DECISIÓN | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | SUMA | WF |
|------------------|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|------|------|
| 1 | Tensión | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 | 13 | 0,19 |
| 2 | Peso | | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 | 12 | 0,17 |
| 3 | Durabilidad | | | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 | 11 | 0,16 |
| 4 | Mantenimiento | | | | 0 | 1 | 1 | 1 | 7 | 10 | 0,14 |
| 5 | Precio | | | | | 0 | 1 | 1 | 7 | 9 | 0,13 |
| 6 | Facilidad de Montaje | | | | | | 0 | 1 | 7 | 8 | 0,11 |
| 7 | Disponibilidad en el mercado | | | | | | | 0 | 7 | 7 | 0,10 |
| SUMATORIA | | | | | | | | | | 70 | 1,00 |

3.4.4.4. Matriz de Decisión Módulo Sistema de Transmisión

Establecidos los puntos de ponderación WF, se procede a realizar una matriz de decisión en donde se selecciona la mejor alternativa para el módulo Sistema de Transmisión.

Tabla 11.

Matriz de Selección del Módulo Sistema de Transmisión

| ORD. | PARÁMETROS DE DECISIÓN | WF | ALTERNATIVA 1 | | ALTERNATIVA 2 | |
|--------------------------|------------------------------|------|---------------|------|---------------|-----|
| | | | RF | VAL | RF | VAL |
| 1 | Tensión | 0,19 | 7 | 1,30 | 8 | 1,5 |
| 2 | Peso | 0,17 | 6 | 1,03 | 5 | 0,9 |
| 3 | Durabilidad | 0,16 | 7 | 1,10 | 9 | 1,4 |
| 4 | Mantenimiento | 0,14 | 8 | 1,14 | 7 | 1,0 |
| 5 | Precio | 0,13 | 6 | 0,77 | 5 | 0,6 |
| 6 | Facilidad de Montaje | 0,11 | 7 | 0,80 | 7 | 0,8 |
| 7 | Disponibilidad en el mercado | 0,10 | 5 | 0,50 | 6 | 0,6 |
| Sumatoria: | | 1,00 | 6,64 | | 6,8 | |
| Alternativa Conveniente: | | | ALTERNATIVA 2 | | | |

El resultado que arroja la matriz de decisión sugiere que la alternativa 1 es la más conveniente para la construcción del prototipo.

Capítulo 4

DISEÑO

Una vez analizada la mejor alternativa para cada uno de los sistemas y elementos del prototipo, se procede a la realización del diseño a detalle cuyos principales objetivos son: reducir costos, producción sencilla y alta seguridad; basándose en productos y procesos de fabricación disponibles en el mercado.

4.1. Diseño de la Estructura del Vehículo

Mediante cálculo se obtiene dimensiones iniciales de los perfiles para la estructura, posteriormente se emplea un método de simulaciones virtuales con ayuda de un software libre de elementos finitos para validar el modelo de estructura sugerido en el apartado 3.4.2.4.

4.1.1. Estructura

La estructura constituye el armazón principal donde la mayoría de los sistemas se sostienen y es el encargado de soportar principalmente las cargas generadas por el peso y movimiento de la persona. En la tabla 3, se observan los parámetros de diseño, la masa del usuario con la que se trabaja en los cálculos es de 75 kg, considerando que es el peso aproximado para una persona de 1,70 m; estatura promedio en Latinoamérica y Ecuador como se menciona en el capítulo 2.

Durante la aplicación de carga estática, el valor de las fuerzas de reacción es únicamente debido al peso de la persona (usuario en reposo). Al momento en que el usuario empieza a caminar las fuerzas de reacción cambian. En el estudio “FUERZAS DE REACCIÓN DEL SUELO EN PIES CAVOS Y PLANOS.” (Abián, Alegre, Lara, Jiménez, & Aguado, 2004), se analiza las fuerzas de reacción del suelo en personas con diferentes tipos de pie, para estudiar los efectos en su salud. Los datos de fuerzas obtenidos en el estudio durante la marcha (velocidad = 1,6 m/s; 5,76 km/h) y Carrera (velocidad = 3 m/s; 10,8 km/h) se muestran en la siguiente figura y permitirán obtener una referencia del aumento en la fuerza de reacción de una persona al caminar.

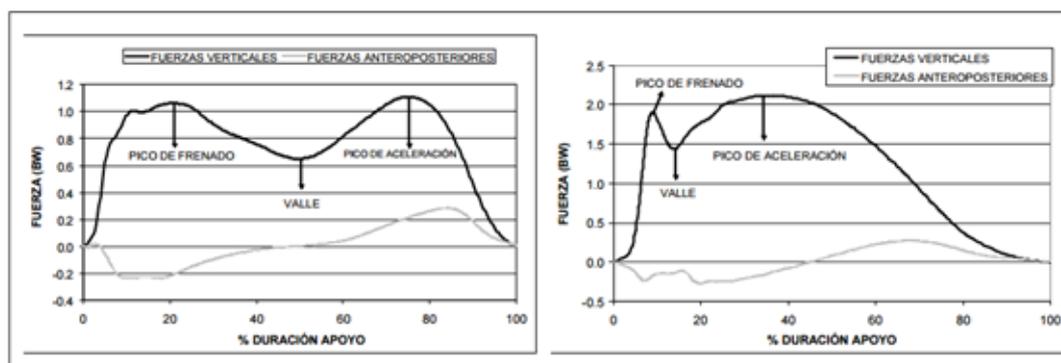


Figura 32. Fuerzas verticales y anteroposteriores en los tests de marcha (izquierda) y carrera (derecha).

Fuente: (Abián, Alegre, Lara, Jiménez, & Aguado, 2004)

La velocidad máxima propuesta para el usuario en la caminadora es de 3 km/h equivalente a 0,8 m/s, que es la velocidad al caminar. En la figura 32, se muestra que para una persona que va a 5 km/h el pico más alto de fuerza es aproximadamente 1,2 BW, por lo que se trabaja con una fuerza de 1,1 BW por aproximación al ser una velocidad menor de movimiento.

Los elementos estructurales que se presentan en el mercado y de fácil adquisición, son perfiles de acero simples o con secciones combinadas; de esta manera se aprovecha las propiedades mecánicas como la ductilidad, tenacidad, elasticidad y alta resistencia.

Se propone el Acero ASTM A500, según la norma ASTM las propiedades mecánicas son:

Tabla 12.

Propiedades Mecánicas Acero ASTM A500

| PROPIEDADES MECÁNICAS (ASTM A500/A500M GRADOS A y B) | | | |
|--|-------|--------------------------|---------------------------------|
| SECCIÓN | GRADO | LÍMITE DE FLUENCIA (MPa) | RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa) |
| REDONDO | A | 230 | 310 |
| CUADRADO Y | A | 270 | 310 |
| RECTANGULAR | B | 315 | 400 |

Fuente: (Aceros Arequipa, 2014)

La propuesta de la estructura son 2 perfiles rectangulares unidos en su parte trasera por un perfil rectangular de igual dimensión y en la parte delantera un perfil cuadrado al que va soldado las camisas para los ejes de cartucho y el mismo que sujeta las llantas delanteras, formando un rectángulo. Para la determinación de las dimensiones de los perfiles se realiza un análisis de flexión en vigas, posteriormente se analiza falla por fatiga.

4.1.2. Análisis de fuerza.

Las fuerzas generadas por el caminar de la persona están consideradas en el diseño, sin embargo, estas fuerzas están presentes durante fracciones de segundo por lo que se suponen como fuerzas alternantes. Por lo cual se consideraran los esfuerzos provocados por un peso de 75 kg (estático) y un peso de 82,5 kg (alternante).

Para la construcción del vehículo se han tomado piezas recicladas de una caminadora mecánica, entre estas se encuentran: la polea motriz, el contra tambor y la plataforma; componentes que permiten obtener un dimensionamiento para la estructura.

La plataforma es de madera de 4 líneas (12 mm) cubierta con una fina capa de vinilo en su superficie de contacto con la banda; ésta va asentada sobre dos travesaños de acero A500 de sección rectangular que forman parte de la estructura y cuya longitud está determinada por las siguientes medidas:

Plataforma de madera = 860 mm

Polea Motriz = 150 mm

Contra Tambor = 60 mm

Espacios total entre componentes = 100 mm

Se obtiene una longitud de 1170 mm a la cual se aumenta un 10 % pues es un cálculo aproximado. Se trabaja finalmente con una longitud de 1290 mm los cuales están comprendidos desde el travesaño de la parte posterior y el travesaño delantero

al que van ensamblados los soportes de las ruedas delanteras, así como se muestra en la siguiente figura.

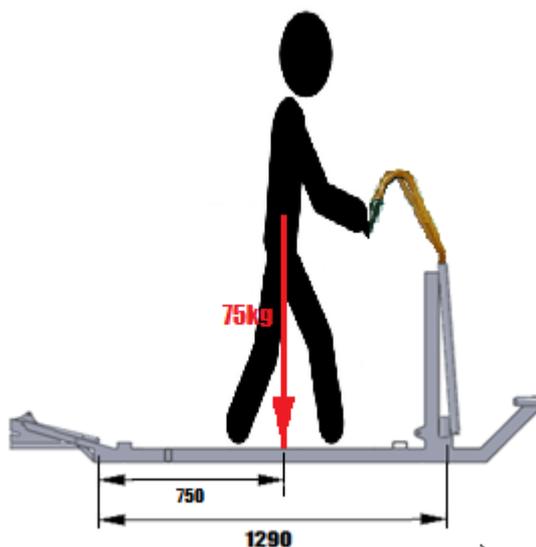


Figura 33. Longitud entre apoyos del travesaño lateral

Para el cálculo se trabaja como una viga simplemente apoyada cuya diagrama de cuerpo libre se expresa en la siguiente figura, las operaciones y resultados se las obtiene mediante un software libre para el cálculo de vigas:

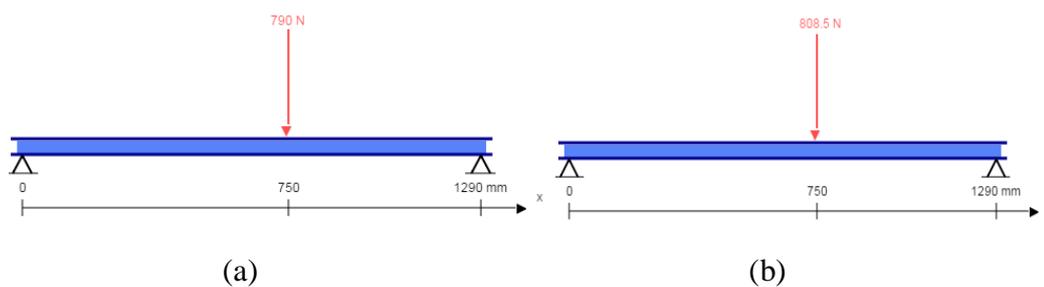


Figura 34. Diagrama de Momentos Vigas Laterales (a) Estático (b) Alternante

La carga puntual utilizada en el cálculo es la fuerza generada por el peso de la persona:

$$F_p = m_p \times g \quad (1)$$

Donde:

F_p : Fuerza generada por la persona

m_p : Masa de la persona

g = gravedad

$$F_{estático} = 75 \text{ kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 790 \text{ N}$$

$$F_{alternate} = 1,1 \times 75 \text{ kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 808,5 \text{ N}$$

Los resultados de las reacciones en cada apoyo se expresan en la siguiente figura:

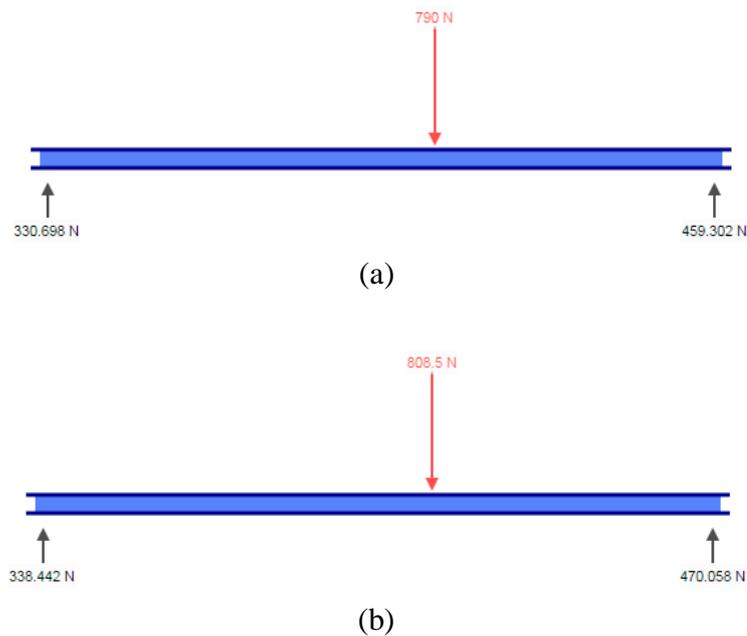
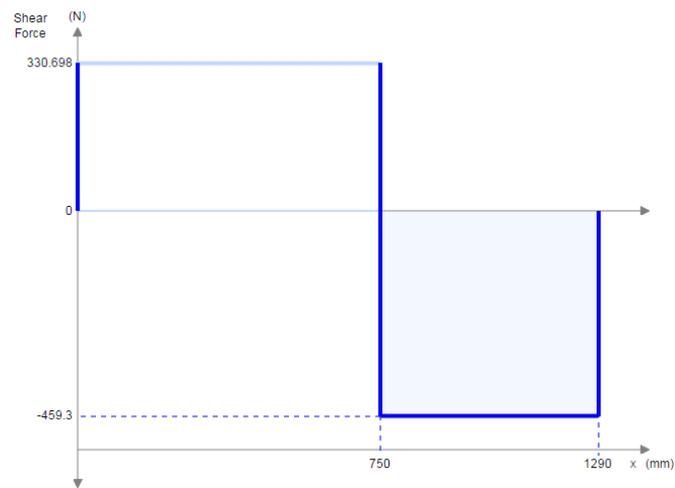
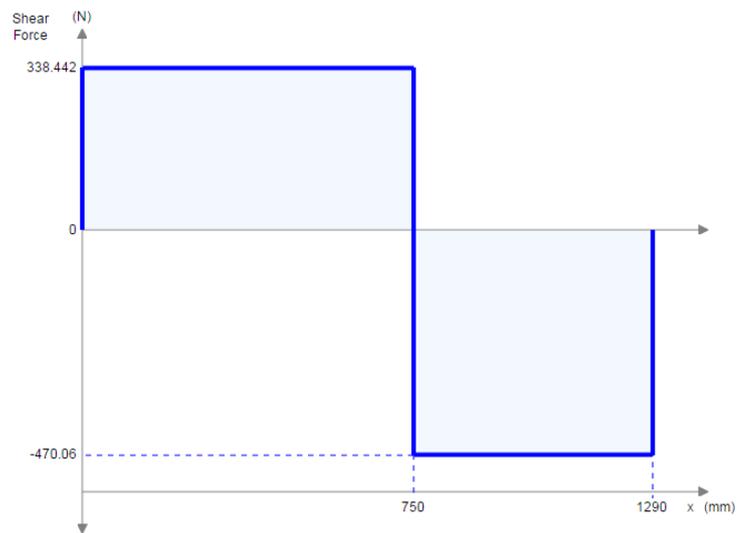


Figura 35. Reacciones en los apoyos vigas laterales (a) Estático (b) Alternante

Diagrama de cortantes:



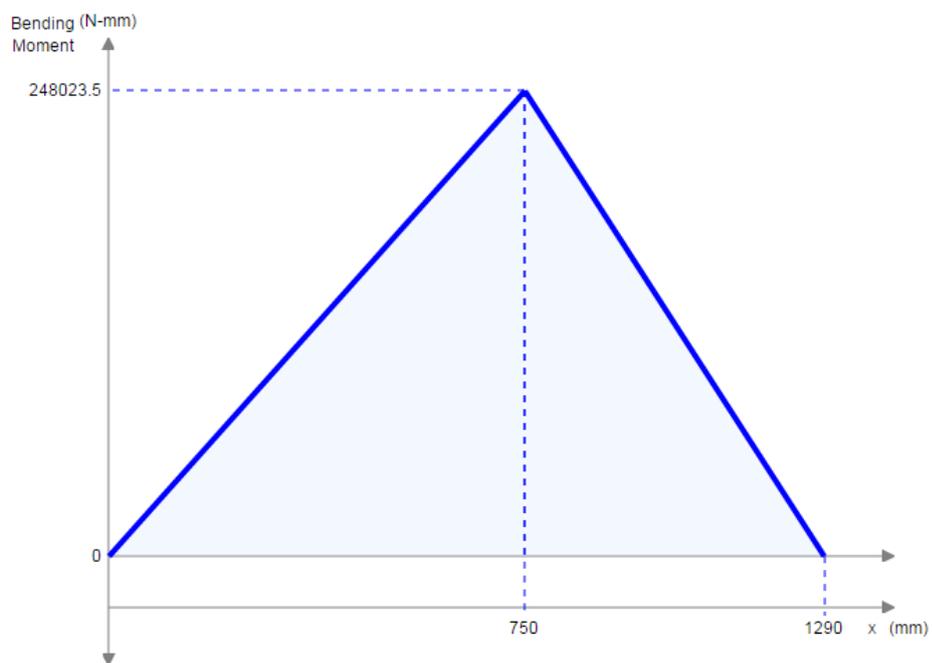
(a)



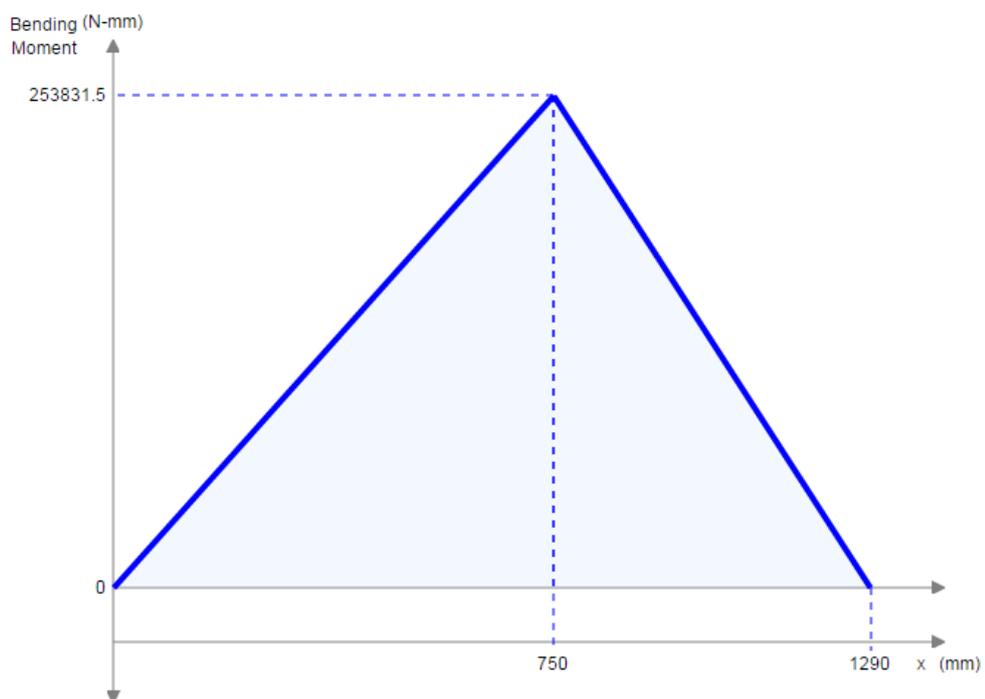
(b)

Figura 36. Diagrama de cortantes vigas laterales (a) Estático (b) Alternante

Diagrama de momentos flectores:



(a)



(b)

Figura 37. Diagrama de momentos flectores vigas laterales (a) Estático (b) Alternante

Los momentos máximos para ambas condiciones son:

Estático

$$M_{Estático} = 248023,5 \text{ Nmm} = 0,248 \text{ kNm}$$

Alternante

$$M_{Alternante} = 253831,5 \text{ Nmm} = 0,254 \text{ kNm}$$

Se calcula el esfuerzo medio para ambas condiciones:

$$\sigma_{medio} = \frac{M_{max}}{Z} \quad (2)$$

Donde Z es el módulo de sección con unidades en longitud cúbica.

Remplazando en la fórmula se tiene:

Estático (Medio)

$$\sigma_{estático} = \frac{M_{Estático}}{Z} = \frac{0,248}{Z} \text{ MPa}$$

Alternante

$$\sigma_{alternante} = \frac{M_{Alternante}}{Z} = \frac{0,258}{Z} \text{ MPa}$$

Suponiendo que el diseño está gobernado por resistencia mecánica se determina un posible dimensionamiento del perfil, el cual será comprobado con un estudio de falla a la fatiga.

El esfuerzo máximo obtenido es:

$$\sigma_{max} = \sigma_{medio} + \sigma_{alternante} \quad (3)$$

$$\sigma_{max} = \frac{0,502}{Z} \text{ MPa}$$

4.1.3. Selección de sección

El factor de seguridad utilizado para la estructura es de 3.5, y un esfuerzo de fluencia del material de 315 MPa:

$$S_y = 315 \text{ MPa}$$

$$\frac{S_y}{FS} = \sigma_{\max} \quad (4)$$

Remplazando se tiene:

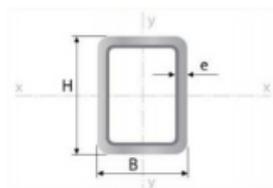
$$\frac{315}{3,5} = \frac{0,502}{Z}$$

$$Z = 5,576 \text{ cm}^3$$

Debido a que son dos travesaños longitudinales, el módulo de sección se lo divide para dos obteniendo que: $Z = 2,788 \text{ cm}^3$

Tabla 13.

