



**DISEÑO DE SISTEMA ELECTROMECÁNICO PORTATIL DE PEDALEO,
ACOPLADO A GENERADOR ELÉCTRICO, PARA LA RECARGA DE
BATERIAS DEL TOMOGRAFO MULTIELECTRODO DE LA UAN, USADO
EN LA BUSQUEDA DE FOSAS COMUNES**

**Duberney Rengifo Bedoya
Julián Camilo Contreras Patarroyo**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bogotá, Colombia

2020

**DISEÑO DE SISTEMA ELECTROMECAÁNICO PORTATIL DE PEDALEO,
ACOPLADO A GENERADOR ELÉCTRICO, PARA LA RECARGA DE
BATERIAS DEL TOMOGRAFO MULTIELECTRODO DE LA UAN, USADO
EN LA BUSQUEDA DE FOSAS COMUNES**

**Duberney Rengifo Bedoya
Julián Camilo Contreras Patarroyo**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electromecánico

Director (a):

MSC. Juan Carlos Monroy

Codirector (a):

Dr. Carlos Martin Molina

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2020

Dedicatoria

A Dios primeramente por guiarme por los caminos correctos, por su inmenso amor que me ha permitido llegar hasta donde estoy, a mi amada esposa Yury Palacios, porque sin su apoyo incondicional habría sido difícil culminar con éxito este proyecto en mi vida, a mi amada hija Nicol por ser la fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día.

Duberney Rengifo

A Dios y a todas las personas que me apoyaron en esta etapa tan importante en mi vida, principalmente a mi familia que estuvo en cada etapa de este importante proceso, a mis profesores y a la universidad en general por los valiosos conocimientos que me han otorgado.

Julián Contreras

Agradecimientos

Damos gracias a Dios por permitirnos culminar una etapa más en nuestras vidas, a nuestras familias que han sido un apoyo fundamental, a los profesores y demás personas que con su conocimiento y apoyo nos ayudaron para poder llevar a cabo y con éxito la elaboración del presente proyecto.

Resumen

El presente proyecto busca de manera veraz brindar una solución al inconveniente que tiene la universidad Antonio Nariño con respecto al uso de su equipo de tomografía eléctrica en campo, ya que debido a la descarga de las baterías que requiere no es posible llevar a cabo de forma continua la adquisición de datos para la caracterización del suelo y el hallazgo de fosas comunes. El equipo de tomografía de resistividad eléctrica TRE es un equipo usado para prospección geoelectrica el cual registra la resistividad aparente del subsuelo, es usado para diferentes aplicaciones por su buen desempeño.

Debido a esto se realizó el diseño de un sistema mecánico de pedaleo, que acoplado a un generador de imanes permanentes pudiera permitir la recarga de las baterías de un equipo de tomografía eléctrico, con el fin de prolongar el tiempo de uso de las baterías que alimentan el equipo de tomografía que pertenece a la Universidad, y por ende la autonomía del equipo en las prospecciones del subsuelo para la búsqueda de fosas comunes, ya que actualmente este tiempo es superior a 3 horas, lo que implica que las baterías deben recargarse en campo, debido a que allí no hay acceso a redes eléctricas de corriente alterna.

Palabras clave: Generador de imanes permanentes, portátil, tomografía de resistividad eléctrica, baterías.

Abstract

This project truthfully seeks to provide a solution to the problem that the Antonio Nariño University has with respect to the use of its electrical tomography equipment in the field, since due to the discharge of the batteries it requires, it is not possible to carry out The acquisition of data continues for the characterization of the soil and the discovery of mass graves. The TRE electrical resistivity tomography equipment is an equipment used for geoelectric prospecting which records the apparent resistivity of the subsoil, it is used for different applications for its good performance.

Due to this, the design of a mechanical pedaling system was carried out, which coupled to a permanent magnet generator could allow the recharging of the batteries of an electrical tomography equipment, in order to prolong the time of use of the batteries that feed the tomography equipment that belongs to the University, and therefore the autonomy of the team in underground surveys to search for mass graves, since this time is currently over 3 hours, which implies that the batteries must be recharged in the field , because there is no access to alternating current electrical networks there.