Propiedades de perfiles cuadrados DIPAC



| Designaciones | | | Área | Peso | Propiedades Estáticas | | | | | |
|---------------|----|------|-----------------|------|-----------------------|-----------------------|---------------|--------------------|-----------------------|---------------|
| | | | | | Eje x-x | | | Eje y-y | | |
| B | H | e | A | P | Momento de inercia | Módulo de resistencia | Radio de giro | Momento de inercia | Módulo de resistencia | Radio de giro |
| mm | mm | mm | cm ² | kg/m | cm ⁴ | cm ³ | cm | cm ⁴ | cm ³ | cm |
| 20 | 30 | 1,50 | 1,35 | 1,06 | 1,59 | 1,06 | 1,08 | 0,84 | 0,84 | 0,79 |
| | | 2,00 | 1,74 | 1,36 | 1,94 | 1,30 | 1,06 | 1,02 | 1,02 | 0,77 |
| 20 | 40 | 1,40 | 1,55 | 1,22 | 3,09 | 1,55 | 1,41 | 1,04 | 1,04 | 0,82 |
| | | 1,50 | 1,65 | 1,30 | 3,27 | 1,63 | 1,41 | 1,10 | 1,10 | 0,82 |
| | | 1,80 | 1,95 | 1,53 | 3,76 | 1,88 | 1,39 | 1,26 | 1,26 | 0,80 |
| | | 2,00 | 2,14 | 1,68 | 4,06 | 2,03 | 1,38 | 1,35 | 1,35 | 0,79 |
| 25 | 50 | 1,40 | 1,97 | 1,55 | 6,28 | 2,51 | 1,79 | 2,13 | 1,71 | 1,04 |
| | | 1,50 | 2,10 | 1,65 | 6,66 | 2,66 | 1,78 | 2,26 | 1,80 | 1,04 |
| | | 1,80 | 2,49 | 1,95 | 7,72 | 3,09 | 1,76 | 2,60 | 2,08 | 1,02 |
| | | 2,00 | 2,74 | 2,15 | 8,39 | 3,36 | 1,75 | 2,82 | 2,25 | 1,01 |
| | | 2,50 | 3,34 | 2,62 | 9,90 | 3,96 | 1,72 | 3,29 | 2,64 | 0,99 |
| | | 3,00 | 3,91 | 3,07 | 11,20 | 4,48 | 1,69 | 3,70 | 2,96 | 0,97 |

Fuente: (DIPAC, 2016)

El perfil ideal para este caso es el perfil de 50x25x1,80 mm, sin embargo, el perfil con espesor 2 mm es un perfil con mayor disponibilidad en el mercado. Su Módulo de resistencia es: $Z= 3,36\text{cm}^3$.

Una vez determinado el perfil, y conociendo su valor de Z se reemplaza en la ecuación (2), se prosigue a un análisis por fatiga.

Estático (Medio):

$$\sigma_{\text{estático}} = \frac{0,248 \text{ kNm}}{3,36 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 73,817 \text{ MPa}$$

Alternante:

$$\sigma_{\text{alternante}} = \frac{0,258 \text{ kNm}}{3,36 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 75,545 \text{ MPa}$$

4.1.4. Resistencia a la fatiga

Se debe comprobar que el perfil seleccionado se encuentre en el límite de resistencia a la fatiga, para lo cual se determina en que zona de fluencia se encuentra realizando un diagrama de Goodman modificado. Según (Budynas & Nisbett, 2008), se establece el valor del límite de resistencia a la fatiga corregido S_e , determinado en la siguiente ecuación:

$$S_e = k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_f \times S_e' \quad (5)$$

Donde:

S_e' : Límite de resistencia a la fatiga

k_a : Factor de superficie

k_b : Factor de tamaño

k_c : Factor de confiabilidad

k_d : Factor de temperatura

k_e : Factor de modificación por concentración de esfuerzos

k_f : Factor de efectos diversos

En el caso de los aceros se estimará el límite de resistencia como:

$$S_e' = \begin{cases} 0.5 S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{kpsi (1400 MPa)} \\ 100 \text{kpsi} & S_{ut} > 200 \text{kpsi} \\ 700 \text{MPa} & S_{ut} > 1400 \text{MPa} \end{cases}$$

Donde S_{ut} es la resistencia a tensión mínima. (Budynas & Nisbett, 2008)

Para el Acero A500 $S_{ut} = 400 \text{MPa}$ por lo tanto:

$$S_e' = 0,5 \times S_{ut} = 200 \text{ MPa} \quad (6)$$

- **Factor de Superficie k_a**

Se expresa de la siguiente manera:

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (7)$$

Donde a y b son factores que se encuentran en la tabla 14:

Tabla 14.

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin

| Acabado superficial | Factor a | | Exponente b |
|------------------------------|-----------------|----------------|-------------|
| | S_{ut} , kpsi | S_{ut} , 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 |

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

El perfil seleccionado es un acero al carbono laminado en caliente (LAC), por lo que sus factores para el factor de superficie son: $a = 57.7$ y $b = -0.718$. Remplazando en la ecuación (7):

$$k_a = 57,7 (400)^{-0,718} = 0,781$$

- **Factor de Tamaño k_b**

Se determina por las siguientes relaciones:

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Donde d es el diámetro de la sección, sin embargo, al no ser una sección circular se puede sacar un equivalente del diámetro con la siguiente ecuación:

$$d = 0,808(HB)^{1/2} \quad (8)$$

Reemplazando:

$$d = 0,808(50 \times 25)^{1/2} = 28,567 \text{ mm}$$

Por lo que:

$$k_b = 1,24(28,567)^{-0,107} = 0,866$$

- **Factor de Carga k_c**

Al estar el elemento a flexión $k_c = 1$

- **Factor de Temperatura k_d**

Al estar a un temperatura de 20°C el factor $k_d = 1$

- **Factor de confiabilidad k_e**

Se tomará una confiabilidad del 50 % y cuyo factor respectivo se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 15.

Factores de Confiabilidad k_e

| Confiabilidad, % | Variación de transformación z_σ | Factor de confiabilidad k_e |
|---------------------|---|----------------------------------|
| 50 | 0 | 1.000 |
| 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 |

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

Por lo tanto $k_e = 1$

Remplazando en la ecuación (5)

$$S_e = 0,781 \times 0.866 \times 1 \times 1 \times 1 \times 200 \text{ MPa} = 135,385 \text{ MPa}$$

Se grafica el diagrama de Goodman, el cual se muestra en la siguiente figura:

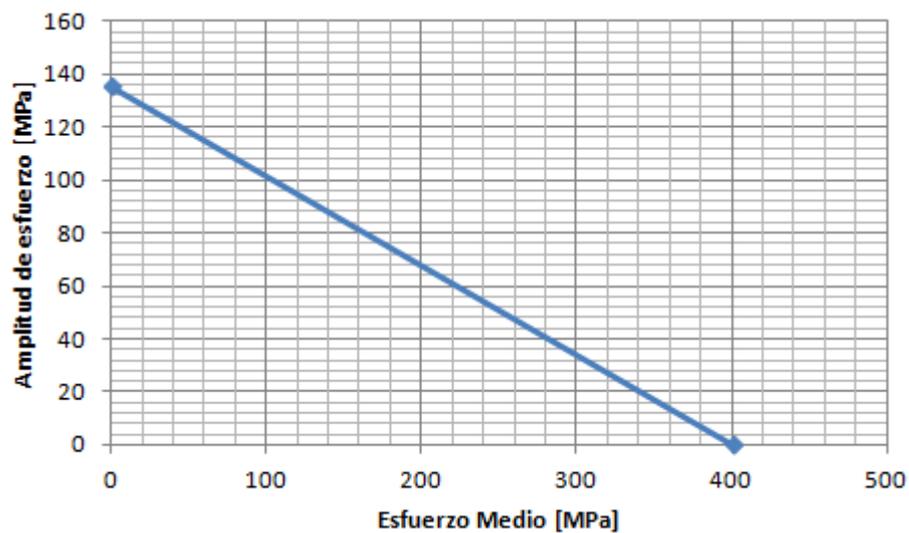


Figura 38. Diagrama de Goodman

La ecuación de la recta de la gráfica es:

$$y = -0,3385x + 135,39 \quad (9)$$

Donde $x = 73,817 [MPa]$; esfuerzo medio estático calculado anteriormente, obteniendo una resistencia de:

$$S_a = 110,403 MPa$$

El factor de seguridad que protege contra falla por fatiga es:

$$n_a = \frac{S_a}{\sigma_{alternante}} = \frac{110,403 MPa}{75,545 MPa} = 1,461 \quad (10)$$

Con esto se puede considerar que el perfil cuadrado de 50x25x2 mm es un perfil aceptable y la opción para el análisis mediante software.

4.1.5. Simulación de la estructura del prototipo:

Para la simulación del prototipo se realizan dos estudios, uno con la carga normal de operación, para verificar los resultados obtenidos anteriormente, y uno para la condición más desfavorable que sería al caer en un bache, donde el peso de la persona aumenta al doble (Moreta, 2016).

Los resultados obtenidos en el análisis estático para las condiciones normales de operación se muestran en la siguiente figura:

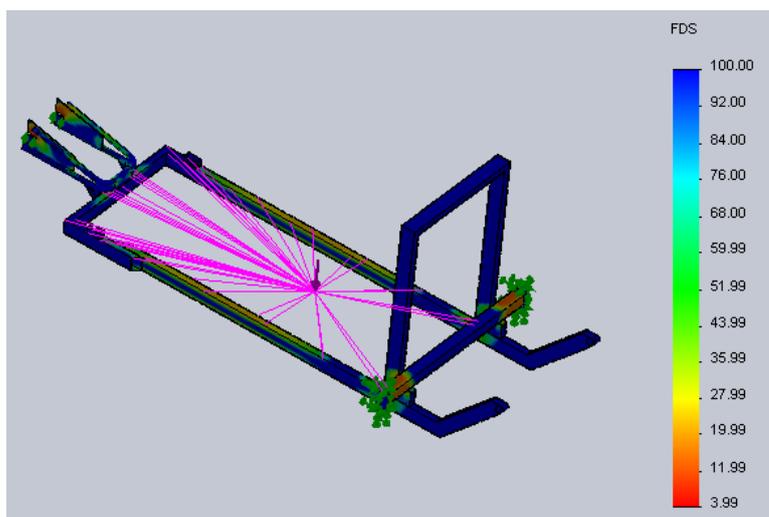


Figura 39. Análisis Estático Para Condiciones Normales De Operación

Obteniendo un factor de seguridad del $F.S = 3,99$, esto se debe a que no se considera la carga alternante en el estudio.

En los resultados obtenidos para la condición más desfavorable al aumentar la carga al doble el factor de $3,99$ se reduce $1,99$, lo cual es un factor admisible para cumplir las condiciones de operación. Los resultados se presentan en la siguiente figura:

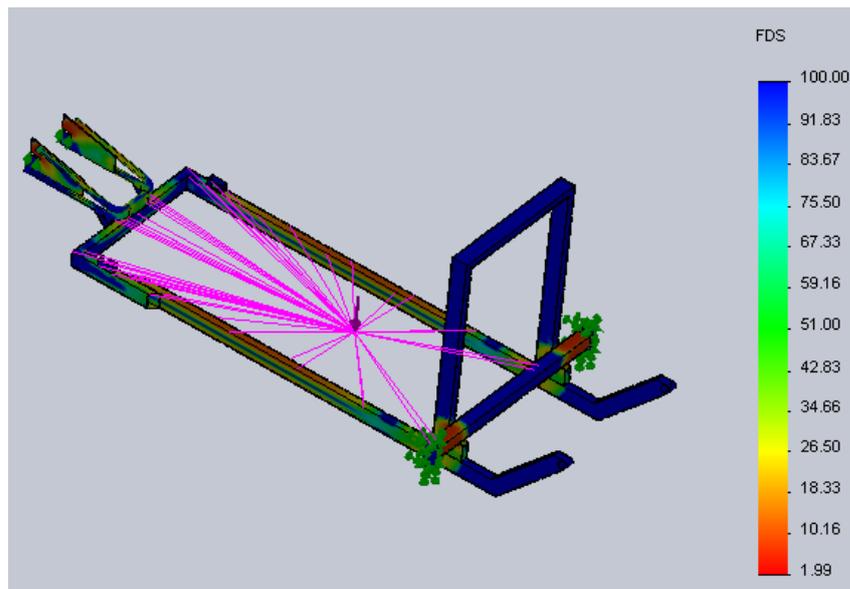


Figura 40. Análisis Estático Para La Condición Más Desfavorable De Operación

4.2. Diseño del Sistema de Potencia

Este sistema es el responsable de proporcionar movimiento al vehículo y a la caminadora, siendo su principal componente el motor. Es preciso realizar una evaluación del torque y potencia tanto para el vehículo como para la caminadora, de esta manera asegurar que el motor cuente con las características necesarias para cumplir con las demandas establecidas.

4.2.1. Potencia y Torque del Vehículo

4.2.1.1. Diagrama de Cuerpo Libre

Como principio mecánico para el diagrama de cuerpo libre, se aplica la Segunda Ley de Newton, la cual expresa que al aplicar una fuerza provoca un cambio de

movimiento. Se supone un cuerpo en equilibrio estático para realizar la sumatoria de fuerzas en el plano inclinado, obteniendo la fuerza necesaria para mover el vehículo.

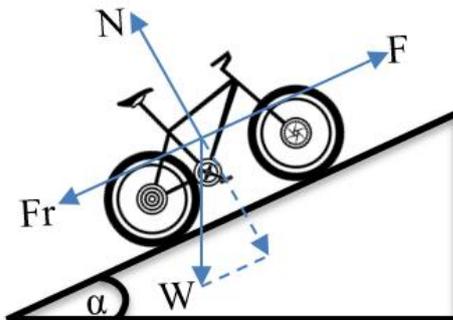


Figura 41. Diagrama cuerpo libre del Vehículo

Es necesario conocer la masa total a mover del vehículo incluido el de la persona. A continuación, en la tabla 16, se detallan las masas que actúan sobre el vehículo con la masa de la estructura implícita.

Tabla 16.

Masas que actúan en el Vehículo

| Descripción | Masa (kg) |
|----------------------|----------------|
| Persona Promedio | 75 |
| Estructura | 22 |
| Sistema de Potencia | 4,5 |
| Sistema Caminadora | 9,525 |
| Sistema Fotovoltaico | 12,247 |
| Extras | 10 |
| TOTAL | 133,272 |

$$F = mg[\sin(\alpha) + \mu \cos(\alpha)] \quad (11)$$

Donde.

μ : Coeficiente de rodadura entre caucho y asfalto.

α : Pendiente del terreno.

m: Masa total.

Se supone una pendiente inicial del 3 % como se especifica en el apartado 3.1.1. debido a las condiciones del terreno,

$$F = 133,272 \text{ kg} \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \right) [\sin(1,718) + 0,03 \times \cos(1,718)]$$

$$F = 78,39 \text{ N}$$

4.2.1.2. Torque Necesario Vehículo

Para mover al vehículo de su estado de reposo se necesita de un torque mínimo cuyo cálculo se realiza en base al diámetro de la llanta de 20 pulgadas mediante la siguiente expresión:

$$Tn = R_{rueda} \times F \quad (12)$$

$$Tn = 10 \text{ pulg} \times 78,39 \text{ N}$$

$$Tn = 19,91 \text{ Nm}$$

4.2.1.3. Potencia Máxima

La velocidad máxima propuesta para el prototipo es de 15 km/h, de acuerdo a los parámetros especificados en la tabla 2, por lo que la potencia máxima se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$P_{\text{máx}} = V_{\text{máx}} \times F \quad (13)$$

$$P_{\text{máx}} = 15 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times 78,39 \text{ N}$$

$$P_{\text{máx}} = 326,64 \text{ W}$$

4.2.2. Potencia y Torque de la Caminadora

En este apartado se evalúa los elementos necesarios para determinar la potencia y torque requeridos para hacer girar a la caminadora. Lo que permitirá realizar una evaluación de la selección del motor. Los demás componentes del Sistema Caminadora serán calculados en el apartado referente a este sistema.

4.2.2.1. Banda

Uno de los elementos indispensables para el cálculo de la potencia y torque es la banda de la caminadora. Los parámetros necesarios para realizar una correcta selección de la banda están relacionados con la tensión, el material, los espesores y los tipos de empalme o unión; datos respaldados por la norma DIN 22 101.

La longitud de la banda está acorde a las dimensiones de la estructura, con un ancho de 300 mm, permitiendo un caminar cómodo al usuario. La carga que debe mover es de 75 kg; en tanto que la carga alternante de mayor magnitud anteriormente explicada en el cálculo de la estructura no influye en el arranque del motor pues se genera una vez que la banda se encuentra en movimiento. Por suposición el peso de la persona se encuentra distribuido uniformemente en la superficie de contacto de la plataforma. Como propuesta inicial se selecciona la banda extraída de la caminadora mecánica usada cuyas características se encuentran en la siguiente tabla. (Díaz, 2011)

Tabla 17.

Características de la banda.

| | |
|---------------------------------|--|
| Material | PVC con Poliester |
| Peso | 2,20 kg/m ² |
| Coefficiente de fricción | Sobre Acero Din/Est 0,10/0,16 |
| | Sobre Madera Din/Est 0,11/0,19 |
| | Sobre Plástico Din/Est 0,10/0,18 |
| Tensión 1 % | 70 PIW |
| Diámetro mínimo de polea | 40 mm flexión 60 mm contra flexión |
| Unión | Vulcanizado |
| Aplicaciones | Transporte de componentes eléctricos, caminadoras, cajas registradoras, etc. |

Fuente: (TECNIBANDAS, 2013)

- **Resistencia al Movimiento**

La resistencia al movimiento F_w de la banda se produce al funcionar continuamente, generada por las fuerzas de la masa que se transporta, los pesos de los elementos y la fricción. Se la puede definir en la siguiente ecuación.

$$F_w = F_{RP} + F_{RS} \quad (14)$$

Donde:

F_{RP} : Resistencias totales, actúan en el recorrido de la cubierta superior y de retorno, a lo largo de todo el trayecto de la banda.

F_{RS} : Resistencias secundarias totales, limitadas localmente a la cabeza y cola del sistema.

Las resistencias principales se determinan de la siguiente manera:

$$F_{RP} = f \times L_o \times g(m_c + 2m_b) \times \cos \delta \quad (15)$$

Donde:

f: Coeficiente de fricción de la banda con la plataforma 0,18, tabla 17.

L_o : Longitud de la plataforma, 860 mm (0,86 m)

m_c : masa de la persona relacionada con la longitud, suponiendo que el peso se distribuye uniformemente sobre la plataforma de carga (87.209 kg/m).

m_b : masa de la banda, 2,20 kg/m², tabla 17. Por lo tanto 0,66 kg/m

δ : ángulo de trayectoria.

$$F_{RP} = 0,18 \times (0,86 \text{ m}) \times \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \times (87,209 + 2 \times 0,66) \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times \cos 0$$

$$F_{RP} = 134,394 \text{ N}$$

Estas resistencias primarias son factores decisivos en la distribución de la tensión de la banda.

Las resistencias secundarias dependen principalmente de la longitud de la banda, y en este caso en particular, se consideran despreciables, pues no se cuenta con impulsores intermedios, sino únicamente de una polea motriz y la longitud de la banda no es mayor de 50 [m]. (Díaz, 2011)

Por lo que:

$$F_w = F_{RP} = 134,394 \text{ N} \quad (16)$$

- **Tensiones de la Banda**

Un análisis en la tensión de la banda permite asegurar la tensión mínima requerida para el correcto agarre en la polea motriz y de frenado. En estados de funcionamiento continuo como irregular se requiere de la tensión mínima especificada en la ficha técnica de la banda para una correcta transmisión de la fuerza periférica de la polea.

La diferencia de tensiones de entrada y salida de la banda en la polea motriz producen la fuerza de accionamiento; estas a su vez dependen del coeficiente de rozamiento entre la banda y la polea, figura 43.

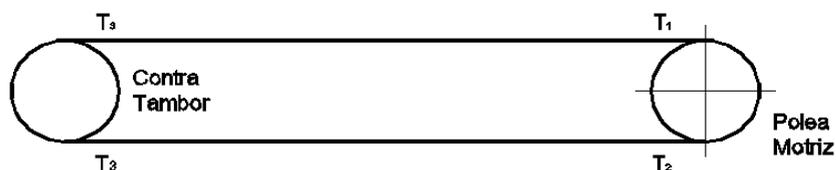


Figura 42. Tensiones en la banda

Las tensiones de entrada y salida están relacionadas por la fórmula de Eytelwien - Euler:

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{\mu_2 \alpha_1} \quad (17)$$

Donde:

μ_2 : coeficiente de fricción entre la polea y la banda;

α_1 : ángulo de revestimiento en la polea.

Cuando se alcanza el límite de adherencia entre la banda y la polea las tensiones son mínimas, convirtiéndose la expresión en igualdad. En la figura 43, se cumple que:

$$T_1 - T_2 = F_{RP} \quad (18)$$

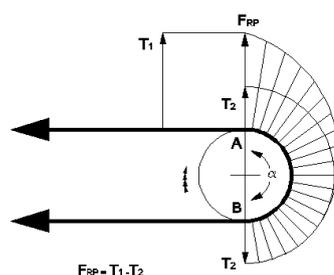


Figura 43. Relación de Tensiones.

De modo que combinando las ecuaciones (17) y (18) se obtiene:

$$T_1 = F_{RP} \left(1 + \frac{1}{e^{\mu_2 \alpha_1} - 1} \right) \quad (19)$$

$$T_2 = F_{RP} \left(\frac{1}{e^{\mu_2 \alpha_1} - 1} \right) \quad (20)$$

El ángulo de revestimiento entre mayor sea, mayor será la fuerza transmitida, en este caso su magnitud es de $180^\circ (\pi)$.

La polea propuesta es de acero, pues es de las más económicas y disponibles en el mercado.

Tabla 18.