Keywords: Permanent magnet generator, electric resistivity tomograph, batteries.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	IX
Lista de figuras	XIV
Lista de tablas	XVI
Lista de ecuaciones	XVII
Introducción	1
1. Estado del arte.....	3
2. Aspectos generales del proyecto.....	5
2.1 Descripción del problema	5
2.2 Justificación	5
2.3 Alcance.....	7
2.4 Metodología.....	7
3. Objetivos	9
3.1 Objetivo general.....	9
3.2 Objetivos específicos	9
4. Marco Teórico.....	11
4.1 Fundamentos de electricidad	11
4.1.1 Electricidad	11
4.1.2 Carga eléctrica	11
4.1.3 Corriente eléctrica	12
4.1.4 Corriente continua y corriente Alterna	12
4.1.5 Ley de ohm	13
4.1.6 Resistencia (R).....	14
4.1.7 Potencia eléctrica.....	14
5. Generación de electricidad.....	15
5.1 Ley de Faraday.....	15
5.2 Generador eléctrico	16
5.3 Generador de imanes permanentes.....	16
5.4 Clasificación de los generadores eléctricos	17
5.4.1 Dinamo	17
5.4.2 Alternador	18

6.	Almacenamiento de Energía	19
6.1	Volante de inercia.....	19
6.2	Supercondensadores	20
6.3	Baterías.....	21
6.3.1	Tipos de baterías	22
7.	Tomografía de resistividad eléctrica (TRE)	27
7.1	Aplicaciones del equipo TRE.....	31
8.	Fundamentos de mecanismos y transmisión de potencia.....	33
8.1	Sistemas de transmisión de potencia	33
8.1.1	Transmisión por bandas, correas y poleas.....	33
8.1.2	Transmisión por cadena	35
8.1.3	Engranajes	35
8.1.4	Tipos de engranajes	36
8.1.5	Relación de transmisión.....	37
8.1.6	Torsión	38
8.1.7	Potencia mecánica	39
9.	Selección equipos de generación y almacenamiento de carga.....	41
10.	Cálculos de diseño para el sistema mecánico.....	45
10.1	Sistema de transmisión por polea-banda.....	47
10.1.1	Selección de la correa:	48
10.1.2	Potencia de diseño:	49
10.1.3	Selección de correa	50
10.1.4	Selección de la polea motriz:	51
10.1.5	Selección de polea conducida	52
10.1.6	Distancia entre centros (poleas)	53
10.1.7	Longitud de la correa	54
10.1.8	Selección de transmisión por cadena	55
10.1.9	Potencia de diseño de la cadena:	56
10.1.10	Número de dientes de la Catarina:.....	57
10.1.11	Número de dientes del engrane.....	58
10.1.12	Distancia entre centros (piñones)	58
10.1.13	Longitud de la cadena.....	58
10.2	Análisis del eje intermedio.....	61
10.2.1	Análisis por resistencia mecánica	62
10.2.2	Fuerzas que actúan sobre el eje.....	65
10.2.3	Dimensiones del eje	66
10.2.4	Diagramas de fuerzas y momentos.....	67
10.2.5	Análisis de esfuerzo.....	68
10.2.6	Material de los ejes.....	70
10.2.7	Análisis por resistencia a la fatiga.....	71
10.2.8	Cálculo de factores:	72
10.2.9	Esfuerzos en el eje	74
10.2.10	Selección de rodamientos del eje intermedio.....	75
10.3	Análisis del eje de los pedales.....	81
10.3.1	Análisis por resistencia mecánica	81
10.3.2	Fuerzas que actúan sobre el eje.....	82
10.3.3	Diagramas de fuerzas y momentos.....	84
10.3.4	Análisis de esfuerzo.....	85

10.3.5	Análisis por resistencia a la fatiga	86
10.3.6	Esfuerzos en el eje.....	87
10.3.7	Selección de rodamientos del eje de los pedales	88
11.	Modelado del sistema mecánico de pedaleo.....	91
11.1	Eje de los pedales y eje intermedio.....	91
11.2	Diseño de los piñones.....	92
11.3	Diseño de las poleas	93
11.4	Pedales	94
11.5	Estructura metálica	95
11.6	Soporte para sillín.....	95
11.7	Manubrio como soporte para pedaleo.....	96
11.8	Generador de imanes permanentes.....	97
11.9	Guarda externa.....	97
12.	Sistema electrónico.....	100
13.	Descripción de los resultados.....	102
14.	Conclusiones y recomendaciones	106
	Bibliografía	109
15.	Manual de operación y mantenimiento.....	115

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1: Equipo de tomografía eléctrica propiedad de la UAN	6
Figura 2-2: Disposición de electrodos del equipo de tomografía	7
Figura 4-1: Corriente continua y corriente alterna.	13
Figura 5-1: Primer enunciado de la Ley de Faraday.....	15
Figura 5-2: Segundo enunciado de la Ley de Faraday	16
Figura 5-3: Disco de Faraday (Dinamo)	17
Figura 5-4: Alternador eléctrico	18
Figura 6-1: Volante de Inercia	20
Figura 6-2: Batería Plomo-Acido	22
Figura 6-3: Baterías Ion-Litio	23
Figura 6-4: Batería de Níquel-Hidruro metálico (NiMH)	23
Figura 6-5 Conexión de baterías en Serie	24
Figura 6-6: Conexión de baterías en Paralelo	24
Figura 6-7: Conexión de baterías Serie-Paralelo.....	25
Figura 7-1: Equipo de tomografía ASM001	27
Figura 7-2: Equipo de tomografía GeoAmp303.....	28
Figura 7-3: Conexión de las dos consolas (GeoAmp303 y AMS001)	29
Figura 7-4: Conexión carretes de cable con las consolas del equipo TRE	29
Figura 7-5: Conexión carretes de cable con los electrodos	30
Figura 7-6: Configuración electrónica.....	30
Figura 7-7: Consolas equipo TRE	31
Figura 8-1: Sistema de correa y polea	34
Figura 8-2: Transmisión por cadena.....	35
Figura 8-3: Engrane recto	36
Figura 8-4: Engranaje helicoidal.....	36
Figura 8-5: Engranaje cónico	37
Figura 8-6: Tornillo sinfín	37
Figura 8-7: Cargas torsionales en ejes circulares.....	38
Figura 9-1: Generador de imanes permanentes.....	42
Figura 9-2: Voltaje del generador en función de las RPM	43
Figura 9-3: potencia del generador en función de las RPM	44
Figura 10-1: Sistema mecánico de pedaleo	47
Figura 10-2: Factor de servicio para poleas	49
Figura 10-3: Potencia de diseño en caballos de fuerza	50