Coefficientes de fricción recomendados entre bandas transportadoras con cubiertas de goma y superficie de poleas con diferentes terminaciones (Norma DIN 22101) en estado de funcionamiento continuo

| Condiciones de funcionamiento | Superficie de la polea | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------|---|---|---------------------------------|
| | Polea de acero pelada (suave) | Revestimiento de poliuretano para la fricción | Revestimiento de poliuretano para la fricción | Revestimiento cerámico (poroso) |
| Seco | 0.35 a 0.4 | 0.35 a 0.4 | 0.4 a 0.45 | 0.4 a 0.45 |
| Húmedo (agua pura) | 0.1 | 0.35 | 0.35 | 0.35 a 0.4 |
| Húmedo (contaminado con barro, greda) | 0.05 a 0.1 | 0.2 | 0.25 a 0.3 | 0.35 |

Fuente: (PHOENIX, 2006)

Entonces:

$$\frac{1}{e^{\mu_2 \alpha_1} - 1} = \frac{1}{e^{0.4 * \pi} - 1} = 0.398$$

$$T_1 = F_{RP} * (1 + 0.398) = 146.946[\text{N}] * (1 + 0.398) = 187.861[\text{N}]$$

$$T_2 = F_{RP} * (0.398) = 146.946[\text{N}] * (0.398) = 53.467[\text{N}]$$

La tensión de la banda T_3 al no existir un desviador es de un valor cercano a T_2 , por lo tanto $T_3 = 53,467 \text{ N}$

- **Cargas de Trabajo y Rotura de la Banda**

La tensión máxima T_{Umax} de la banda se genera en el punto con mayor esfuerzo de la cinta transportadora, normalmente coincide con la tensión T_1 y se utiliza para calcular la tensión unitaria máxima de la banda o carga de rotura T_{Umax} dada por la siguiente expresión.

$$T_{Umax} = \frac{T_{max}}{N} \quad (21)$$

Donde:

N: ancho de la banda en mm;

Tmax: tensión en el punto sometido a mayor esfuerzo de la banda en N.

En el caso del sistema la tensión máxima es igual a T_1 por lo que:

$$T_1 = T_{max} = 205,407 \text{ N}$$

Remplazando en la Ecuación (21),

$$T_{Umax} = \frac{187,861 \text{ N}}{300 \text{ mm}} = 0,626 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

El valor de tensión de la banda propuesta es 70 PIW. El valor de conversión es 1 PIW = 0,175 N/mm por lo cual se tiene un valor de 12,25 N/mm.

El valor de tensión de la banda debe ser superior a la carga de rotura por lo que en este caso la banda es óptima para su aplicación.

4.2.2.2. Potencia Motriz

La potencia mecánica requerida debe superar las resistencias al movimiento considerando las condiciones de operación para cada tipo de marcha, esto quiere decir que el motor sea capaz de mover la banda a distintas velocidades y así marcar el paso de la persona.

La potencia requerida está determinada por la siguiente ecuación:

$$P_W = F_{RP} \times v \quad (22)$$

Donde

F_{RP} = Resistencia total al movimiento

v = Velocidad de la banda

La velocidad máxima a la que el usuario caminará es los 3 km/h.

$$P_W = F_{RP} \times v = 111,995 \text{ W}$$

El par que está sometida la polea es:

$$T = F_{RP} \times r_{polea} \quad (23)$$

$$T = 134,394 \text{ N} \times \left(\frac{0.06}{2} \text{ m} \right) = 4.032 \text{ Nm}$$

4.2.3. Selección del Motor.

En la siguiente tabla se realiza un resumen de la potencia y torque requerido para cada sistema:

Tabla 19.**Potencia Y Torque Requeridos**

| Sistema | Potencia [W] | Torque [Nm] |
|-------------------------|--------------|-------------|
| Vehículo | 326,641 | 19,912 |
| Caminadora | 111,995 | 4,032 |
| Total: 438,636 W | | |

La disponibilidad de motores DC en el mercado es reducida, por lo que se opta seleccionar un motor de 450 W a importar, el cual incluye un kit completo que consta de las siguientes características:

Tabla 20.**Elementos que incluyen en el kit del motor**

| Ítem | Descripción | Observaciones |
|------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | Motor 450 W | |
| 2 | Manigueta de freno | Lado izquierdo y derecho |
| 3 | Cargador 1,8A 24V | Conexión a 110 V AC |
| 4 | Acelerador | |
| 5 | Adaptador de piñón | |
| 6 | Eje 18 mm | |
| 7 | Placa de montaje + pernos | |
| 8 | Controlador de potencia | PWM |
| 9 | Cadena | |
| 10 | Luz delantera | |
| 11 | Piñón de 16 dientes | |
| 12 | Puño izquierdo | |

En tanto que las características del motor son las siguientes:

Tabla 21.**Especificaciones Técnicas Motor DC**

| Especificaciones Motor | |
|------------------------|-----------|
| Potencia | 450 W |
| Torque | 10,231 Nm |
| Velocidad | 420 rpm |
| Peso | 4,5 kg |

Fuente: (GnGelectric, 2011)

El torque del motor no cuenta con el torque necesario por lo que en el sistema de transmisión, se evaluará una relación de piñones que permita aumentar el torque nominal del motor.

4.3. Diseño del Sistema de Transmisión.

La propuesta del prototipo está orientada a la disponibilidad de repuestos de fácil adquisición y bajo costo por lo que se utiliza para el diseño piñones y cadenas de bicicletas.

4.3.1. Cadena

El piñón del motor es de 9 dientes diseñado para trabajar con una cadena de bicicleta de paso 1/2 pulgada y ancho 1,8 pulgada, usada en bicicletas con un solo piñón.

Como dato adicional para asegurar el correcto funcionamiento de la cadena antes descrita es el apartado 3.1.3, donde se manifiesta que las bicicletas eléctricas adquiridas por el distrito metropolitano de Quito cuentan con un motor de 500 W; las condiciones de servicio presentes en el prototipo son similares a las condiciones presentes en estas bicicletas y al contar con el mismo número de torones (factores a considerar para la selección de la cadena), se cerciora que la selección es segura.

4.3.2. Piñones

Para determinar el número de dientes de los piñones de la caminadora y el vehículo se necesita conocer las revoluciones por minuto del motor, la cual se encuentra en la tabla 21.

Motor:

$$w_{motor} = 420 \text{ rpm}$$

A continuación se establecen la velocidad lineal máxima a las que se desplazará el vehículo, la velocidad lineal máxima de la caminadora y los radios de la llanta y la polea motriz:

Tabla 22.

Datos Vehículo y Caminadora

| | Velocidad Lineal [km/h] | Radios [mm] |
|------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Vehículo | $V_{vehículo} = 15 \text{ km/h}$ | $r_{llanta} = 254 \text{ mm}$ |
| Caminadora | $V_{caminadora} = 3 \text{ km/h}$ | $r_{tambor} = 30 \text{ mm}$ |

Se calcula las velocidades angulares tanto para la caminadora como para el vehículo:

$$w = \frac{V}{r} \quad (24)$$

Donde:

w: velocidad angular rad/s

V: velocidad lineal m/s

r: radio de la rueda o polea motriz (tambor) de la caminadora (m)

Las velocidades angulares para el vehículo y caminadora son:

$$w_{vehículo} = \frac{4,167 \text{ m/s}}{0,254 \text{ m}} = 16,404 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 156,649 \text{ rpm}$$

$$w_{caminadora} = \frac{0,833 \text{ m/s}}{0,03 \text{ m}} = 27,767 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 265,152 \text{ rpm}$$

Se determina las relaciones:

$$\text{Relación} = \frac{w_{conductor}}{w_{conducido}} \quad (25)$$

Motor – Llanta

$$Relación_1 = \frac{w_{motor}}{w_{vehículo}} = \frac{450 \text{ rpm}}{156,649 \text{ rpm}} = 2,681$$

Motor – Caminadora

$$Relación_2 = \frac{w_{motor}}{w_{caminadora}} = \frac{450 \text{ rpm}}{265,152 \text{ rpm}} = 1,697$$

El número de dientes para los piñones de la llanta y la caminadora se determina mediante:

$$N_2 = N_1 \times Relación \quad (26)$$

Donde:

N_1 : Número de dientes Conductor

N_2 : Número de dientes Conducido

Remplazando:

Número de dientes del Piñón – Llanta:

$$N_{llanta*} = N_{motor} \times Relación_1 = 9 * 2,681 = 24,13$$

Número de dientes del Piñón – Caminadora:

$$N_{caminadora*} = N_{motor} \times Relación_2 = 9 \times 1,697 = 15,273$$

El número de dientes de piñones disponibles en el mercado son: 16T, 18T, 22T.

Por lo que se selecciona los piñones con el número de dientes más cercano:

$$N_{llanta} = 22$$

$$N_{caminadora} = 16$$

Se calcula la velocidad real para la caminadora y vehículo con esa distribución de piñones:

Vehículo:

$$w_{Rvehiculo} = w_{motor} \times \frac{N_{motor}}{N_{llanta}} \quad (27)$$

$$w_{Rvehiculo} = 420 \times \frac{9}{22} = 171,818 \text{ rpm}$$

$$V_{Rvehiculo} = w_{Rvehiculo} \times r_{llanta} = 16,453 \text{ km/h}$$

Caminadora:

$$w_{Rcaminadora} = w_{motor} \times \frac{N_{motor}}{N_{caminadora}} \quad (28)$$

$$w_{Rcaminadora} = 420 \times \frac{9}{16} = 236,25 \text{ rpm}$$

$$V_{Rcaminadora} = w_{Rvehiculo} \times r_{llanta} = 2,672 \text{ km/h}$$

Se puede observar que las velocidades reales obtenidas, a pesar de tener una variación, están dentro de un margen que se puede considerar aceptable.

Una vez obtenidas las velocidades reales de funcionamiento, se procede a analizar los torques y comprobar que el motor seleccionado cumpla con su objetivo:

El torque necesario para el funcionamiento de la caminadora obtenido en el apartado 4.2.2.2 es:

$$T = 4,032 \text{ Nm}$$

Con este torque se evalúa la pérdida de potencia consumida por la caminadora:

$$P_{Rcaminadora} = T \times \frac{w_{Rcaminadora}}{\left(\frac{N_{caminadora}}{N_{motor}}\right)} \quad (29)$$

$$P_{Rcaminadora} = 56,11 \text{ W}$$

Se resta esta potencia de la potencia nominal del motor, para evaluar si la potencia restante permite sacar al vehículo de su estado de reposo:

$$P_{restante} = P_{motor} - P_{Rcaminadora} = 393,89 \text{ W}$$

Torque:

- Cuando el vehículo está en uso junto a la caminadora:

$$T_{Rvehiculo} = \frac{P_{restante}}{\frac{W_{Rvehiculo}}{\left(\frac{N_{llanta}}{N_{motor}}\right)}} \quad (30)$$

$$T_{Rvehiculo} = 53,513 \text{ Nm}$$

- Cuando el vehículo está en uso sin la caminadora (Plataforma de Descanso); en este caso se usa la potencia total del motor:

$$T_{Rvehiculo} = \frac{P_{motor}}{\frac{W_{Rvehiculo}}{\left(\frac{N_{llanta}}{N_{motor}}\right)}} \quad (31)$$

$$T_{Rvehiculo} = 61,136 \text{ Nm}$$

Se realiza una tabla para establecer la pendiente máxima que puede subir el vehículo.

El torque y potencia calculados para cada pendiente se realizó utilizando las ecuaciones (12) y (13), de esta manera se obtiene la potencia y torque necesario para cada condición y cuyos resultados se expresan en tabla 23:

Tabla 23.

Torque Y Potencia Necesarios Evaluados Para Distintas Pendientes

| | | | | Vehículo + Caminadora | Vehículo |
|--|------------|---------------|---------|-----------------------------|---------------|
| Torque Máximo Generado [Nm]: | | | | <i>53.513</i> | <i>61.136</i> |
| Potencia Máxima con la que se dispone[W]: | | | | <i>393.89</i> | <i>450</i> |
| Pendiente | 1 % | T [Nm] | 13.278 | CUMPLE | CUMPLE |
| | | P [W] | 238.655 | CUMPLE | CUMPLE |
| | 2 % | T [Nm] | 16.596 | CUMPLE | CUMPLE |
| | | P [W] | 298.287 | CUMPLE | CUMPLE |
| | 3 % | T [Nm] | 19.912 | CUMPLE | CUMPLE |
| | | P [W] | 357.98 | CUMPLE | CUMPLE |
| | 4 % | T [Nm] | 23.226 | CUMPLE | CUMPLE |
| | | P [W] | 417.456 | NO CUMPLE | CUMPLE |
| | 5 % | T [Nm] | 26.538 | CUMPLE | CUMPLE |
| | | P [W] | 476.981 | NO CUMPLE | NO CUMPLE |

La tabla 23 nos muestra las pendientes máximas a las que el prototipo puede trabajar. Cuando el vehículo se usa junto a la caminadora puede subir pendientes de hasta el 3 %, mientras que si se usa la plataforma de descanso el vehículo alcanza pendientes de hasta el 4 %.

La selección de potencia, cadena y piñones del prototipo cumple con las condiciones de uso.

Una vez terminados los piñones a utilizar se calcula los diámetros de paso que posteriormente servirán para el cálculo de la longitud de las cadenas a necesitar:

$$D = \frac{p}{\sin\left(\frac{180}{N_p}\right)} \quad (32)$$

Donde:

D: Diámetro de paso del piñón.

p: Paso de la Cadena (12.7 mm).

Np: Número de dientes del piñón.

Ejemplo de cálculo con piñón de 9 dientes:

$$D = \frac{12,7 \text{ mm}}{\sin\left(\frac{180}{9}\right)} = 37,132 \text{ mm}$$

De esta manera los resultados son los siguientes:

Tabla 24.

Diámetros de Paso Piñones Utilizados

| Piñón | Diámetro de Paso [mm] |
|------------------|------------------------------|
| Piñón 9T | 37,132 |
| Piñón 16T | 65,098 |
| Piñón 22T | 89,239 |

4.3.3. Longitud de la cadena

Una vez obtenido el número de dientes de cada piñón se realiza una representación de su colocación y distribución en el prototipo mediante una herramienta gráfica, obteniendo el siguiente esquema:

Para el primer arreglo de piñones se tiene:

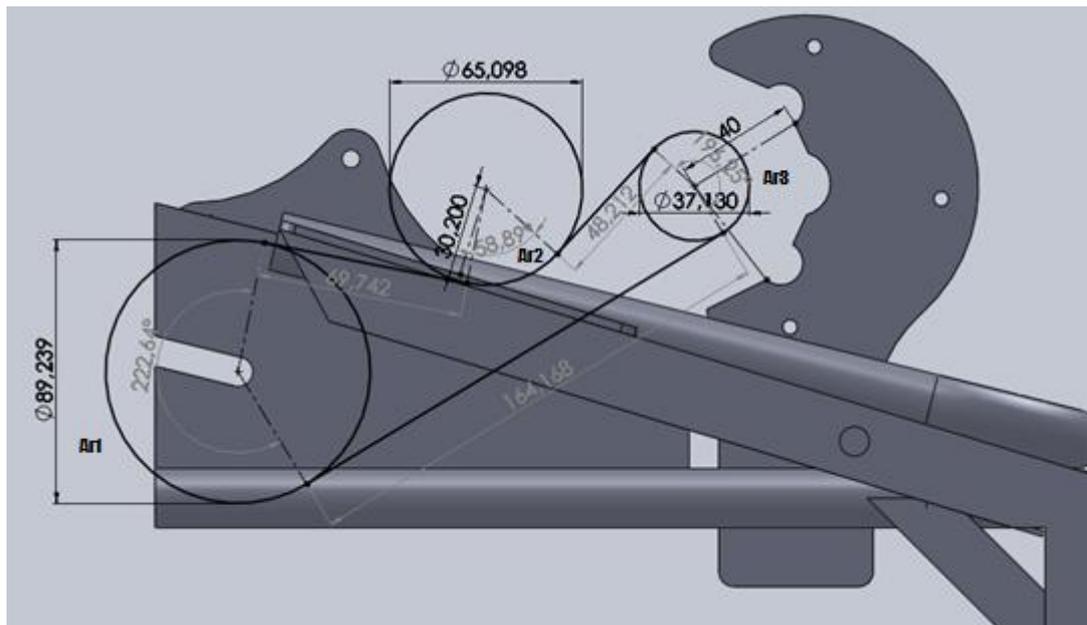


Figura 44. Esquema de cadena y catarina (Motor, Rueda, Contragiro)

La longitud total de la cadena son las longitudes que unen los diámetros de paso de los piñones de forma tangencial y los arcos Ar1, Ar2, Ar3. Donde la longitud del arco se expresa como:

$$Ar = \frac{\pi \times D \times \alpha_{arco}}{360^\circ} \quad (33)$$

Donde:

Ar: Longitud de Arco

D: Diámetro de Paso del piñon

α_{arco} : Ángulo del arco

De esta manera se obtiene:

- Longitud de Arco 1 (Piñón 22T):

$$Ar1 = \frac{\pi \times 89,239 \text{ mm} \times 222,64^\circ}{360^\circ} = 173,38 \text{ mm}$$

- Longitud de Arco 2 (Piñón 16T):

$$Ar2 = \frac{\pi \times 65,098 \text{ mm} \times 58,89^\circ}{360^\circ} = 33,46 \text{ mm}$$

- Longitud de Arco 3 (Piñón 9T):

$$Ar3 = \frac{\pi \times 37,130 \text{ mm} \times 195,25^\circ}{360^\circ} = 63,593 \text{ mm}$$

Por lo tanto la longitud total de la cadena 1 es:

$$L_{cadena1} = \frac{(69,742 + 48,211 + 164,168 + 173,38 + 33,455 + 63,593) \text{ mm}}{12,7 \text{ mm}} = 43,508 \text{ pasos}$$

Entonces la cadena número 1 tiene un total de 44 pasos.

De la misma manera para la cadena número 2 se realiza el mismo procedimiento anteriormente descrito:

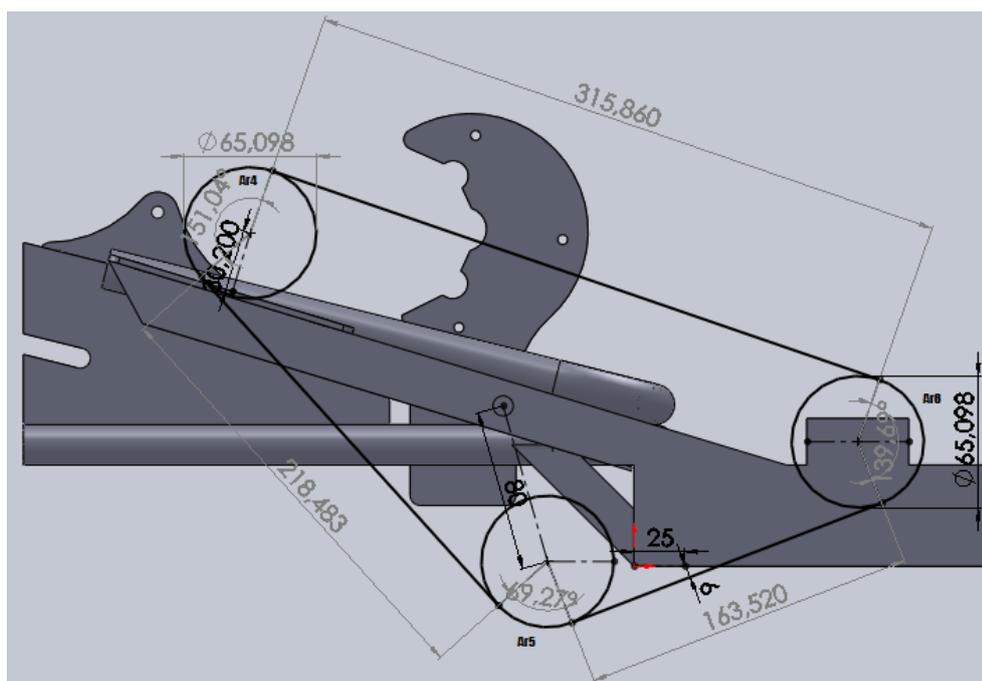


Figura 45. Esquema de cadena y catarina (Contragiro, Guía, Tambor Motriz)

De esta manera se obtiene:

- Longitud de Arco 4 (Piñón 16T):

$$Ar4 = \frac{\pi \times 65,098 \text{ mm} \times 151,04^\circ}{360^\circ} = 85,803 \text{ mm}$$

- Longitud de Arco 5 (Piñón 16T):

$$Ar4 = \frac{\pi \times 65,098 \text{ mm} \times 69,27^\circ}{360^\circ} = 39,351 \text{ mm}$$

- Longitud de Arco 6 (Piñón 16T):

$$Ar4 = \frac{\pi \times 65,098 \text{ mm} \times 139,69^\circ}{360^\circ} = 79,356 \text{ mm}$$

Por lo tanto la longitud total de la cadena 1 es:

$$L_{cadena1} = \frac{(315,860 + 218,483 + 163,52 + 85,803 + 39,351 + 79,356) \text{ mm}}{12,7 \text{ mm}} = 71,05 \text{ pasos}$$

Es decir que la cadena número 2 tendrá un total de 72 pasos.