Figura 10-4: Selección de polea motriz	51
Figura 10-5: Dimensiones estándar de la polea.....	51
Figura 10-6: Dimensiones y especificaciones de la polea conducida.....	52
Figura 10-7: Distancias entre centros de ejes.....	53
Figura 10-8: Transmisión por polea a una relación de velocidad de 5.15	54
Figura 10-9: Factores para calcular Margen de seguridad.....	56
Figura 10-10: Trasmisión por cadena, con relación de transmisión de 5.15	60
Figura 10-11: Reacciones en los rodamientos que soportan el eje intermedio	62
Figura 10-12: Análisis de fuerzas de la polea	63
Figura 10-13: Fuerza tangencial de la catarina.....	64
Figura 10-14: Fuerzas que actúan sobre el eje intermedio	65
Figura 10-15: Distancia y longitud del eje intermedio.....	66
Figura 10-16: Diagrama de fuerza cortante y momento flector	67
Figura 10-17: Grafica esfuerzo de flexión eje intermedio	74
Figura 10-18: Vida nominal de rodamientos SKF	76
Figura 10-19: Catalogo de rodamientos SKF.....	78
Figura 10-20: Viscosidad nominal del lubricante para rodamientos	80
Figura 10-21: Reacciones en los rodamientos que soportan el eje de los pedales	81
Figura 10-22: Fuerzas sobre el eje de los pedales	82
Figura 10-23: Diagrama de fuerzas y momentos eje de los pedales.....	84
Figura 10-24: Grafica esfuerzo de flexión eje de los pedales.....	87
Figura 11-1: Eje intermedio	91
Figura 11-2: Eje de los pedales	92
Figura 11-3: Piñón 1/4, Z=22 dientes.....	92
Figura 11-4: Piñón 1/4, Z=125 dientes.....	93
Figura 11-5: Polea conductora 400mm.....	93
Figura 11-6: Polea conducida 85mm	94
Figura 11-7: Pedales del sistema mecánico de pedaleo.....	94
Figura 11-8: Estructura metálica.....	95
Figura 11-9: Soporte sillín	96
Figura 11-10: Manubrio soporte mecánico de pedaleo	96
Figura 11-11: Generador de imanes permanentes	97
Figura 11-12: Guarda desmontable externa	98
Figura 11-13: Sistema mecánico de pedaleo.....	99
Figura 12-1: LM2596 (Regulador de voltaje variable)	101
Figura 12-2: Plano electrónico LM2596	101
Figura 13-1: Mecanismo Electrónico con tarjeta LM2596	102
Figura 13-2: Circuito electrónico de recarga.....	103
Figura 13-3: Sistema mecánico desmontado para fácil transporte.....	104
Figura 13-4: Plano del bastidor desarmable	104
Figura 13-5: Sistema de embalaje y transporte	105

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 9-1: Valores de revoluciones por minuto y voltaje del generador	42
Tabla 9-2: Potencia del generador en función de las RPM	43
Tabla 10-1: Tabla de capacidad para cadena.....	57
Tabla 10-2: Tabla de valores DEK.....	59
Tabla 10-3: Propiedades del Acero AISI 1020	70
Tabla 10-4: Resistencia a la fatiga.....	72

Lista de ecuaciones

	Pág.
<i>Ecuación 1: Corriente eléctrica</i>	13
<i>Ecuación 2: Resistencia eléctrica</i>	13
<i>Ecuación 3: Voltaje</i>	14
<i>Ecuación 4: Potencia eléctrica</i>	14
<i>Ecuación 5: Relación de velocidad</i>	38
<i>Ecuación 6: Potencia mecánica</i>	39
<i>Ecuación 8: Potencia</i>	45
<i>Ecuación 9: Velocidad angular</i>	48
<i>Ecuación 10: Potencia de diseño</i>	49
<i>Ecuación 11: Longitud de correa</i>	54
<i>Ecuación 12: Relación de fuerzas para una transmisión por banda</i>	63
<i>Ecuación 13: Potencia</i>	63
<i>Ecuación 14: Momento flector máximo</i>	68
<i>Ecuación 15: Esfuerzo máximo</i>	68
<i>Ecuación 16: Factor de seguridad</i>	69
<i>Ecuación 17: Resistencia a la fatiga</i>	71
<i>Ecuación 18: Factor de modificación por la condición superficial</i>	72
<i>Ecuación 19: Vida nominal de un rodamiento SKF</i>	75
<i>Ecuación 20: Diámetro medio de rodamientos SKF</i>	78
<i>Ecuación 21: Diámetro de paso engrane</i>	82

Introducción

Existen fuentes alternativas de generación de energía eléctrica en el mundo, lo cual para Colombia es una opción real para la expansión de los sistemas eléctricos, debido a su gran desarrollo y al hecho de tener un tratamiento ambiental diferente a las fuentes convencionales [1]. Los sistemas de energía renovable como cualquier otro sistema, poseen ciertos inconvenientes al momento de producir energía como los paneles solares que dependen de la luz del sol para producir la energía, o los sistemas de generación hidroeléctrica que dependen del flujo de agua para la producción de electricidad, entre otros. [2]. Debido a la confianza en los sistemas eólicos de generación de energía eléctrica se ha incrementado su uso en los últimos años, siendo esta una fuente de energía renovable que disminuye la utilización de fuentes no renovables como el petróleo y no producen emisiones nocivas al medio ambiente [3], [4].

Los sistemas eólicos típicamente utilizan generadores síncronos de imanes permanentes (GSIP), y son muy empleados en sistemas que están conectados a la red eléctrica y otros que operan independientemente de esta [5]. En los últimos años los países desarrollados y líderes en la implementación de sistemas de generación de energías renovables han creado la reglamentación y regulación necesaria para modificar la matriz de generación actual en la búsqueda de un reemplazo de fuentes convencionales de energía, [6]. En el marco de la Ley 1715 de 2014 de Colombia, aprobada el 13 de mayo de 2014, se genera oportunidad para el desarrollo de la gestión eficiente de energía, la generación distribuida, el uso de fuentes no convencionales de energía en zonas aisladas y la respuesta a la demanda.

Según estudios y proyectos que evalúan las condiciones y escenarios para el uso de energías renovables, Colombia es privilegiada por el alto potencial para generar energía eléctrica mediante fuentes renovables [7], [8].

El presente proyecto que se desarrollará para el equipo de tomografía eléctrica perteneciente a la Universidad Antonio Nariño, usará un generador de imanes permanentes, el cual ira acoplado a un sistema mecánico portátil de pedaleo para efectuar la recarga de las dos baterías que pertenecen a dicho equipo, con el fin de realizar de manera efectiva y sin restricciones, las prospecciones del suelo en campo.

1. Estado del arte

A continuación, se muestra el desarrollo e instalación de un sistema de generación eólico, con el fin de fortalecer el área de energías renovables de la universidad UAN

- Los estudiantes Camilo Duarte, Sergio Güiza realizaron un proyecto donde implementaron un aerogenerador Savonius Modificado con capacidad nominal de 500W, al cual buscaron cuantificar la carga de generación por un sistema de medida (Medidor Unidireccional) para así almacenar esta energía en un banco de baterías, esta carga será aprovechada por sistema de regulación que alimenta una toma monofásica regulada de 250W a 110VAC, también diseñaron y construyeron una base auto soportada la cual permitió el izaje y puesta en funcionamiento del aerogenerador [9].

Creación de un generador eléctrico de imanes de neodimio, para la generación energía eléctrica, la cual será utilizada para la conexión de diferentes equipos electrónicos de bajo consumo.

- En Colombia el servicio nacional de aprendizaje SENA junto a sus instructores del programa SENNOVA en el departamento de Arauca, desarrollaron un prototipo de generación de energía a partir de investigación y desarrollo tecnológico en tecnologías alternativas. Pretendiendo a partir de elementos no convencionales (imanes de neodimio) implementar una configuración mecánica rotacional que les permitiera conseguir desde la energía mecánica una energía eléctrica; de tal manera que al generarla se pudiera almacenar en baterías y así ser futuramente aprovechadas en diferentes dispositivos electrónicos. [10]

- Con el fin de aportar al estudio y buenas prácticas de las energías limpias y renovables en la UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA sede Bucaramanga los estudiantes diseñaron y construyeron un generador de magnetos permanentes a partir de un alternador de vehículo modificado a los requerimientos propios del proyecto. [11]

2. Aspectos generales del proyecto

2.1 Descripción del problema

Uno de los propósitos del estudio del subsuelo que se realiza en Colombia, es para encontrar personas desaparecidas [12], análisis que se realiza con la implementación de la Tomografía de resistividad eléctrica (TRE o ERT por sus siglas en inglés), tecnologías con las cuales se pueden obtener perfiles del subsuelo sin la necesidad de realizar excavaciones [13]. De ahí parte la gran importancia que tiene la geofísica forense para lograr encontrar lugares donde haya fosas comunes [14]. Actualmente la Universidad Antonio Nariño utiliza un equipo de TRE para efectuar la búsqueda de fosas comunes en Colombia y con el cual se realizan prospecciones del subsuelo en lugares muy remotos y de difícil acceso, con el fin de encontrar cadáveres de personas desaparecidas y así poder entregar los cuerpos a sus familiares [15].