4.3.4. Eje del Contragiro

4.3.4.1. Análisis Estático

Una vez determinado las posición de los piñones, número de dientes, y longitud de la cadena se procede a calcular el eje del contragiro. Las dimensiones del eje, la ubicación de las chumaceras y las catarinas se obtienen mediante el modelado en 3D:

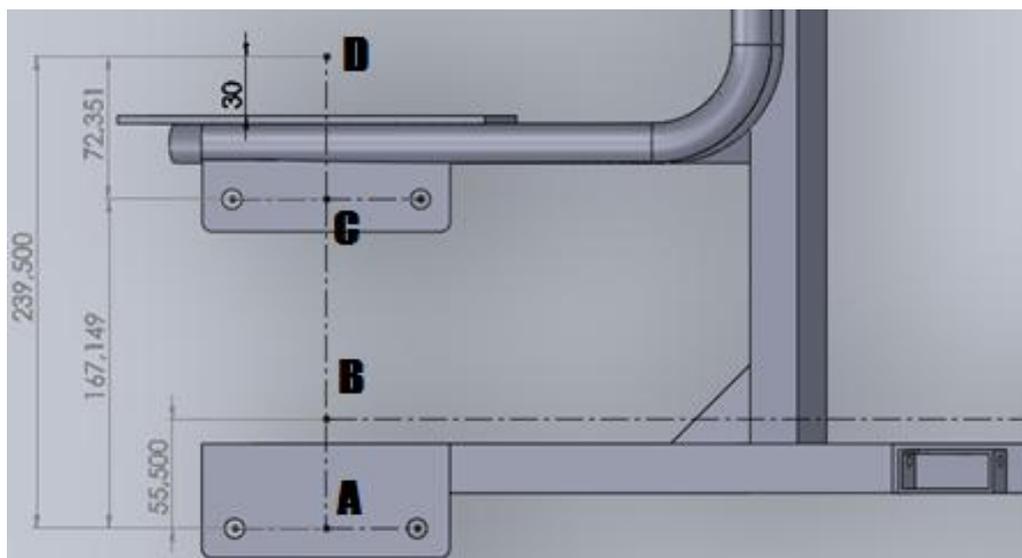


Figura 46. Esquema de ubicación de las chumaceras y las catarinas del contragiro

Para el cual se realiza los siguientes esquemas para su análisis:

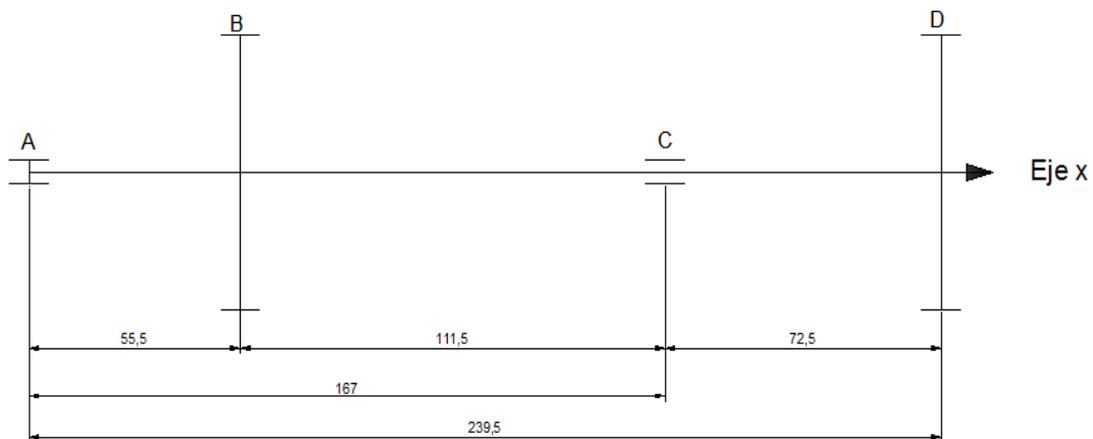


Figura 47. Esquema del contragiro (Eje X)

Análisis de fuerza en el punto D:

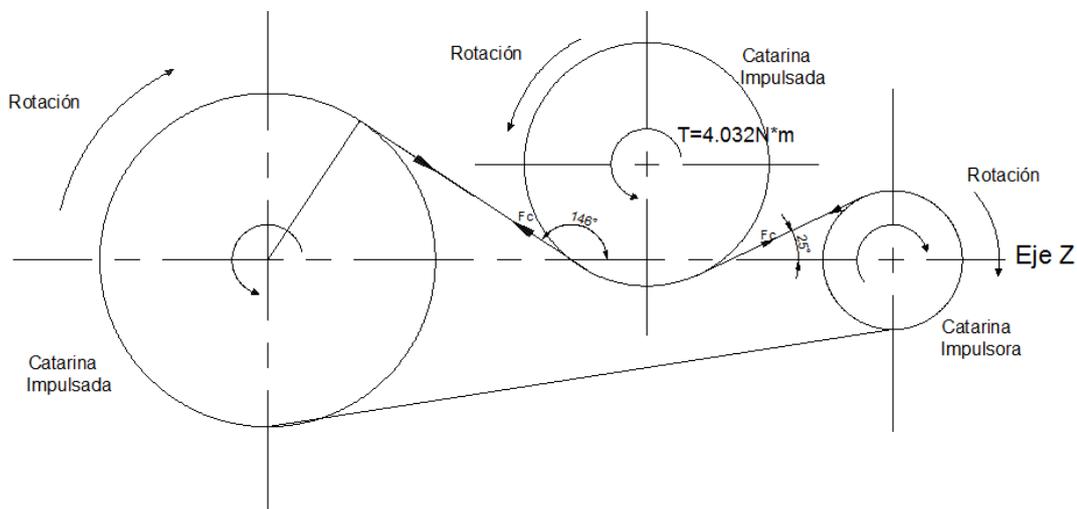


Figura 48. Vista lateral en el punto D

Donde T, de la figura 48, es el par torsional que ejerce el eje sobre la Catarina de 16 dientes: $T = 4.032[N.m]$ calculado en la sección 4.2.2.2.

Y F_c es la fuerza de tensión en la cadena:

$$F_c = \frac{T}{D_p/2} \quad (34)$$

Donde:

T: Par torsional que ejerce el eje sobre la Catarina

D_p : Diámetro de paso de la Catarina.

$$F_c = \frac{4032 \text{ Nmm}}{\frac{65.098}{2} \text{ mm}} = 112,269 \text{ N}$$

Para hacer un análisis más preciso se necesita descomponer la fuerza F_c en las componentes paralelas a la línea entre centros, y perpendicular a ella (Mott, 2006); esto es:

$$F_{czD} = F_c \times \sin \theta \quad (35)$$

$$F_{cyD} = F_c \times \cos \theta \quad (36)$$

Donde

La dirección z es paralela a la línea entre centros

La dirección y es perpendicular a la dirección z

θ : Ángulo de inclinación de la cadena con respecto a la dirección x

Por lo tanto la fuerza descompuesta en la dirección z y y se tiene:

$$F_{cz} = 112,269 \text{ N} \times \sin(25^\circ) = 47,712 \text{ N}$$

$$F_{cy} = 112,269 \text{ N} \times \cos(25^\circ) = 101,352 \text{ N}$$

Para el análisis en el punto B de las fuerzas y par en el punto B se realiza el mismo procedimiento antes descrito, obteniendo el siguiente esquema:

Análisis de fuerza en el punto B:

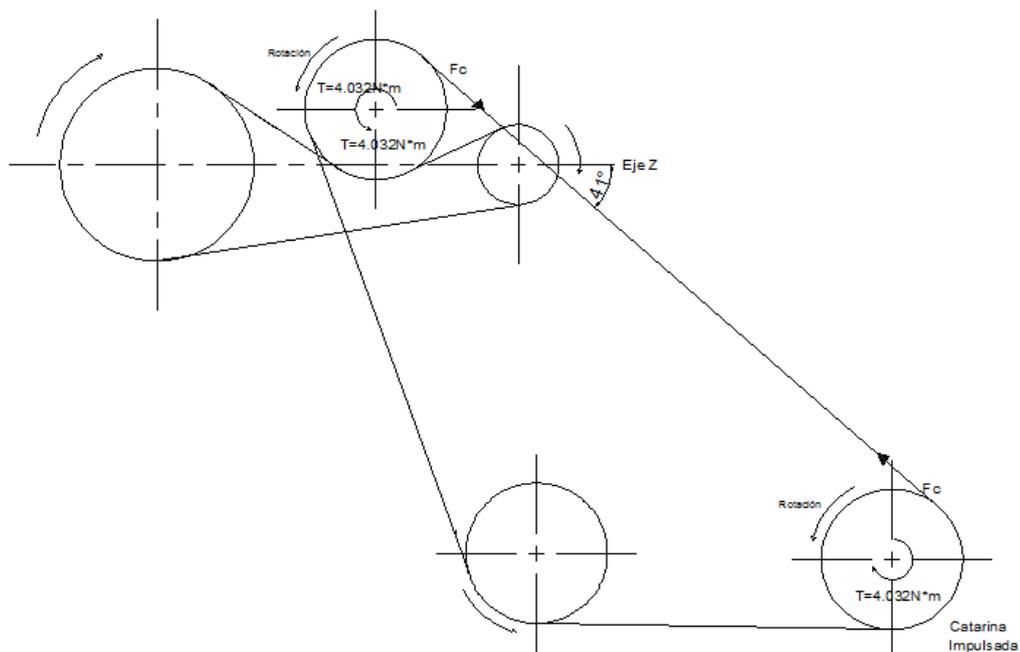


Figura 49. Vista lateral en el punto B

Al ser una relación entre piñones con el mismo número de dientes, el torque se mantiene en cada piñón por lo tanto F_c se mantiene constante.

La fuerza descompuesta en la dirección z y y para este piñón se tiene:

$$F_{czB} = 112,269 \text{ N} \times \sin(319^\circ) = 93,489 \text{ N}$$

$$F_{cyB} = 112,269 \text{ N} \times \sin(319^\circ) = -81,269 \text{ N}$$

Se realiza el diagrama de cuerpo libre:

Plano x-y:

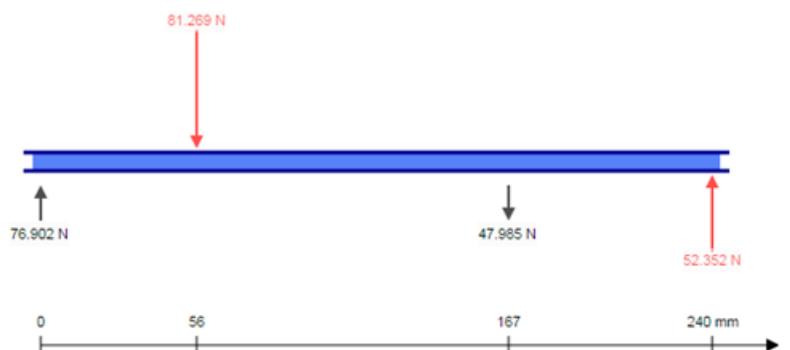


Figura 50. Diagrama de Cuerpo Libre Plano x-y

Se obtiene la gráfica de cortantes Plano x-y:

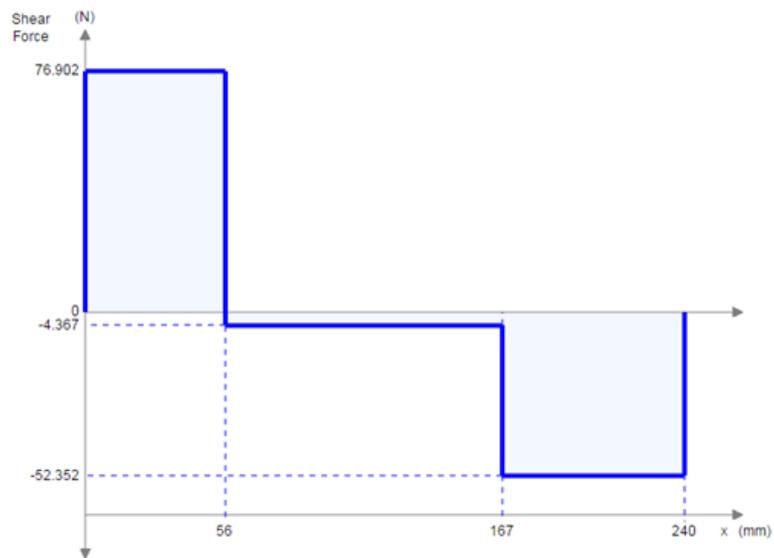


Figura 51. Diagrama de Esfuerzos Cortantes Plano x-y

Gráfico de momentos Plano x-y

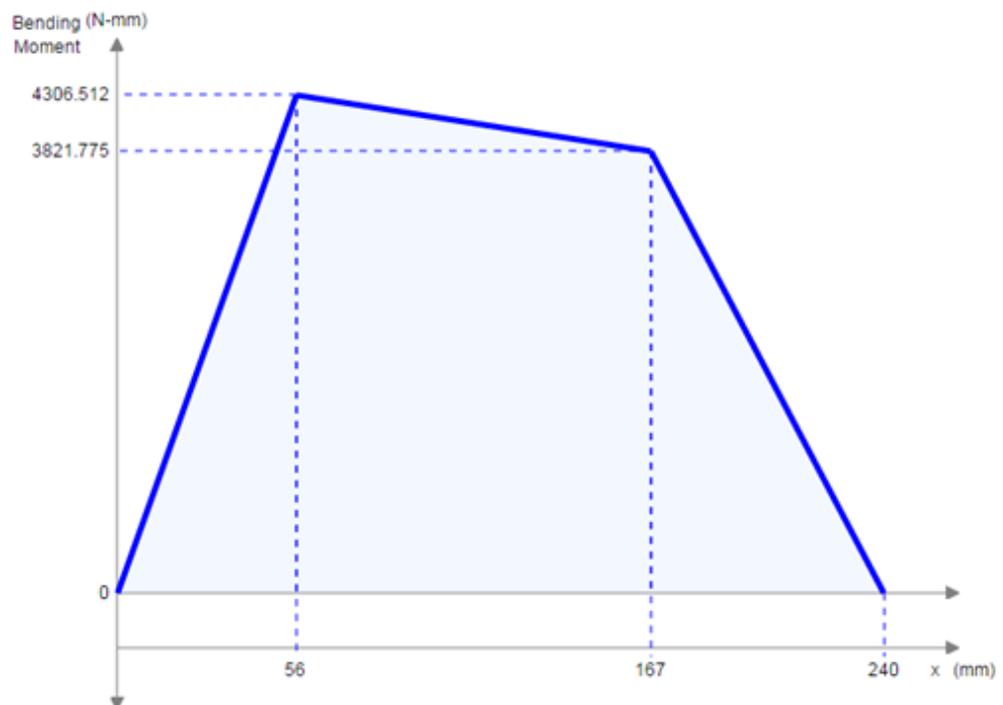


Figura 52. Diagrama de Momento Flectores Plano x-y

Plano x-z:

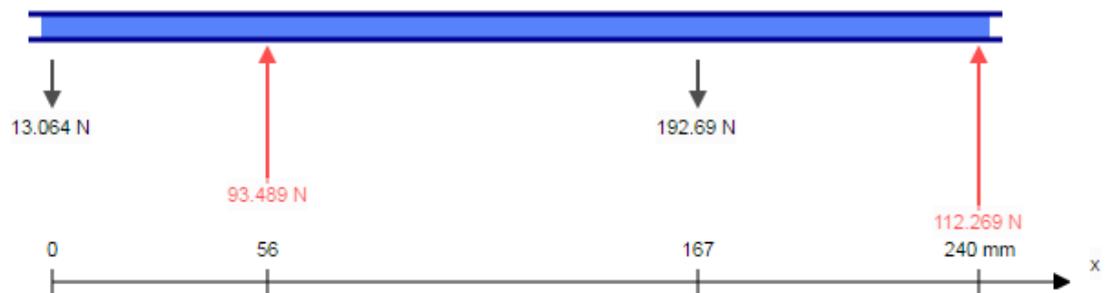


Figura 53. Diagrama de Cuerpo Libre Plano x-z

Se obtiene la gráfica de cortantes Plano x-z:

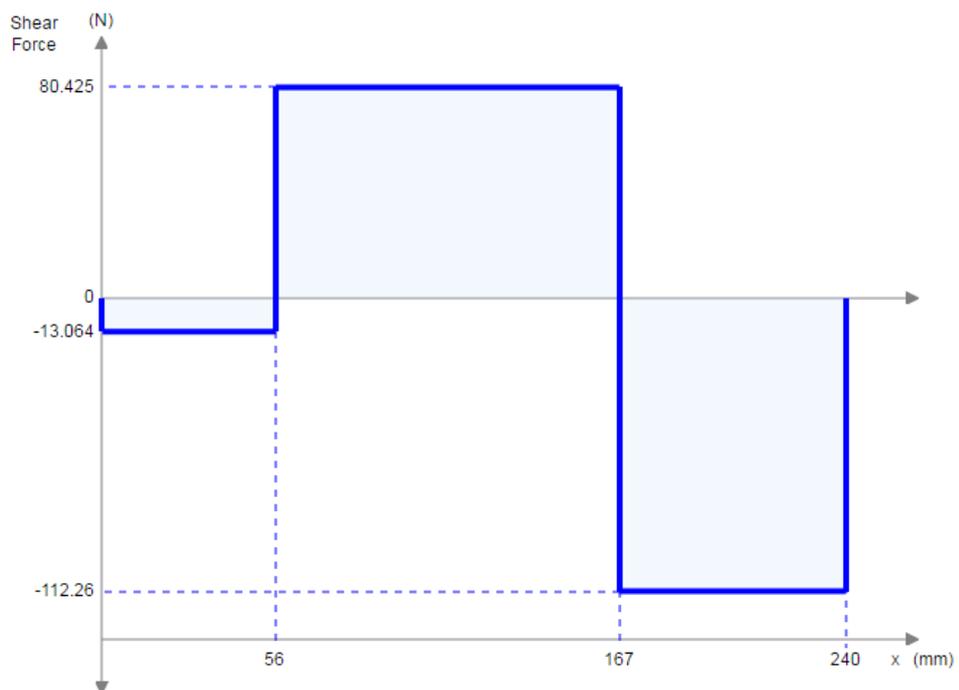
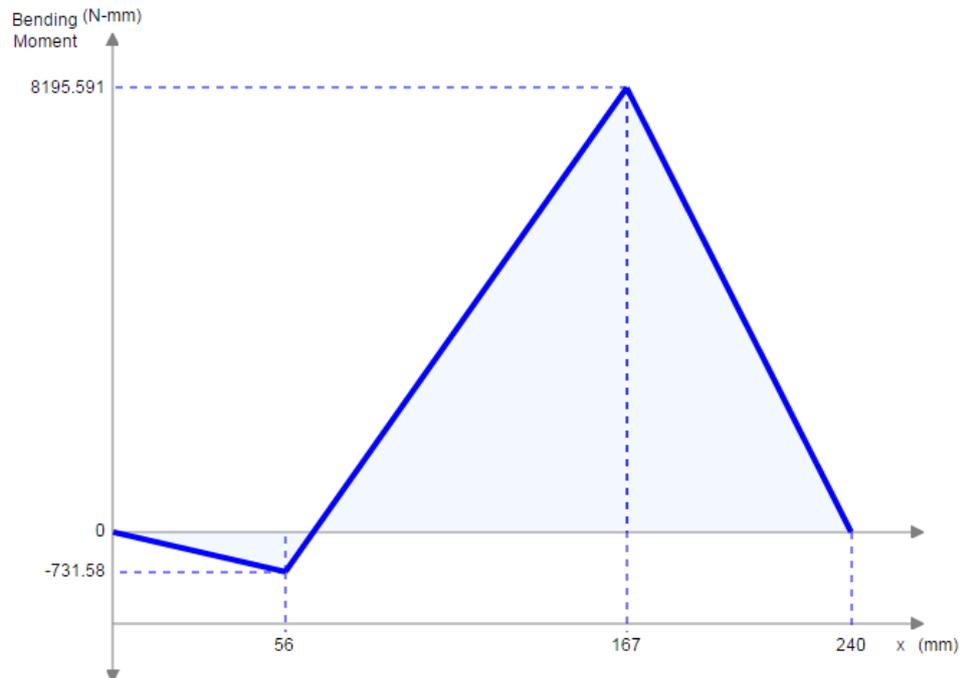


Figura 54. Diagrama de Esfuerzos Cortantes Plano x-z

Gráfico de momentos Plano x-z

**Figura 55. Diagrama de Momento Flectores Plano x-z**

Se calcula los momentos totales en los puntos B y C:

$$M_{total} = \sqrt{M_{xz}^2 + M_{xy}^2} \quad (37)$$

Donde:

M_{total} : Momento Flector Total

M_{xz} : Momento Flector Plano xz

M_{xy} : Momento Flector Plano xy

Se realiza una evaluación en cada punto, y se determina el diámetro del eje en el punto donde se presenta el mayor esfuerzo. El eje es de sección circular uniforme por lo que no tendrá cambios de sección, chaflanes, u otro tipo de concentrador de esfuerzos.

La parte sometida al par torsional, solo es aquella conformada desde el punto D al punto B. Desde la izquierda del piñón B hasta la chumacera en el punto A, el par torsional es cero.

- Punto D

El piñón D produce torsión en el eje, desde D hacia B, el piñón D va montado a un acople piñón-eje, el cual se fija por medio de prisioneros. El momento flexionante en D es cero, al ser un extremo libre del eje. Por lo cual en este punto solo está regido por la fuerza de torsión.

- Punto C

El punto C es el lugar de una chumacera. En general entre el barreno de la chumacera y el asiento del eje se deja un ajuste a presión ligera.

El momento total en el punto C es:

$$M_{totalC} = \sqrt{3821,775^2 + 8195,591^2} = 9043 \text{ Nmm}$$

Se propone trabajar con un eje de acero AISI 1018 cuyas propiedades son: $S_y = 220\text{MPa}$; $S_u = 341\text{MPa}$ según tabla A-22 (Budynas & Nisbett, 2008). La resistencia a la fatiga del material está dada por la siguiente ecuación:

$$S_e = 0,5 S_u \quad (38)$$

$$S_e = 0,5 (341 \text{ MPa}) = 170,5 \text{ MPa}$$

Se calcula la resistencia a la fatiga estimada real:

$$S_e' = S_n(C_R)(C_S) \quad (39)$$

Donde:

C_R : Factor de confiabilidad

C_S : Factor de tamaño

La Confiabilidad estimada es del 0,99; $C_R = 0,75$. Tabla 5-1 (Mott, 2006)

Para el factor de tamaño se estima un eje de 1/2 pulgadas por lo que el factor de tamaño está dado por la tabla 5-2 de (Mott, 2006) .Donde para un diámetro $0,3'' < D \leq 2,0$ pulgadas, el factor de tamaño es:

$$C_s = \left(\frac{D}{0,3}\right)^{-0,11} \quad (40)$$

$$C_s = \left(\frac{0,5}{0,3}\right)^{-0,11} = 0,945$$

Por lo tanto:

$$S'_n = 170,5 \text{ MPa}(0,945)(0,75) = 120,89 \text{ MPa}$$

Se aplica la ecuación (12-24) de (Mott, 2006), a causa de esfuerzos combinados:

$$D_{eje} = \sqrt[3]{\left(\frac{32N}{\pi}\right) \sqrt{\left(\frac{K_1 M}{S_e'}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{T}{S_y}\right)^2}} \quad (41)$$

Donde:

D_{eje} : Diámetro mínimo del eje

N: Factor de diseño propuesto

K_1 : Factor por concentrador de esfuerzos

M: Momento flector total en el punto

T: Par torsional

S_e' : Resistencia a la fatiga estimada real

S_y : Resistencia a la flexión

Se propone un factor de diseño de 2.5

Reemplazando los valores para el punto C se tiene:

$$D_c = \left(\frac{32 \times 2.5}{\pi} \sqrt{\left(\frac{1 \times 9,043 \text{ Nm}}{120,89 \text{ MPa}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{4,032 \text{ Nm}}{220 \text{ MPa}} \right)^2} \right)^{\frac{1}{3}} = 12,488 \text{ mm}$$

Por lo que el eje propuesto de 0.5 pulg (12,7 mm) es correcto.

- Punto B

El punto B se realiza el mismo procedimiento anterior, sin embargo, al tener un momento flexionante menor al punto C, el diámetro mínimo es menor. El eje se propone de sección circular uniforme por lo que se usa el diámetro calculado en el punto C.

El momento total en el punto B es:

$$M_{totalB} = \sqrt{4306.512^2 + 731.58^2} = 4368 \text{ Nmm}$$

- Punto A

El Punto A es el lugar de la otra chumacera en la que va sujeta el eje. En este punto no existe momento torsionales ni flexionales. Solo un momento cortante de baja magnitud por lo cual se mantiene la selección de un eje de 1/2 pulgada.

4.4. Diseño del Sistema Caminadora

Debido a que se dispone de una caminadora mecánica reciclada, se verifica que los elementos de esta cumplan con los requerimientos del prototipo. Es indispensable analizar los elementos que soportan algún tipo de carga.

4.4.1. Polea

Las poleas, también llamadas tambores, es la encargada de transmitir el movimiento a la banda y deben resistir los esfuerzos ocasionados por las tensiones de las bandas y las cargas.

4.4.1.1. Parámetros

Para definir el tambor de la caminadora, se debe determinar los siguientes datos:

- Ancho de la banda (N),
- Diámetro en relación a las características de la banda (D),
- Diámetro del eje y tipo de acero (d),
- Tipo de bloqueo del eje con los cabezales (anillos ensambladores, chaveta, soldadura),
- Posición del tambor (mando, transmisión inflexión),
- Ángulo de revestimiento de la banda en el tambor,
- Tensiones de la banda.
- Distancia entre los soportes y brida tambor (a_g),
- Revestimiento (tipo) si se requiere.

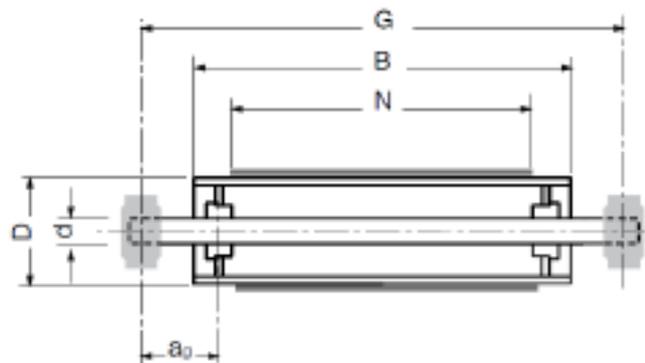


Figura 56. Esquema General del Tambor

Fuente: (Díaz, 2011)

El diámetro mínimo recomendado para el tambor, basándose en las características del tipo de banda de la tabla 17, recomienda un diámetro mínimo de 60 cm. El tambor y contra tambor obtenidos de la caminadora reciclada tienen un diámetro de 60 cm por lo que cumple con la condición mencionada.

4.4.2. Polea Motriz

El eje del tambor motriz está sujeto a flexiones con fatiga alterna y a torsión. Para calcular el diámetro mínimo, es necesario determinar el momento de flexión M_f y el momento de torsión M_t . Una flexión excesiva del eje en los tambores, es la principal causa de aflojamiento en la estructura, por esto es importante un dimensionamiento correcto del eje, tomando en cuenta los coeficientes de seguridad adecuados.

El momento de flexión del eje está generado por la resultante de la suma vectorial de las tensiones T_1 y T_2 calculados en el apartado 4.2.2.1.2 y del peso del tambor q_T , figura 57:

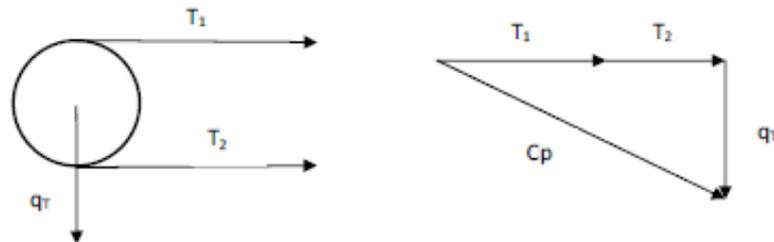


Figura 57. Diagrama de cuerpo libre de la polea y las fuerzas a las que está sometida

Calculando la resultante de las tensiones C_p :

$$C_p = \sqrt{(T_1 + T_2)^2 + (q_T)^2} \quad (42)$$

$$C_p = \sqrt{(187.861 + 53.467)^2 + (kg \times 9,8)^2} = 141,564 \text{ N}$$

Para calcular el momento flector se realiza el siguiente diagrama de cuerpo libre:



Figura 58. Diagrama de cuerpo libre para el eje motriz

Haciendo uso de un programa para cálculo de vigas se obtiene los siguientes gráficos de cortantes y momentos flectores para el eje:

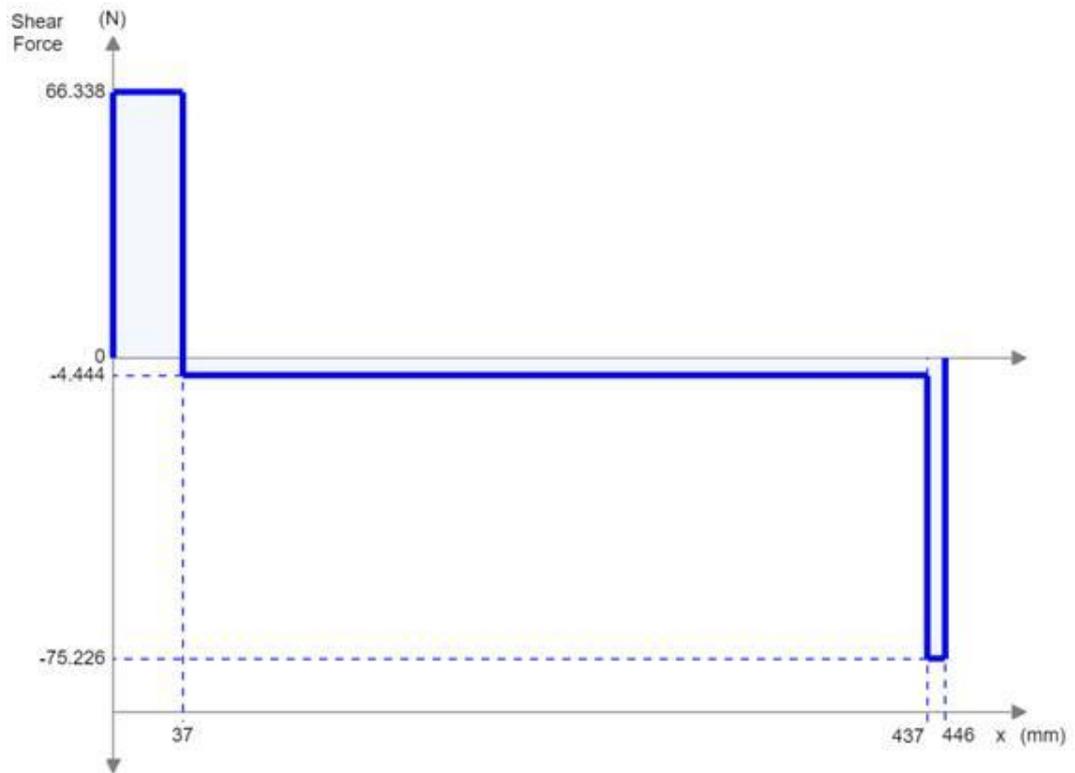


Figura 59. Grafica de Cortante para el Eje de la Polea Motriz

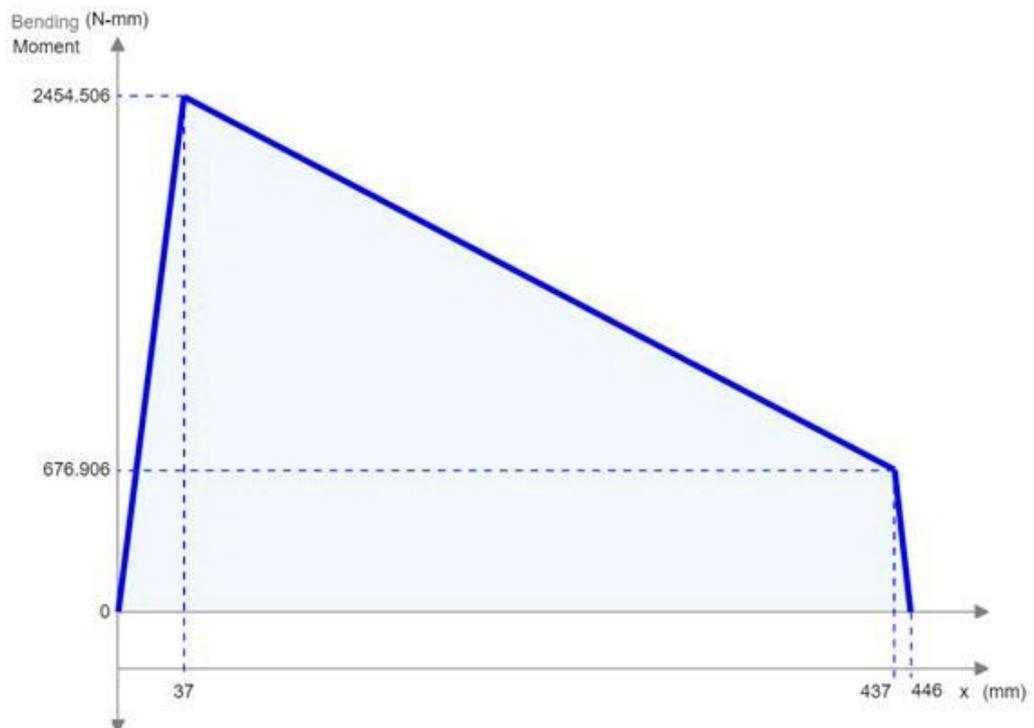


Figura 60. Grafica de Momento Flector para el Eje de la Polea Motriz

Obteniendo un momento flector máximo:

$$Mf = 2454,506 \text{ Nmm} = 24,545 \text{ Nm}$$

El momento de torsión máximo en el eje es:

$$M_T = \frac{P_{motor}}{W_{caminadora}} \text{ Nm} \quad (43)$$

Donde:

P_{motor} : Potencia del Motor en W

$W_{caminadora}$: Velocidad en rpm

$$M_T = \frac{450 \text{ W}}{265,258 \text{ rpm}} = 16,2 \text{ Nm}$$

Para determinar el diámetro mínimo del eje para cargas combinadas se utiliza la teoría de la energía de distorsión expresada como:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi S_y} \times \sqrt{M_T^2 + \frac{3Mf^2}{4}}} \quad (44)$$

Donde:

$S_y = 220 \text{ [MPa]}$ Esfuerzo de fluencia del material.

Remplazando en la ecuación se obtiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi \times 220 \text{ MPa}} \times \sqrt{(16,2 \text{ Nm})^2 + \frac{3}{4} (24,545 \text{ Nm})^2}}$$

$$D = 10,737 \text{ mm}$$

El eje de la polea motriz de la caminadora reusada para la construcción del vehículo cuenta con un eje de 12 mm por lo que es apto para la aplicación a la que va a ser sometido.

4.4.3. Contra Tambor

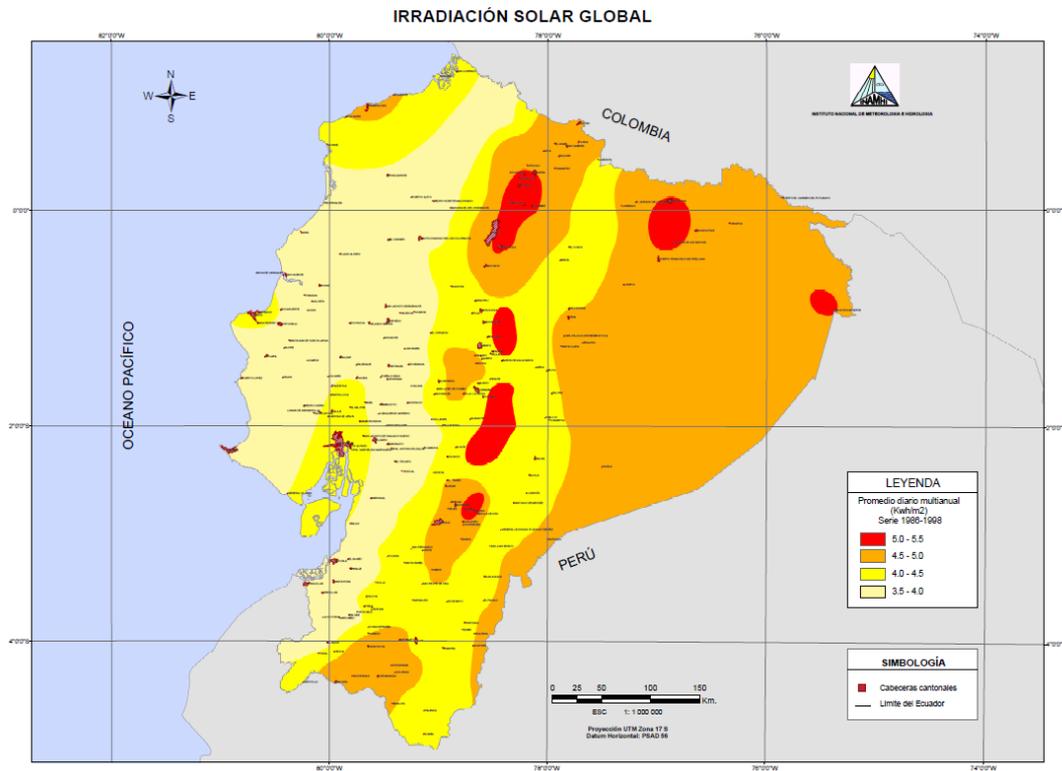
El contra tambor es un elemento el cual está sometido solamente a flexión, esto se debe a que no es un eje impulsor por lo tanto no se le transmite un par de fuerzas. El peso del contra tambor en este caso en particular es aproximadamente 10 veces menor que la polea motriz y al estar sometido a esfuerzos menores, el eje de 12 mm del contra tambor reutilizado de la caminadora estática cubre las solicitudes a las que está sometido.

4.5. Diseño del Sistema Fotovoltaico

El sistema fotovoltaico busca alimentar únicamente consumos de corriente continua, que para este caso particular corresponde al motor. Los paneles generan corriente continua estabilizada por el regulador a una tensión similar a la de consumo.

Se debe caracterizar el recurso energético en el lugar donde va a circular el vehículo. Para esto se utiliza las horas de sol pico o HSP [horas], definida como el número de horas que se dispone de una irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 , es decir, un HPS equivale a 1 kWh/m^2 (SunEdison, 2014).

De acuerdo al mapa de Irradiación Solar Global del Ecuador, Quito presenta un promedio diario multianual entre $4,5 - 5,5 \text{ kWh/m}^2$, por lo que se estima un valor medio equivalente a 5 h. HSP



4.5.1. Baterías

Para la selección de baterías se requiere inicialmente la energía total que éstas van almacenar. Se analiza el consumo del motor puesto que su funcionamiento no siempre requiere ciclos prolongados de energía. Se observa que el vehículo demanda mayor energía para romper la inercia al momento del arranque, en tanto que el consumo disminuye a medida que se mueve el prototipo, dependiendo las condiciones del terreno.

La duración que pretende el vehículo es de una hora continua para lo cual la energía diaria total (E_t) está dada por el consumo del motor multiplicado por el tiempo de funcionamiento, teniendo la energía requerida de 450Wh.

A la energía diaria total a almacenar, se debe tomar en cuenta varios factores que reducen la capacidad de los acumuladores, por lo cual el rendimiento global (R) de las baterías se expresa como:

$$R = (1 - k_B - k_V) \left(1 - k_A \times \frac{N_{\text{días}}}{PD} \right) \quad (45)$$

Donde:

kA: 0,5 % para temperaturas moderadas, entonces kA=0,005.

kB: Rendimiento del 95 % para baterías nuevas kB=0,05.

kV: coeficiente de pérdidas varias del sistema. kV=0,15

PD = 0,8

N_{días}: Autonomía que soporta el acumulador. N=1

$$R = (1 - 0,05 - 0,15) \left(1 - 0,005 \times \frac{1}{0,8} \right) = 0,795$$

En tanto que, la energía que se requiere acumular para el funcionamiento del sistema está dada por:

$$E = \frac{Et}{R} \quad (46)$$

$$E = \frac{450 \text{ Wh}}{0,795} = 566,038 \text{ Wh}$$

La capacidad útil de las baterías corresponde a toda la energía que el sistema va a utilizar. Viene dado en amperios hora (Ah), por lo que se divide para el voltaje nominal con el cual opera el sistema.

$$Cu = \frac{E \times N}{Vna} \quad (47)$$

Donde:

Cu: capacidad útil [Ah]

E: Energía diaria de los acumuladores Wh

Vna: Voltaje nominal del sistema V

$$Cu = \frac{566,038 [Wh] * 1}{24V} = 23,585 Ah$$

Es recomendable no descargar por completo las baterías, pues esto mejora la vida útil dependiendo de la temperatura de donde opere. Para ello se calcula la capacidad total de los acumuladores [Ah], incrementando la profundidad de descarga y un factor de corrección de temperatura.

$$C = \frac{Cu}{PD \times kT} \quad (48)$$

Donde:

C: capacidad total [Ah]

kT: Factor de corrección por temperatura. $kT = 1 - \left(\frac{\Delta T}{160}\right)$; ΔT diferencia de temperatura nominal (20°C) y mínima temperatura de trabajo.

$$C = \frac{23,585 Ah}{0,8 \left[1 - \left(\frac{20 - 9,3}{160}\right)\right]} = 31,594 Ah$$

La capacidad total varía dependiendo del ciclo de trabajo en el que se conduce el vehículo. Se toma en cuenta cinco puntos de referencia para calcular y hallar un valor promedio de la capacidad total que requiere el acumulador. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 25.

Tabla 25.

Capacidad total de la batería según su ciclo de trabajo

| Ciclo de trabajo | Energía baterías [Wh] | Capacidad total [Ah] |
|------------------|-----------------------|----------------------|
| 0 % | 0 | 0 |
| 25 % | 141,509 | 7,898 |
| 50 % | 283,019 | 15,797 |
| 75 % | 424,528 | 23,695 |
| 100 % | 566,038 | 31,594 |
| Promedio | 283,019 | 15,797 |

De acuerdo a la disponibilidad de baterías en el mercado, se selecciona una batería recargable de plomo de 17 Ah 12V, siendo el valor más próximo para la capacidad total promedio calculada.

Para cubrir la necesidad de tensión nominal del sistema de 24 V se realiza una configuración en serie de un total de dos baterías, satisfaciendo el requerimiento de acumuladores para el vehículo.

4.5.2. Paneles Fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos están diseñados para cumplir los siguientes objetivos:

1. Mantener la carga de los acumuladores en forma continua.
2. Aportar energía adicional en para recargar las baterías.

De acuerdo a las limitaciones físicas del vehículo, se intenta varias configuraciones resultando la más óptima la siguiente:

Dimensión panel: 510x360x20 mm

Tipo: Policristalino

Potencia: 25 W

Voltaje máx. Voc: 25 V +/- 0,5 V

Voltaje MPP Vmpp: 17,5 V +/- 0,5 V

Corriente máx. Isc: 1,54 A +/- 0,1 A

Corriente MPP Impp: 1,43 A +/- 0,1 A

Configuración: 2 paneles 12V en serie

Eficiencia: 15,75 %

4.5.2.1. Energía Producida por el Conjunto de Paneles

El conjunto de paneles constituye un generador fotovoltaico de energía, por lo cual se evalúa el aporte que el sistema entrega:

$$E_G = P_{gen} \times HSP \times \eta_G \quad (49)$$

Donde:

E_G : Energía generada por el sistema fotovoltaico

P_{gen} : Potencia nominal de los paneles fotovoltaicos

η_G : Rendimiento de los paneles fotovoltaicos: $\eta_G = 15,75 \%$

HSP: Hora sol pico. 5 h

$$E_G = 50 \text{ W} \times 4,5 \text{ h} \times 15,75 \% = 39,375 \text{ Wh}$$

4.5.3. Tiempo de Carga de las Baterías

El tiempo estimado de carga de las baterías depende de la fuente que éstas obtengan la energía. Se puede recargar las baterías de 3 formas:

- Carga Directa (red eléctrica)
- Carga Solar
- Carga Híbrida (red eléctrica + panel solar)

En la tabla 26, se expresa el tiempo que toma recargar la batería según su fuente de carga. El acumulador elegido tiene una capacidad total de 17[Ah], por lo que el tiempo está en función a la capacidad que puede entregar la fuente a recargar.

Tabla 26.

Tiempos de Carga de las Baterías

| Carga de Batería | | | |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|
| Tipo de Carga | Potencia de carga | Capacidad de carga | Tiempo |
| Carga Directa | 43 Wh | 1,8 Ah | 9 h 27 min |
| Carga Solar | 39,36 Wh | 1,64 Ah | 10 h 22 min |
| Carga Híbrida | 82,56 Wh | 3,44 Ah | 4 h 57 min |

4.5.4. Regulador de Carga

Este dispositivo se encarga de controlar el estado de carga de las baterías, regulando la intensidad de entrada, evitando que se produzcan sobrecargas y sobre descargas en las baterías para alargar su vida útil.

Para seleccionar el regulador de carga adecuado se debe considerar la intensidad de entrada, así como de salida al regulador. Es decir, se debe analizar las corrientes de generación de los paneles fotovoltaicos y la corriente de salida que consume el sistema. Se recomienda seleccionar un regulador que supere del 15-25 % la mayor corriente de cortocircuito que se produzca.

Se calcula la intensidad de entrada que puede producirse en los paneles fotovoltaicos.

$$I_{e_{reg}} = I_{sc_e} \times kS \quad (50)$$

Donde:

$I_{e_{reg}}$: intensidad de entrada que debe soportar el regulador A

I_{sc_e} : intensidad de cortocircuito del panel A

kS : coeficiente de seguridad. $kS=1,25$

$$I_{e_{reg}} = 1,54 A \times 1,25 = 1,925 A$$

Para determinar la intensidad de salida que soporta el regulador, se toma como referencia el consumo del sistema.

$$I_{s_{reg}} = \frac{P_{cc}}{V_{na}} \times kS \quad (51)$$

Donde:

$I_{s_{reg}}$: intensidad de salida que debe soportar el regulador A

P_{cc} : Potencia de consumo en corriente continua W

V_{na} : tensión nominal del sistema V

$$I_{S_{reg}} = \frac{450 \text{ W}}{24 \text{ V}} \times 1,25 = 23,438 \text{ A}$$

En base a la mayor corriente calculada, se elige un regulador de carga de 30 A teniendo en cuenta que el sistema trabaja a 24 V por lo que el regulador debe trabajar en este rango.

4.5.5. Conductores y Protecciones

Para el dimensionamiento de los conductores se toma en cuenta dos parámetros fundamentales a saber: capacidad de conducción y caída de voltaje. En cuanto al escogitamiento de los conductores, éstos se han seleccionado de acuerdo a la corriente que deben transportar en condiciones de máxima potencia y se calcula caídas de voltaje cuidando de que en ningún caso se sobrepase el límite admisible del 3,5 % (SunEdison, 2014).

Para el cálculo de la sección del conductor en corriente continua se aplica el criterio de caída de tensión en función de la intensidad, expresada mediante la siguiente ecuación:

$$CT = \frac{2L \times R_L \times I}{1000} \quad (52)$$

Donde:

CT: Caída de tensión V

L: longitud del conductor m

R_L: Resistencia en corriente continua. 8,57 Ω/km, (SunEdison, 2014).

I: Corriente que circula por el conductor A

$$CT = \frac{2(2 \text{ m}) \times 8,57 \frac{\Omega}{\text{km}} * 18,75 \text{ A}}{1000} = 0,642 \text{ V}$$

Expresado en porcentaje de caída de tensión:

$$\%CT = \frac{100 \times CT}{V_{na}} \quad (53)$$

$$\%CT = \frac{100 \times 0,642[V]}{24[V]} = 2,675 \%$$

La sección mínima requerida se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$S_{min} = \frac{K \times I \times L}{\delta \times CT} \quad (54)$$

Donde:

S_{min} : sección mínima del conductor para el circuito mm^2

K: coeficiente que depende del tipo de alimentación. K=2 instalación en corriente continua.

I: intensidad a considerar en el tramo A

L: longitud de la línea m

δ : conductividad del cable. Cu $\delta=56 \text{ m}/\Omega \times mm^2$, Al $\delta=26 \text{ m}/\Omega \times mm^2$

(SunEdison, 2014).

CT: caída de tensión máxima admitida hasta 3,5 %

$$S_{min} = \frac{2 \times 18,75 \text{ A} \times 2 \text{ m}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \times mm^2} \times 0,642 \text{ V}} = 2,086 \text{ mm}^2$$

Tabla 27.**Capacidad total de la batería según su ciclo de trabajo**

| CALIBRE AWG ó MCM | SECCION mm ² | FORMACION No. de hilos por diámetro mm. | ESPESOR AISLAMIENTO mm. | DIAMETRO EXTERIOR mm. | PESO TOTAL Kg/Km | CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp. | TIPO CABLE | ALTERNAT. DE EMBALAJE. |
|-------------------|-------------------------|---|-------------------------|-----------------------|------------------|---|------------|------------------------|
| 24 | 0,205 | 7 x 0,20 | 0,51 | 1,63 | 5,14 | --- | FXT | A,E |
| 22 | 0,324 | 11 x 0,20 | 0,51 | 1,78 | 7,62 | --- | FXT | A,E |
| 20 | 0,519 | 17 x 0,20 | 0,76 | 2,47 | 9,98 | 5 | FXT | A,E |
| 18 | 0,823 | 12 x 0,30 | 0,76 | 2,72 | 13,43 | 7 | TFF | A,E |
| 16 | 1,310 | 19 x 0,30 | 0,76 | 3,02 | 18,93 | 10 | TFF | A,B |
| 14 | 2,08 | 30 x 0,30 | 1,14 | 4,17 | 32,30 | 25 | TW-F | A,B |
| 12 | 3,31 | 25 x 0,41 | 1,14 | 4,67 | 46,50 | 30 | TW-F | A,C |
| 10 | 5,26 | 40 x 0,41 | 1,14 | 5,26 | 67,90 | 40 | TW-F | A,D |

Fuente: (ELECTROCABLES, 2013)

Con la sección mínima del conductor calculada, se selecciona la sección comercial de acuerdo al catálogo de conductores flexibles de cobre de ELECTROCABLES, siendo el conductor un calibre 14 AWG que soporta hasta 25 A.

Para el resguardo del sistema se elige un elemento de protección entre el tramo del regulador y las baterías. Se selecciona un fusible rápido de 25 A, valor normalizado inmediatamente superior al valor máximo de corriente establecido en el apartado 4.5.4.

4.6. Diseño del Sistema de Dirección

El mecanismo que utiliza este sistema se basa en soportes de eje de cartucho, los cuales se utilizan en las bicicletas como eje pedalier, soldados en el tren delantero en cada rueda.

El giro lo realiza el timón de dirección, el cual está conectado a través del eje de dirección a uno de los soportes de la rueda mediante un brazo. En los extremos del brazo se sueldan pernos M10x1,25, los cuales van roscados a rótulas de las mismas especificaciones, ya que las rótulas se sujetan a pletinas colocadas en diferente ángulo tanto en el eje de dirección como en el soporte de la rueda.

Para conectar las ruedas entre sí, se utiliza un brazo similar al anterior a diferencia que éste es seccionado en dos partes y unidas mediante tuerca – tornillo M10x1,25 que permite regular la convergencia de las llantas, en tanto que los extremos de la barra van sujetos a las pletinas de los soportes.

4.6.1. Radio de Giro

Corresponde a la circunferencia que describe las ruedas delanteras del vehículo al momento de girar. La trayectoria a seguir de las ruedas no es la misma ya que cada una tiene un radio de curvatura diferente debido a que si la orientación fuera la misma, las ruedas girarían perpendicular al eje de dirección, arrastrando a una de ellas.

Para que esto no ocurra, se emplea el principio de Ackermann que establece que la prolongación de las pletinas en los soportes de dirección deben coincidir con el centro de rotación del eje trasero, figura 62, de tal manera que cuando el vehículo avanza en línea recta, coinciden a un mismo eje y al realizar un giro la rueda interior gira más que la del exterior para no ser arrastrada.

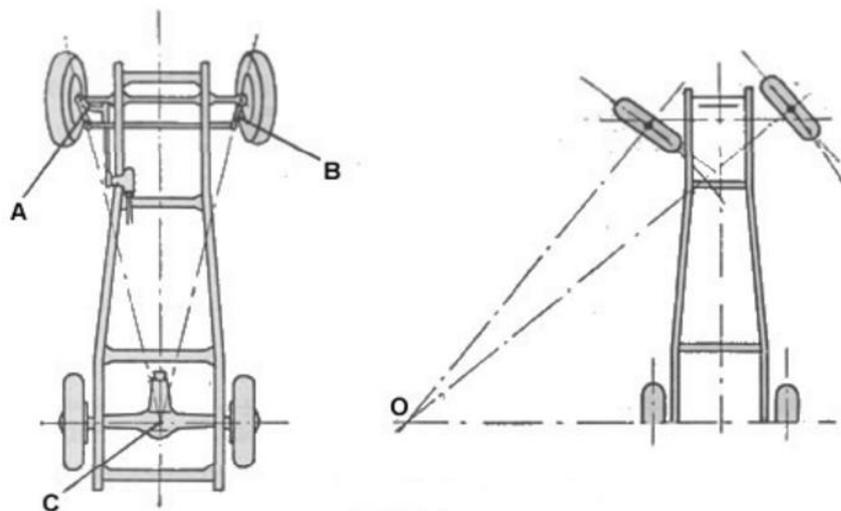


Figura 62. Geometría de la Dirección

Fuente: (Vazquez, 2013)

El radio de giro mínimo del vehículo está con relación a la batalla o distancia entre ejes:

$$R_{giro} = 2b \quad (55)$$

Donde:

R_{giro} : Radio de giro

b: Batalla

$$R = 2(1,535 \text{ m}) = 3,07 \text{ m}$$

De acuerdo a normas internacionales reconocidas, los radios mínimos de curvatura en bordillos de aceras para vías locales es de 5 m, (La Hora, 2013), lugar por donde circula el prototipo, por lo cual cumple con el requerimiento.

El ángulo de viraje para el radio de giro determinado, se obtiene mediante la función trigonométrica de los ángulos formados por las ruedas en función de la distancia entre ejes y el ancho de vía del vehículo figura 63.

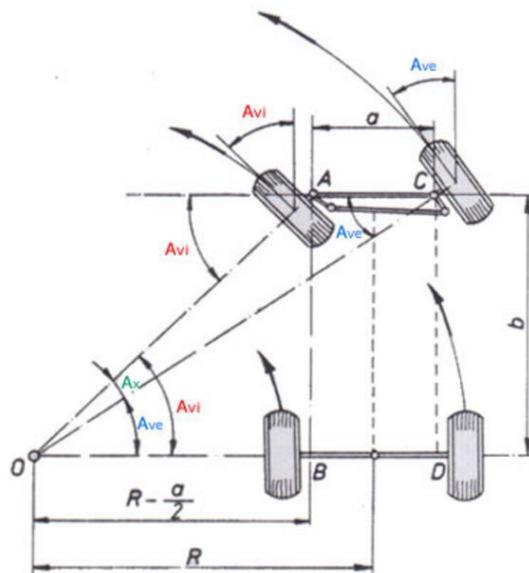


Figura 63. Ángulos de Viraje

Fuente: (MECÁNICA virtual, 2016)

$$tg(Avi) = \frac{2b}{4b - a} \quad (56)$$

$$tg(Ave) = \frac{2b}{4b + a} \quad (57)$$

Donde:

Avi: Ángulo de viraje rueda interna a la curva

Ave: Ángulo de viraje rueda externa a la curva

a: Ancho de vía del vehículo

$$tg(Avi) = \frac{2(1,535 \text{ m})}{4 \times 1,535 \text{ m} - 0,665 \text{ m}}$$

$$Avi = 29,28^\circ$$

$$tg(Ave) = \frac{2(1,557 \text{ m})}{4 \times 1,535 \text{ m} + 665 \text{ m}}$$

$$Ave = 24,28^\circ$$

En tanto que, los ángulos a los cuales se deben instalar las pletinas para cumplir con la geometría propuesta es de 12° aproximadamente como se muestra en la figura 64.

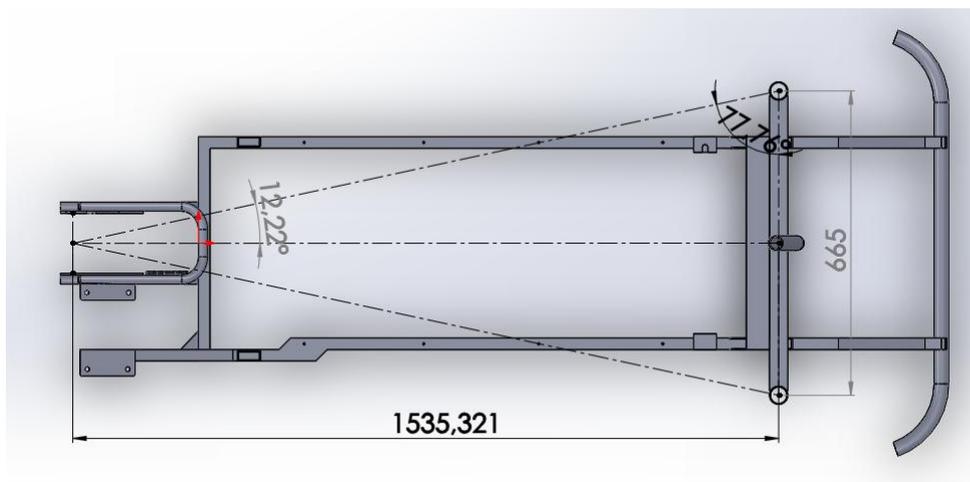


Figura 64. Ángulos de las Pletinas de los Soportes

En la figura 65, se especifica las longitudes de las pletinas, así como de los brazos de dirección que conecta entre los soportes de las ruedas y el eje de dirección al soporte.

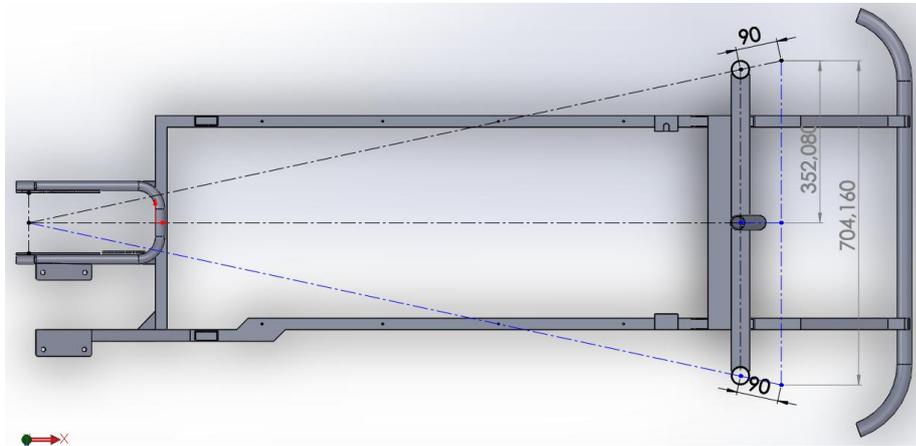


Figura 65. Longitudes de las Pletinas y Barras de Dirección

Capítulo 5

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

De acuerdo a lo establecido en los capítulos 3 y 4 de diseño, donde se especifica los diferentes sistemas que componen el prototipo, se procede en este capítulo a la fase de construcción y montaje de los elementos constitutivos del vehículo.

5.1. Diagramas de Procesos Constructivos

Debido a que ciertos elementos de los sistemas del vehículo requieren un proceso de construcción y montaje, es necesario detallar un diagrama de flujo en donde se especifica paso a paso el trabajo al cual deben ser sometidos.

Los planos de construcción y montaje tanto de elementos mecánicos como eléctricos se adjuntan en el Anexo A.

5.1.1. Sistema Estructural

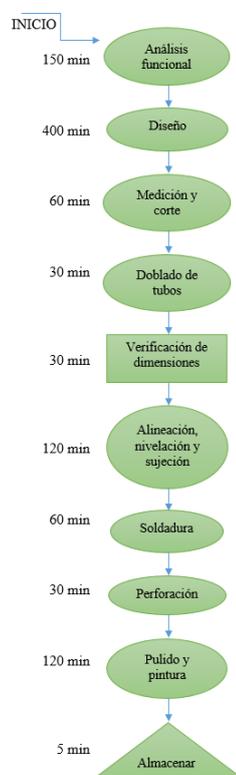


Figura 66. Diagrama de Flujo Estructural

Corresponde al bastidor del vehículo, además de los soportes para los ejes de la caminadora, freno y demás sistemas que soporta la estructura. En el siguiente diagrama de flujo se muestra la fabricación del chasis y soportes.

5.1.2. Sistema de Dirección

En este diagrama de flujo se detalla la fabricación del sistema de dirección, sus componentes y accesorios que integran este conjunto.

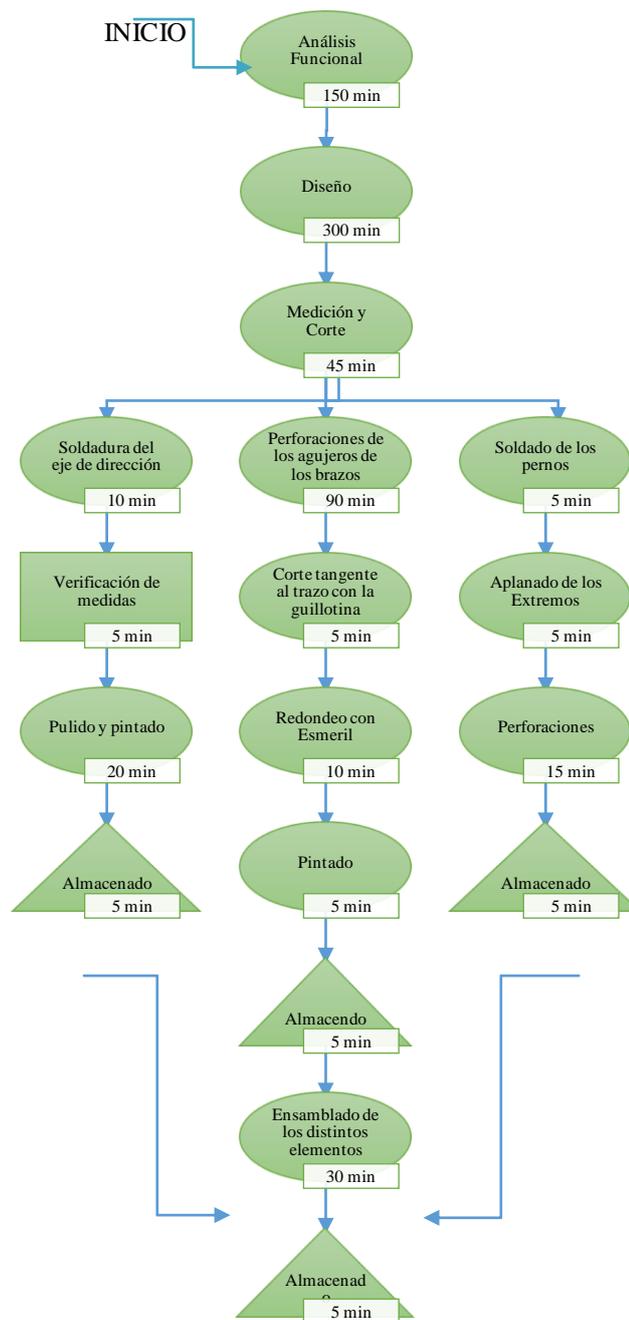


Figura 67. Diagrama de Flujo Sistema de Dirección

5.1.3. Sistema Caminadora

Se detalla en este diagrama la fabricación de los ejes de los tambores, la plataforma de carga y soportes anti vibratorios de la plataforma.

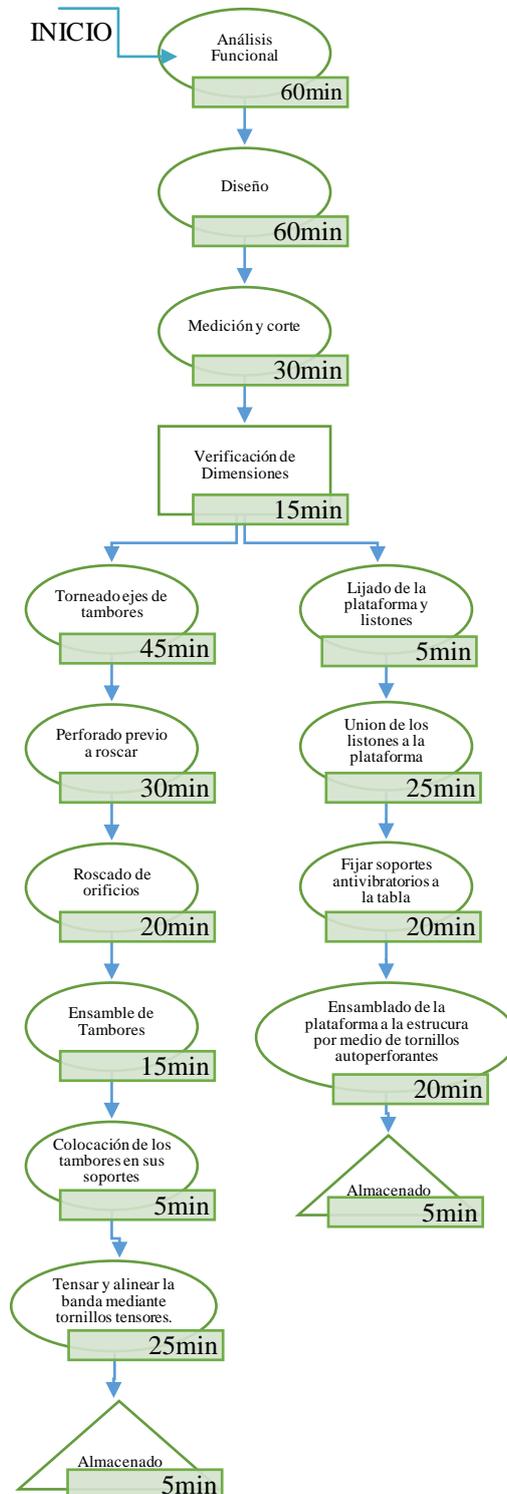


Figura 68. Diagrama de Flujo Sistema Caminadora

5.2. Construcción del Sistema Estructural

5.2.1. Medición y Corte

Según lo establecido en los planos, se realiza la medición y corte de los perfiles, placas y soportes requeridos para la construcción. Es importante considerar el espesor del disco de corte para esta operación con el fin de obtener las dimensiones requeridas.



Figura 69. Medición perfiles.

Para la parte delantera del chasis se tiene en cada extremo un corte curvo donde se aloja cada una de las camisas del eje de cartucho.



Figura 70. Corte curvo en la parte delantera del chasis.

El eje de dirección ingresa en un tubo soldado a la estructura cuyos extremos son torneados y refrentados para que encajen las pistas que albergan los rodamientos de dirección.

5.2.2. Doblado de Tubos

El doblado de tubos del soporte trasero de la llanta y parachoques se lo realiza con una dobladora manual, debido a que los ángulos que se manejan no requieren de mayor precisión.



Figura 71. Doblado manual de Tubo

5.2.3. Alineación, nivelación y sujeción de la estructura

Se utiliza alzas en cuatro puntos de la estructura para nivelarla. Posteriormente, mediante escuadras y nivel se une cada una de las partes con ayuda de prensas mecánicas que ayudan a su sujeción mientras se sueldan.



Figura 72. Alineación y Nivelación de la estructura

5.2.4. Soldadura

5.2.4.1. Estructura y Componentes

La soldadura del bastidor y componentes soldados del vehículo se realiza mediante el proceso de arco eléctrico con material de aporte SMAW (Shielded Metal Arc Welding) empleada en general para uniones de perfiles formados en frío tipo “cajón”. Se utiliza el sistema de codificación AWS para designar los electrodos a utilizar.

De acuerdo a la AWS, en el manual de perfiles ACESCO donde se presenta las aplicaciones y limitaciones para un electrodo, el electrodo seleccionado a utilizar es el E-6013, expuesta en la tabla 28.

Tabla 28.

Características Electrodo E-6013

| ELECTRODO CORRECTO PARA USO EN TRABAJOS EN ACERO DULCE | | | | | |
|--|---------------------|--|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| Tipo Hobart | No AWS y ASTM | Aplicación | Posición para Soldar | Polaridad corriente | Gama de medidas |
| 413 447A 13A | E-6013 | Para trabajo general de alta calidad y pocas salpicaduras. El tipo de uso más fácil por operadores inexpertos. Penetración suave. Escoria gruesa, buena deposición. El Hobart No 13A es para lámina. | Todas las posiciones hasta 3/16" | CA; CC polaridad directa o inversa | 1/16 – 5/16 pulg. |

Fuente: (ACESCO, 2012)

El tamaño del electrodo está asociado con el espesor más delgado de la placa a soldarse por lo cual se utiliza un diámetro de electrodo de 1/8 pulgada el cual tiene un rango de espesor de material aplicable de 1,5 mm a 2,5 mm. (ACESCO, 2012).

Las variables principales para el proceso SMAW se especifican en la tabla 29, las cuales determinan las características importantes del cordón como son: penetración, forma geométrica y características metalúrgicas, que garantizan la calidad de la soldadura. Los valores estipulados varían entre 5 y 15 % según el electrodo y máquina que se utilice.

Tabla 29.**Variables Principales Proceso SMAW**

| Electrodo | Diámetro del Electrodo (mm) | Corriente y Polaridad | Posición a soldar | Intensidad (A) | Voltaje (V) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|----------------|-------------|
| E-6013 | 3 | CA-CC-AP | P-V-SC-H | 105 | 22-25 |

Nomenclatura: CA: Corriente Alterna P: Plana V: Vertical
 CC: Corriente Continua H: Horizontal SC: Sobrecabeza
 AP: Ambas Polaridades

Fuente: (Ocaña, 2012)

**Figura 73. Unión de Bastidor y Componentes**

Una vez realizado el proceso de soldadura, en la figura 73, se aprecia el bastidor conjuntamente con los componentes que servirán de apoyo o sujeción para los demás sistemas que descansan sobre la estructura.

5.3. Construcción y Montaje del Sistema de Dirección

La construcción de este sistema lo componen los soportes de las ruedas delanteras, eje de dirección, brazos y las pletinas de dirección.

5.3.1. Soportes de las Ruedas Delanteras

De acuerdo a los planos de construcción se realiza el trazado y corte de las pletinas y el perfil. Se perforan los agujeros en las pletinas donde se sujeta el eje de cartucho así como en el perfil que soporta la llanta. Para el redondeo de las placas se realiza un corte con guillotina a 45° tangente al trazo para finalmente dar el acabado redondo mediante esmeril.

Se sujetan y alinean todos los componentes del soporte por medio de una prensa mecánica. Temporalmente se ensambla con el eje de cartucho para facilitar su alineación. Para finalmente soldar el soporte de acuerdo a los parámetros descritos en la tabla 29.



Figura 74. Soporte de Rueda Delantera

5.3.2. Eje de Dirección

Para la construcción del eje se utiliza dos componentes, una horquilla de bicicleta y una extensión de tubo que permita su alargamiento. Se corta el trinche en tres partes como se muestra en la figura 75, descartando la parte marcada con una

“X”. Se suelda la extensión de tubo entre las dos partes para finalmente pulir la soldadura.



Figura 75. Proceso de Construcción del Eje de Dirección

5.3.3. Pletinas

Se realiza el trazo y corte de acuerdo a las medidas establecidas en el plano. Los agujeros correspondientes al eje de cartucho y al pivote de la barra de acoplamiento son perforados con ayuda de un taladro de banco.

La pletina correspondiente al eje de dirección se suelda en ángulo recto en el extremo inferior.

El agujero para el tornillo de acero que une cada pletina con los soportes de las ruedas, se lo realiza con ambos miembros unidos con ayuda del eje de cartucho y una pinza de presión, dando al brazo la dirección del ángulo establecido y se procede a perforar. En la figura 76, se muestra la perforación de las pletinas.



Figura 76. Perforación de Brazo de la Rueda

5.3.4. Brazos de Dirección

Se realiza el corte del tubo circular según el Anexo A, obteniendo tres tramos de tubo de distintas longitudes. Para la sujeción previa a soldar de los pernos y tuerca se lo realiza utilizando pinzas de presión. Los pernos y tuercas son soldados bajo los parámetros establecidos en la tabla 29. Se presan los extremos no soldados para obtener una reducción de sección plana. Posteriormente se perforan los extremos presados por medio de un taladro de banco. El resultado de la fabricación se muestra en la figura 77.



Figura 77. Barras de Dirección

5.3.5. Montaje del Sistema de Dirección

El eje de dirección se acopla al tubo soldado de la estructura mediante las cazoletas de bicicleta.

Se fijan firmemente las ruedas a sus soportes. A cada uno de los soportes de las llantas se conecta una pletina sujeto por los pernos de los ejes de cartucho y por tornillos de acero en un ángulo determinado por el principio Ackermann calculado en el apartado 4.6.1. Estos brazos están conectados entre sí mediante un brazo de dirección fijados por medio de pernos y arandelas de acero.

Al soporte de la rueda izquierda se fija otra pletina a 90° , la cual se conecta por medio de rótulas a la pletina soldada del eje de dirección. Finalmente se sujeta el manubrio a través de una potencia tipo cuña al eje de dirección. Todo el sistema ensamblado se muestra en la figura 78.



Figura 78. Sistema de Dirección Ensamblado

5.4. Construcción y Montaje del Sistema Caminadora

Los componentes que se fabrican de este sistema son adaptaciones de componentes obtenidos de una caminadora de segundo uso. Están constituidos por los ejes de los tambores, la plataforma de carga y soportes anti vibratorios de la plataforma.

5.4.1. Ejes de los tambores

Se construye un nuevo eje para uno de los tambores de la caminadora siguiendo las hoja de proceso situada en el Anexo C, con el fin de que se adapte a las dimensiones del vehículo.

A continuación en la figura 79, se observa el proceso de roscado mediante un machuelo.



Figura 79. Roscado Eje de Tambores

5.4.2. Plataforma de Carga

El corte de los elementos de madera de la plataforma se lo realiza en una sierra circular de mesa según el Anexo A. Para la unión de los listones a la plancha de madera se unta adhesivo vinílico en las superficies de contacto. Para una mejor adhesión se sujeta con prensas mecánicas para posteriormente reforzar la unión con clavos.

5.4.3. Soportes Anti vibratorios

Son cauchos extraídos de un neumático reciclado, cortados en una sección uniforme rectangular de 15 mm. Los cortes se realizan mediante una sierra manual utilizando agua-jabón como lubricante. Se utiliza cemento de contacto para fijarlo a la plataforma de carga.

5.4.4. Montaje del Sistema Caminadora

Se ensamblan los tambores de la caminadora, fijando los rodamientos por medio de una prensa hidráulica manual. La banda es colocada entre los tambores y éstos se sujetan a sus respectivos soportes.

La plataforma va ubicada en la estructura de acuerdo al plano de ensamble, utilizando escuadras para su correcta alineación. Por medio de prensas mecánicas se sujeta temporalmente a la estructura para posteriormente fijarla con tornillos auto perforantes.

Finalmente, la banda se tensa y alinea con ayuda de los tornillos tensores ubicados en los soportes. El sistema ensamblado se aprecia en la figura 80.



Figura 80. Sistema Caminadora Ensamblado

5.5. Montaje del Sistema de Frenos

El freno mecánico se fija a la placa del soporte de la rueda trasera mediante pernos. El freno permite una variación de posición de tal manera que las zapatas y el disco de freno giran con cierta libertad.

El accionamiento del freno lo lleva a cabo un cable de acero recubierto por una funda plástica de protección. Se acoplan topes en los extremos de la funda tanto en la palanca de mando, así como en el freno mecánico. Se debe sujetar un extremo del cable y pretensar en el muelle del freno hasta fijar ambos puntos. La tensión de frenado se regula por medio de los tornillos tensores ubicados en la manigueta y entrada al muelle de freno.

5.6. Montaje Sistema Fotovoltaico

Los paneles fotovoltaicos se sujetan a una estructura destinada para este sistema, prevista de un tubo con abrazaderas que se acoplan a la estructura y a su vez a los paneles, fijándose mediante pernos y tuercas.

El controlador de carga descansa sobre dos pletinas ubicadas al alcance de la vista del usuario. Se realiza las conexiones del sistema fotovoltaico al controlador de carga de acuerdo al Anexo B.



Figura 81. Sistema Fotovoltaico Ensamblado

5.7. Montaje Sistema de Potencia

La placa base donde se sujeta el motor forma parte de la estructura misma del vehículo. La sujeción del motor se lo realiza con pernos provistos por el fabricante. El variador de velocidad, que incluye el kit del motor, se fija a manera de puño en el manubrio de dirección mediante un tornillo Allen. Se realiza las conexiones del sistema de potencia de acuerdo al manual suministrado por el fabricante.

5.8. Construcción y Montaje del Sistema de Transmisión

Para que el vehículo cumpla con la función dual de transportar al usuario y a la vez éste se ejercite sobre la banda caminadora, se requiere de dos movimientos opuestos rotatorios entregados por parte del sistema de potencia.

5.8.1. Sistema de Transmisión del Vehículo

El movimiento se transmite mediante un sistema de cadena y piñones de forma directa desde el motor hacia la rueda del vehículo. El motor está provisto de un piñón conductor, en tanto que la rueda dispone de un eje roscado donde se acopla el piñón conducido. Para este caso, el sentido de movimiento del piñón del motor es el mismo que del vehículo.

5.8.2. Sistema de Transmisión de la Caminadora

En el sistema caminadora se precisa un giro rotatorio opuesto al movimiento del vehículo, siendo necesario instalar el eje de contragiro según lo establecido en el apartado 4.3.4, para producir el giro opuesto deseado.

El contragiro requerido está compuesto de un eje, chumacera, acoples piñón – eje, y una cadena que transmite la potencia hacia la banda caminadora. Los acoples piñón – eje se fabrican de acuerdo a la hoja de proceso en el Anexo C.

Para el montaje de este sistema, se sujetan las chumaceras mediante pernos en el lugar previsto de la estructura. El eje de contragiro se ubica en la parte interior de los cojinetes con sus respectivos acoples y piñones. Se suelda el acople a la placa del

tambor que da movimiento a la caminadora, mientras que los acoples piñón – eje del contragiro presentan tornillos prisioneros que ayudaran a la alineación de la cadena.

La guía de la cadena consta de un piñón de las mismas características sujetado a una pletina situada inmediatamente antes del punto de fricción para darle un mayor ángulo y evitar el rozamiento. El sistema de transmisión terminado se observa en la figura 82.



Figura 82. Sistema Fotovoltaico Ensamblado

5.9. Pintura

El proceso de pintura tiene como finalidad prevenir la corrosión, revelar defectos superficiales y mejorar la apariencia. Previo al tratamiento de pintura, se desbasta las uniones de soldadura con un disco de pulido para tener una superficie homogénea. Con la ayuda de un diluyente se limpia toda la zona donde se va a pintar.

Para obtener un mejor resultado, el vehículo y sus accesorios en el proceso de pintura presenta tres capas distintas:

- **WASH PRIMER:** Es un acondicionador que mejora la adherencia previo al tratamiento anticorrosivo que recibe. En la figura 83, se observa la imprimación con wash primer.



Figura 83. Imprimación Estructura con WASH PRIMER

- Pintura anticorrosiva: Conocida también como pintura base que ayuda a evitar la corrosión y develar imperfecciones en la superficie a pintar. El tono de esta pintura por lo general es de color gris.



Figura 84. Pintura Base Estructura

- **Pintura Base Solvente:** Es la última capa de pintura donde predomina el color deseado. Se utiliza un tipo de esmalte sintético mezclado con un solvente orgánico (thinner) para dar el terminado final. Se observa la estructura terminada en la figura 85.



Figura 85. Pintura Final Estructura

Capítulo 6

PROTOCOLO DE PRUEBAS

Una vez concluida la fase de construcción y montaje se procede a la etapa de pruebas de campo. En ésta se evalúa el desempeño, seguridad y cumplimiento de las especificaciones técnicas del prototipo para garantizar su uso y funcionamiento.

Debido a que el prototipo fue diseñado para un uso en terrenos planos sin elevaciones considerables, el sitio elegido para realizar las pruebas es la parroquia de San Antonio de Pichincha. Se realizaron las pruebas alrededor de 4 manzanas ubicadas con una distancia de aproximadamente 900 m como se muestra en la figura 86, con un sujeto de prueba de 75 kg.

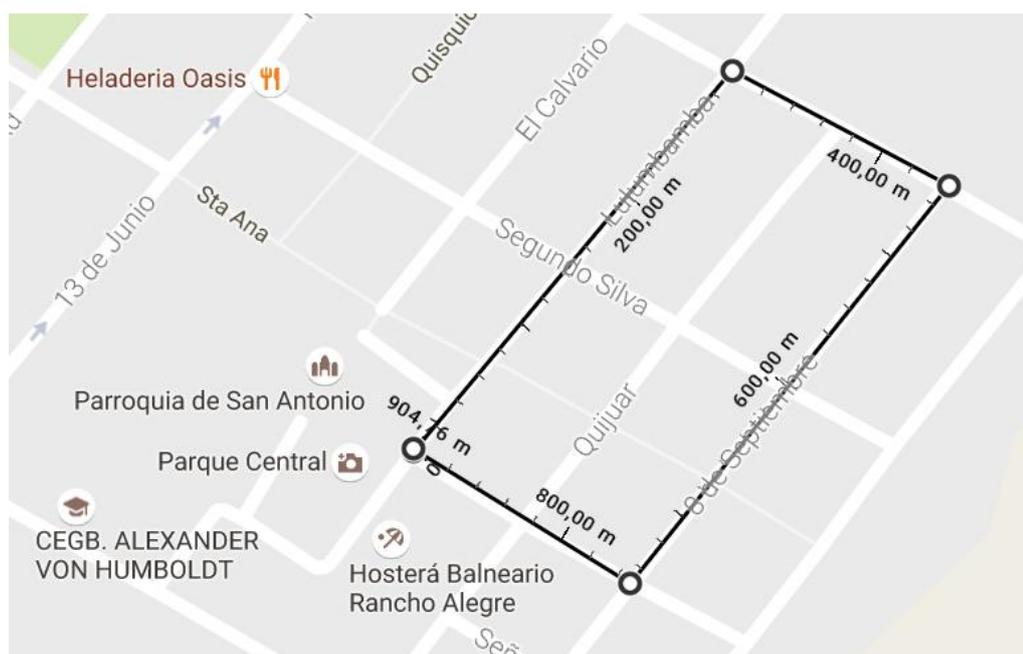


Figura 86. Ubicación Geográfica Pruebas Prototipo

Fuente: (Google Maps, 2015)

6.1. Pruebas de Funcionamiento

Para las pruebas de funcionamiento, se deben considerar parámetros tales que el manejo del vehículo sea confortable, agradable y seguro para el usuario, incluyendo ruidos, vibraciones, estabilidad, maniobrabilidad, entre otras.

Tabla 30.

Resultados Prueba de Funcionamiento

| VEHÍCULO CAMINADOR PROTOTIPO ANTIESTRES | | | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|-----|-------------------------|--------------------------------|
| Responsables: Santiago Barba/Santiago Chiluiza | | Fecha: 2016-08-22 | | Duración: 1 hora | |
| Accionamientos | Estado de Funcionamiento | | | | Observaciones |
| | Mal | Reg | Bue | Exc | |
| Arranque | | | | X | Amperaje elevado en pendientes |
| Vibración al frenar | | | X | | |
| Tambaleo de la estructura. | | | X | | |
| Estabilidad | | | | X | |
| Comportamiento en baches y rompe velocidades. | | X | | | Tambaleo en baches |
| Vibraciones | | | X | | |
| Ruidos | | | X | | |
| Maniobrabilidad | | | X | | Precaución curvas en “U” |
| Sistema Eléctrico | | | | X | |
| Sistema Fotovoltaico | | X | | | Carga mínima |
| Sistema de Transmisión | | | X | | |
| Sistema Caminadora | | | | X | |
| Nivel de Felicidad por parte del usuario | | | | X | |



Figura 87. Pruebas de Funcionamiento

Una vez finalizadas las pruebas se pone en manifiesto el buen funcionamiento del prototipo garantizando la seguridad del usuario.

6.1.1. Puesta en Marcha del Motor

Debido a la disponibilidad de motores eléctricos DC en el mercado que no cuentan con torques elevados de arranque. Para prevenir sobrecarga en el motor es recomendable dar un impulso generado por el usuario previo a la puesta en marcha del motor, especialmente en pendientes mayores al 3 %.

6.1.2. Vibraciones y Ruidos

El sistema de dirección del vehículo ocasiona un ruido leve al momento en que se encuentra en movimiento. Para evitar vibraciones se debe ajustar las manzanas, conjuntamente con los soportes de las ruedas. El motor eléctrico también produce ruido que es normal de su funcionamiento.

6.1.3. Sistema de Frenado

El sistema de frenado funciona correctamente, al accionar el mando para el freno de la rueda trasera, se desconecta el motor, la caminadora se detiene y el vehículo se para. A su vez, el mando para el freno de la caminadora simplemente desconecta el motor deteniendo la caminadora pero el vehículo sigue en movimiento debido a la inercia.

6.1.4. Maniobrabilidad y Estabilidad

La estabilidad del vehículo es buena debido a sus tres llantas de apoyo por lo cual no depende del equilibrio de la persona, sin embargo, para un giro en “U” se lo debe realizar en un espacio amplio puesto que el radio de giro es limitado.

La maniobrabilidad del prototipo es aceptable, no requiere de mayor destreza por parte del usuario pues la conducción se asemeja al de una bicicleta sin necesidad de equilibrar el vehículo.

6.1.5. Prueba de Transmisión de Potencia

Para el arranque del motor se recomienda un impulso por parte de la persona para evitar picos altos de amperaje, en especial si se precisa de una pendiente. Una vez que el vehículo se encuentra en marcha, su funcionamiento no presenta problemas en el circuito de prueba.

6.1.6. Prueba de Velocidad

La relación de velocidades entre el motor, la caminadora y la rueda (velocidad del vehículo) son aproximadamente las velocidades establecidas como parámetros de diseño por lo cual se comprueba que el sistema de transmisión funciona de forma adecuada.

Tabla 31.

Velocidades Máximas De Los Sistemas Caminadora Y Vehículo

| Sistema | Velocidad Máxima |
|------------|------------------|
| Caminadora | 2,8 km/h |
| Vehículo | 15, 2 km/h |

En la tabla 31, se muestran las velocidades máximas alcanzadas durante la prueba tanto para la caminadora como para el vehículo, datos que resultaron del promedio de cinco mediciones realizadas. El control de velocidad responde satisfactoriamente al requerimiento del usuario.

6.2. Pruebas de Carga

Existen tres formas de cargar los acumuladores como se vio en el apartado 4.5.3. Durante la realización de estas pruebas el vehículo no se encuentra en funcionamiento.

6.2.1. Carga Directa

En la carga directa se utiliza la energía de la red conectando las baterías por medio de un cargador de 24 V 1,8 A. Los paneles fotovoltaicos no reciben luz solar durante esta prueba. El tiempo de carga se presenta en la tabla 32.

6.2.2. Carga Híbrida

En la carga híbrida se utiliza la energía de la red conectando las baterías por medio de un cargador. A su vez, los paneles fotovoltaicos reciben luz solar aportando al sistema de carga. El tiempo de carga se presenta en la tabla 32.

6.2.3. Carga Solar

La carga solar se realiza únicamente con el aporte de energía del sistema fotovoltaico a las baterías. El tiempo de carga se presenta en la tabla 32.

Tabla 32.

Tiempo De Carga Según El Tipo De Carga

| TIPO DE CARGA | TIEMPO DE CARGA |
|----------------------|------------------------|
| Carga Directa | 9h 45min |
| Carga Híbrida | 5h 11 min |
| Carga Solar | 14h * |

(*) La carga se realizó en 3 días con el vehículo expuesto al sol durante 5 horas a partir de las 11:00 a 15:00.

6.3. Pruebas de Autonomía

Se realiza con el fin de determinar el tiempo máximo de uso, la distancia recorrida y la velocidad promedio que alcanza el prototipo. Se divide en dos etapas: la primera sin el sistema fotovoltaico de aporte y la segunda con el sistema fotovoltaico. Las pruebas se realizan en las condiciones descritas al inicio del capítulo 6.

6.3.1. Autonomía Sin el Sistema Fotovoltaico

Una parte del circuito de prueba presenta una pendiente aproximada del 4 %. Para la prueba no se necesita de un uso continuo del motor pues al llegar a una velocidad deseada se puede continuar con la inercia del propio vehículo al igual que en bajadas, dependiendo de la forma de conducción. En la tabla 33, se muestran los resultados de la prueba de autonomía.

6.3.2. Autonomía Con el Sistema Fotovoltaico

Las condiciones de conducción son similares al apartado 6.3.1, con la diferencia que el sistema fotovoltaico aporta continuamente energía a las baterías lo que prolonga la autonomía del vehículo como se muestra en la tabla 33.

Tabla 33.

Comparación de Resultados en las Pruebas de Autonomía

| PARÁMETRO | Tipo de Prueba | |
|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | Autonomía Sin el Sistema Fotovoltaico | Autonomía Con el Sistema Fotovoltaico |
| Velocidad Promedio | 8,2 km/h | 7,9 km/h |
| Distancia Recorrida | 11,8 km aprox. | 12,1 km |
| Tiempo de Funcionamiento | 52 min | 56 min |

Los datos expuestos en la tabla 33, son el resultado promedio de cinco mediciones realizadas en condiciones similares de manejo.

Capítulo 7

ESTUDIO ECONÓMICO

El estudio económico se basa en el coste total de materiales, componentes, procesos de manufactura y mano de obra solventados en la construcción del prototipo. Los valores de los costos están en referencia a las facturas emitidas por los proveedores, renta de máquina – herramienta y mano de obra.

Para la construcción del vehículo se procuró seleccionar la mejor oferta teniendo en cuenta la relación costo – beneficio.

7.1. Análisis de Costos

Para un mejor análisis se divide los costos de la siguiente manera:

- Costos de materiales.
- Costo de componentes del Sistema de Dirección.
- Costo de componentes del Sistema Caminadora.
- Costo de componentes del Sistema de Frenos.
- Costo de componentes del Sistema Fotovoltaico.
- Costo de componentes del Sistema de Potencia.
- Costo de componentes del Sistema de Transmisión.

Los rubros mencionados influyen directamente en el costo final del prototipo destinados únicamente al desarrollo del proyecto.

7.1.1. Costo de Materiales

Corresponde al costo de todos los elementos adquiridos con el objetivo de someterlos a un proceso de manufactura transformándolos en una pieza constitutiva del prototipo.

Tabla 34.**Costo de Materiales**

| COSTO DE MATERIALES | | | | | |
|-------------------------------------|---|---------------|-----------------|-------------------|----------------|
| <i>PROYECTO: VEHÍCULO PROTOTIPO</i> | | | | | |
| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | P/UNITARIO | P/TOTAL |
| 1 | Tubo Estructural Rectangular ASTM A-500 50x25x2 mm x 6m | c/u | 1 | 12,90 | 12,90 |
| 2 | Tubo Estructural Cuadrado ASTM A-500 40x2 mm x 3mts | c/u | 1 | 3,74 | 3,74 |
| 3 | Tubo Estructural Redondo ASTM A-500 3/4"x1,50 mm x 3m | c/u | 1 | 4,00 | 4,00 |
| 4 | Canal "U" ASTM A-500 50x25x2 mm x 3m | c/u | 1 | 5,00 | 5,00 |
| 5 | Eje de Transmisión 1/2" x 1 m | m | 1 | 2,00 | 2,00 |
| 6 | Trinche de bicicleta 20" | c/u | 1 | 10,00 | 10,00 |
| 7 | Misceláneos | c/u | 1 | 20,00 | 20,00 |
| TOTAL MATERIALES: | | | | | 57,64 |

7.1.2. Costo de Componentes de Sistema de Dirección**Tabla 35.****Costo de Materiales Sistema de Dirección**

| COSTO DE SISTEMA DE DIRECCIÓN | | | | | |
|--------------------------------------|--|---------------|-----------------|-------------------|----------------|
| <i>PROYECTO: VEHÍCULO PROTOTIPO</i> | | | | | |
| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | P/UNITARIO | P/TOTAL |
| 1 | Camisa del Eje de Cartucho | c/u | 2 | 2,50 | 5,00 |
| 2 | Eje de Cartucho | c/u | 2 | 3,00 | 6,00 |
| 3 | Juego de Rodamientos Para Eje de Cartucho | c/u | 2 | 3,00 | 6,00 |
| 4 | Cazoletas de Dirección | c/u | 1 | 3,00 | 3,00 |
| 5 | Ruedas Delantera 20" | c/u | 2 | 25,00 | 50,00 |
| 6 | Rótulas M10x1,25 | c/u | 2 | 22,64 | 45,28 |
| 7 | Potencia de Dirección | c/u | 1 | 3,00 | 3,00 |
| 8 | Misceláneos | c/u | 1 | 10,00 | 10,00 |
| TOTAL MATERIALES: | | | | | 128,28 |

7.1.3. Costo de Componentes de Sistema Caminadora

Tabla 36.

Costo de Materiales Sistema Caminadora

| COSTO DE SISTEMA CAMINADORA | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------|-----------------|-------------------|----------------|
| <i>PROYECTO: VEHÍCULO PROTOTIPO</i> | | | | | |
| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | P/UNITARIO | P/TOTAL |
| 1 | Caminadora Mecánica Segundo Uso | c/u | 1 | 60,00 | 60,00 |
| 2 | Estribos de Protección | m | 2 | 2,00 | 4,00 |
| 3 | Misceláneos | c/u | 1 | 10,00 | 10,00 |
| TOTAL MATERIALES: | | | | | 74,00 |

7.1.4. Costo de Componentes de Sistema de Frenos

Tabla 37.

Costo de Materiales Sistema de Frenos

| COSTO DE SISTEMA DE FRENOS | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|-------------------|----------------|
| <i>PROYECTO: VEHÍCULO PROTOTIPO</i> | | | | | |
| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | P/UNITARIO | P/TOTAL |
| 1 | Freno Mecánico | c/u | 1 | 20,00 | 20,00 |
| 2 | Disco de Freno | c/u | 1 | 10,00 | 10,00 |
| 3 | Cable de Acero para Freno | c/u | 1 | 5,00 | 5,00 |
| 4 | Misceláneos | c/u | 1 | 5,00 | 5,00 |
| TOTAL MATERIALES: | | | | | 40,00 |

7.1.5. Costo de Componentes del Sistema Fotovoltaico

Tabla 38.

Costo de Materiales Sistema Fotovoltaico

| COSTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|-------------------|----------------|
| <i>PROYECTO: VEHÍCULO PROTOTIPO</i> | | | | | |
| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | P/UNITARIO | P/TOTAL |
| 1 | Controlador de Carga 30A | c/u | 1 | 50,00 | 50,00 |
| 2 | Paneles Fotovoltaicos 25W | c/u | 2 | 57,00 | 114,00 |
| 3 | Baterías 12V 12ah | c/u | 2 | 25,00 | 50,00 |
| 4 | Misceláneos | c/u | 1 | 16,00 | 16,00 |
| TOTAL MATERIALES: | | | | | 230,00 |

7.1.6. Costo de Componentes de Sistema de Potencia

Tabla 39.

Costo de Materiales Sistema de Potencia

| COSTO DE SISTEMA DE POTENCIA | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|--------|----------|------------|---------|--|
| <i>PROYECTO: VEHÍCULO PROTOTIPO</i> | | | | | | |
| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | P/UNITARIO | P/TOTAL | |
| 1 | Kit Motor Eléctrico 450W 24V | c/u | 1 | 322,74 | 322,74 | |
| 2 | Odómetro | c/u | 1 | 15,00 | 15,00 | |
| 3 | Misceláneos | c/u | 1 | 10,00 | 10,00 | |
| TOTAL MATERIALES: | | | | | 347,74 | |

7.1.7. Costo de Componentes de Sistema de Transmisión

Tabla 40.

Costo de Materiales Sistema de Transmisión

| COSTO DE SISTEMA TRANSMISIÓN | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|--------|----------|------------|---------|--|
| <i>PROYECTO: VEHÍCULO PROTOTIPO</i> | | | | | | |
| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | P/UNITARIO | P/TOTAL | |
| 1 | Cadena | c/u | 1 | 3,00 | 3,00 | |
| 2 | Chumaceras 1/2" | c/u | 2 | 3,50 | 7,00 | |
| 3 | Piñón 22T | c/u | 1 | 10,00 | 10,00 | |
| 4 | Piñón 16T | c/u | 4 | 4,00 | 16,00 | |
| 5 | Rueda Trasera 20" | c/u | 1 | 30,00 | 30,00 | |
| 6 | Misceláneos | c/u | 1 | 5,00 | 5,00 | |
| TOTAL MATERIALES: | | | | | 71,00 | |

7.1.8. Costo de Mano de Obra

Los costos de mano de obra corresponden al valor hombre – máquina empleados para realizar trabajos complementarios que requieren de cierta experiencia, utilizados para la fabricación del vehículo.

Tabla 41.**Costo Mano de Obra**

| COSTO MANO DE OBRA | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------|---------------|-----------------|-------------------|----------------|
| <i>PROYECTO: VEHÍCULO PROTOTIPO</i> | | | | | |
| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | P/UNITARIO | P/TOTAL |
| 1 | Torneada de Ejes | c/u | 1 | 10,00 | 10,00 |
| 2 | Doblada de Tubos | c/u | 1 | 10,00 | 10,00 |
| 3 | Corte y Soldadura | c/u | 1 | 50,00 | 50,00 |
| 4 | Pintura | c/u | 1 | 30,00 | 30,00 |
| 5 | Renta de Taller | c/u | 1 | 50,00 | 50,00 |
| TOTAL MATERIALES: | | | | | 150,00 |

7.2. Presupuesto Total

El presupuesto total del vehículo está basado en valores comerciales actuales, pero se debe considerar un 10 % de imprevistos que puedan ocurrir durante la fabricación del vehículo. En la tabla 42, se detallan los valores referenciales para la construcción total del vehículo, y tener un control de la inversión que se realiza sin descartar posibles cambios en la adquisición de elementos para el vehículo.

El prototipo está financiado 100 % por parte de los autores del proyecto de investigación.

Tabla 42.**Presupuesto Total**

| PRESUPUESTO | | |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------|
| <i>PROYECTO: VEHÍCULO PROTOTIPO</i> | | |
| ÍTEM | RUBRO | P/TOTAL |
| 1 | Materiales | 57,64 |
| 2 | Sistema de Dirección | 128,28 |
| 3 | Sistema Caminadora | 74,00 |
| 4 | Sistema Frenos | 40,00 |
| 5 | Sistema Fotovoltaico | 230,00 |
| 6 | Sistema de Potencia | 347,74 |
| 7 | Sistema de Transmisión | 71,00 |
| 8 | Mano de Obra | 150,00 |
| SUBTOTAL | | 1.098,66 |
| 10 % IMPREVISTOS | | 109,87 |
| TOTAL | | 1.208,53 |

Capítulo 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- El uso del vehículo demostró ser una alternativa para combatir el estrés, ya que no solo permite al usuario la realización de ejercicio por un periodo superior a lo recomendado por expertos de treinta minutos, sino que manifestó ser innovador, despertó la curiosidad e interés de las personas sintiéndose motivadas a utilizarlo. En tanto que el nivel de felicidad presentada por los usuarios al manejar fue catalogada como excelente según la encuesta realizada.
- El vehículo puede soportar cargas ejercidas y transportar a un usuario de 75 kg sin presentar problemas, siendo el sujeto de prueba de mayor masa durante las pruebas de funcionamiento, comprobando que los perfiles estructurales, el kit eléctrico para bicicletas y el sistema de transmisión de potencia que mueve simultáneamente el vehículo y la caminadora cumplen con su función.
- El cálculo de potencia del motor cumplen satisfactoriamente para su uso en parques lineales o rutas con una pendiente máxima de hasta el 3 %.
- La velocidad máxima alcanzada por el vehículo fue de 15,2 km/h, en tanto que la velocidad de la caminadora es de 2,8 km/h bajo condiciones descritas en las pruebas de funcionamiento.
- Se determinó que la distancia promedio que recorre el vehículo es de 9,5 km sin utilizar el sistema fotovoltaico, mientras que la distancia promedio recorrida utilizando el sistema fotovoltaico es de 9,8 km, lo que indica una mejora en la autonomía del 2,48 %.
- El tiempo de autonomía del vehículo sin el sistema fotovoltaico es de aproximadamente 52 minutos, mientras que con el uso del sistema fotovoltaico aumentó a 56 minutos.
- El tiempo de carga de las baterías fueron: 9h 45min para una carga directa, 5h 11min para una carga híbrida y 14h aproximadamente para una carga solar realizada durante 3 días con el vehículo expuesto al sol durante 5h.

- El costo actual del vehículo considerando imprevistos es de 1210 USD. En tanto que equipos con características similares en el mercado están en un costo aproximado de 2400USD

8.2 Recomendaciones

- En el mercado existen dispositivos de mayor capacidad de carga para aminorar el tiempo de recarga de las baterías. En caso de ser utilizados estos dispositivos, no debe superar los 4Ah para mejorar el tiempo de vida útil.
- Para aligerar pesos se puede remplazar las baterías secas de plomo por baterías de ion-litio que tienen un mejor desempeño y bajo peso, tomando en cuenta que su precio es mucho más elevado.
- El perfil de sección circular utilizado para el agarre de la rueda trasera, puede ser remplazado por un perfil cuadrado, mejorando la apariencia.
- Se puede incorporar accesorios para bicicletas convencionales como retrovisores, luces reflectoras, parrillas, etc. Para mejora su apariencia y su seguridad.
- Se puede reducir el costo total de prototipo al importar los componentes al por mayor y realizar una fabricación en serie de los componentes elaborados.
- Reducir el peso del prototipo utilizando materiales más ligeros ayudará a subir mayores pendientes y permitirá un mayor tiempo de uso.
- Incorporando un sistema de suspensión permitiría que el prototipo pueda transitar por rutas que demanden mayor exigencia al absorber las irregularidades del terreno.

Bibliografía

- Alkè. (2016). *www.alke.eu*. Obtenido de <https://www.alke.eu/es/como-calculo-pendiente-subida>
- Arbuzov, Y. (1995). Development of photovoltaic systems based on spectral decomposition of solar radiation and the use of different-kind photocoverters. *Applied Solar Energy*, 31, 9-14.
- Askeland, D. (2010). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (Cuarta ed.). Thomson.
- Bär, C. (08 de Junio de 2011). *hibike*. Obtenido de <http://www.hibike.es/componentes-n52f1161237298>
- Braun, G. (1991). Comparison of bulk power solar peaking options in the 1990s. *Solar Energy Materials*, 24, 108-120.
- Brooks. (25 de Noviembre de 2013). *The Retrogrouch*. Obtenido de <http://bikeretrogrouch.blogspot.com/2013/11/for-love-of-lugs.html>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana.
- Carmona, F. (23 de Marzo de 2012). *Software, Robótica y Tecnología*. Obtenido de <http://bitsbycode.blogspot.com/2012/03/como-fabricar-poleas-dentadas.html>
- Caroli. (20 de Abril de 2015). *Caroli Health Club*. Recuperado el 04 de Diciembre de 2015, de <http://www.carolihealthclub.es/blog/como-combatir-el-estres-y-el-sedentarismo/>
- Criswell, D. R. (1995). Lunar solar power system: system options, costs, and benefits to earth . *Proceedings of the Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*. Orlando, USA.
- Davis, M. (1995). Photovoltaic energy systems and rural electrification. *Development Southern Africa*, 12, 637-648.

- De Gregorio, R., Piccolo, M., Biondini, D., & Goglia, G. (1988). First results of an aimed research carried out by the Italian P.T Ministry related to a prototypical photovoltaic hybrid power system for TLC. *INTELEC, International Telecommunications Energy Conference*. San Diego, USA.
- Diario Expreso*. (01 de Septiembre de 2012). Recuperado el 01 de Diciembre de 2015, de http://expreso.ec/expreso/plantillas/nota_print.aspx?idArt=3645226&tipo=2
- Dones, R., & Frischknecht, R. (1998). Life-cycle assessment of photovoltaic systems: Results of Swiss studies on energy chains. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 6, 117-125.
- El Bassiouny, O., Dhople, S., Davoudi, A., & Chapman, P. (2010). Energy-efficient cost-effective inverter configuration for residential photovoltaic systems. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*(5616796), 400-406.
- Espinoza, A. (17 de Abril de 2013). *hipertiki.blogspot.com/*. Obtenido de <http://hipertiki.blogspot.com/2013/04/el-ciclismo-en-quito.html>
- Felt Racing, LLC and Felt GmbH. (Enero de 2013). *Felt Bicycles*. Obtenido de <http://2013.feltracing.com/USA/2013/Mountain/Edict-Nine/Frame-Kit-Edict-Nine-LTD.aspx>
- Glaser, P. E. (1976). STATUS OF SATELLITE SOLAR POWER DEVELOPMENT. Winnipeg.
- Granda C., F. E. (Marzo de 2015). *Indicadores Laborales*. Recuperado el 03 de Diciembre de 2015, de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/EMPLEO/2015/Marzo-2015/Informe_Ejecutivo_Mar15.pdf
- Grey, J. (1976). PROSPECTS FOR TERRESTRIAL USE OF SOLAR ENERGY. *Trab Apresentados a Conv da UPADI (Union Panam de Asoc de Ing)*. Rio de Janeiro.

- Gropper, J. (1988). Technical and economic trade-off study between photovoltaic power systems and closed cycle vapor turbogenerators. *INTELEC, International Telecommunications Energy Conference*. San Diego, USA.
- Gropper, J. (1988). Technical and economic trade-off study between photovoltaic power systems and closed cycle vapor turbogenerators. *INTELEC, International Telecommunications Energy Conference*. San Diego, USA.
- Hamakawa, Y. (1991). Recent advances in solar photovoltaic technologies in Japan. *Solar Energy Materials*, 23, 139-151.
- Imre, L., & Bitai, A. (1998). Combined solar photovoltaic-thermal system. *Proceedings of the Conference on Mechanical Engineering*. Budapest, Hungary.
- INEN. (14 de Enero de 2015). <http://www.normalizacion.gob.ec/>. Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/RTE-046.pdf>
- Isan, A. (20 de 02 de 2013). <http://energiasrenovadas.com/>. Obtenido de <http://energiasrenovadas.com/andalucia-construira-un-avion-solar/>
- Jaboori, M. G., Saied, M. M., & Hanafy, A. A. (1991). A contribution to the simulation and design optimization of photovoltaic systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 6, 401-406.
- López, M. (03 de 11 de 2015). <http://www.ambientologa.net/>. Obtenido de <http://www.ambientologa.net/2015/11/eve-el-coche-solar-que-alcanza-los.html>
- Lora, D., & Ortega, L. (Octubre de 2012). <http://repositorio.utn.edu.ec/>. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1636/1/05%20FECYT%201410%20TESIS.pdf>

- Losada, R. (2007). *Módulo Profesional de "Conducción en Grupos en Bicicleta"*. Lena-España .
- Luque, A., Sala, G., Araujo, G., & Bruton, T. (1995). Cost reducing potential of photovoltaic concentration. *International Journal of Solar Energy*, 17, 179-198.
- Maps, G. (17 de Diciembre de 2015). www.google.com/maps. Obtenido de https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=znToF6P8nq_I.kS30cVVYa-Q&hl=es
- Martin, C., Burlakov, V., Assender, H., & Barkhouse, D. (2007). A numerical model for explaining the role of the interface morphology in composite solar cells. *Journal of Applied Physics*, 102(104506).
- Maureira, R. (24 de Diciembre de 2010). *SmartDreams*. Obtenido de <http://smartdreams.cl/motor-de-corriente-continua/>
- Ralph, E., & Shahryar, I. (1976). MEETING ELECTRIC POWER NEEDS WITH PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS. *Heliotech and Dev, Proc of the Int Conf; Dhahran*. Saudi Arabia.
- Ribas, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona: UPC.
- Ro, K., & Rahman, S. (1998). Two-loop controller for maximizing performance of a grid-connected photovoltaic-fuel cell hybrid power plant. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 13, 276-281.
- Robles-Ocampo, B., Ruíz-Vasquez, E., Canseco-Sánchez, H., Cornejo-Meza, R. T.-M., García-Rodríguez, F., González-Hernández, J., & Vorobiev, Y. (2007). Photovoltaic/thermal solar hybrid system with bifacial PV module and transparent plane collector. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91, 1966-1971.
- Senadeera, G., Nakamura, K., Kitamura, T., Wada, Y., & Yanagida, S. (2003). Fabrication of highly efficient polythiophene-sensitized metal oxide photovoltaic cells. *Applied Physics Letters*, 83, 5470-5472.

- Shewchun, J., Thompson, D., St. Pierre, J., Liikala, R., Haber, C., & Carter, R. (1976). THERMAL SYSTEM FOR USE IN INDIVIDUAL FAMILY HOUSING. *Sharing the Sun, Sol Technol in the Seventies, Jt Conf of the Int Sol Energy Soc, Am Sect and Sol Energy Soc of Can, Inc.* Winnipeg.
- Steffens, F. (1991). Solar energy: battery energy storage control . *Journal of Power Sources*, 35, 1-20.
- Stoy, I. B. (1982). POWER-ECONOMICAL CONSIDERATIONS FOR THE INTEGRATION OF TERRESTRIAL AND EXTRATERRESTRIAL SOLAR GENERATORS INTO EXISTING POWER GENERATION SYSTEMS. *Space Solar Power Review*, 4, 155-167.
- tecnoficio. (Marzo de 2016). <http://www.tecnoficio.com/>. Obtenido de http://www.tecnoficio.com/electricidad/velocidad_de_motores_electricos3.php
- Twenergy. (07 de Agosto de 2014). *twenergy*. Recuperado el 04 de Diciembre de 2015, de <http://twenergy.com/a/10-inventos-que-funcionan-unicamente-con-energia-solar-1344>
- Valenciaga, F., Puleston, P., & Battaiotto, P. (2003). Power Control of a Solar/Wind Generation System Without Wind Measurement: A Passivity/Sliding Mode Approach. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 18, 501-507.
- Van Vechten, J. (1995). Concrete solutions to the problem of a sustainable energy supply. *Northcon - Conference Record*. USA.
- Xavi. (23 de Febrero de 2015). *Santa Fixie FIXED GEAR BLOG*. Obtenido de <http://www.santafixie.com/blog/que-es-una-bicicleta-single-speed>
- Ye, Y., Dai, Y., Dai, L., Shi, Z., Liu, N., Wang, F., . . . Qin, G. (2010). High-performance single CdS nanowire (nanobelt) Schottky junction solar cells with Au/graphene Schottky electrodes. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 2, 3406-3410.

ANEXOS

ANEXO A

PLANOS

ANEXO B

CONEXIÓN ELÉCTRICA

ANEXO C

HOJAS DE PROCESOS