El equipo de TRE posee dos baterías de 12V/12Ah, las cuales se encargan de brindar la autonomía necesaria durante el proceso de prospección del subsuelo, y un computador portátil que se encarga de registrar y guardar los datos. Actualmente el tiempo de uso del equipo de tomografía se limita a la autonomía de las baterías, tiempo que varía con la profundidad que se realice la adquisición de datos, lo que hace necesario un sistema de recarga que aumente el tiempo de respaldo de los equipos y permita culminar con éxito el análisis del subsuelo para así determinar la posible existencia de una fosa común en el lugar de exploración.

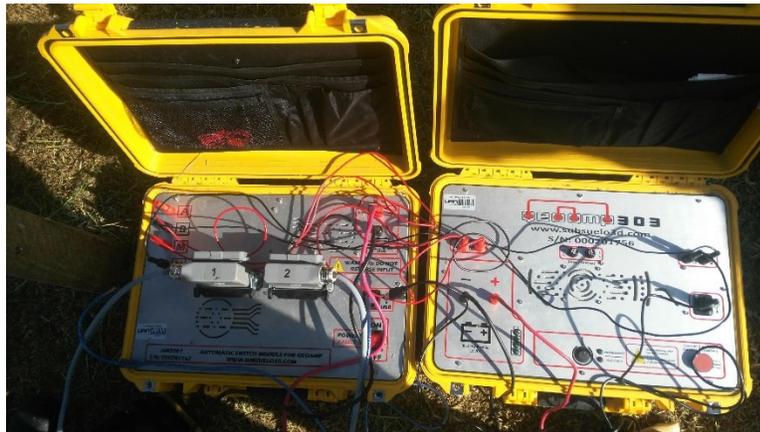
2.2 Justificación

El método geofísico que se emplea mediante tomografía eléctrica, es un método que se utiliza en muchos lugares a nivel mundial y el cual ha proporcionado resultados positivos en la búsqueda de fosas comunes [16]. En Colombia el servicio que brinda la tomografía eléctrica es de gran importancia ya que su implementación facilita la prospección de

campo y aumenta la esperanza de hallar a miles de personas que han sido víctimas del conflicto armado [17].

La Universidad Antonio Nariño en sus grupos de investigación (Ciencias Básicas e Ingeniería Civil) cuenta con un equipo de tomografía eléctrica para llevar a cabo el uso de métodos geofísicos que apoyan la búsqueda de fosas comunes en lugares remotos y de difícil acceso, mediante el cual se han logrado varias investigaciones y trabajos de grado de estudiantes de ingeniería civil y ambiental; ya que el TRE tiene múltiples aplicaciones. El equipo se ilustra en la Figura. 2-1.

Figura 2-1: Equipo de tomografía eléctrica propiedad de la UAN



Fuente: Autores

Dado que el equipo de tomografía no cuenta con la autonomía necesaria para efectuar la prospección del subsuelo de manera completa en campo, se requiere que sus baterías sean recargadas “in situ”, motivo por el cual se propone usar un generador de imanes permanentes de 350W [18], accionado por un mecanismo de pedaleo, que irá conectado mediante un sistema de transmisión flexible al generador, convirtiéndose en la mejor opción para recargar baterías del equipo, considerando que no hay conexión a red eléctrica y aprovechando el movimiento giratorio que se produce al pedalear. Asimismo, no se producen costos adicionales al efectuar dicha recarga. En la Figura 2-2, se ilustra el diseño de adquisición de datos a través de las ristras o cables.

Figura 2-2: Disposición de electrodos del equipo de tomografía



Fuente: Autores

Teniendo en cuenta que los generadores de imanes permanentes poseen una alta eficiencia, un tamaño reducido, y un amplio rango de velocidad, permite su uso en el sistema mecánico de pedaleo que se pretende diseñar para ampliar el tiempo de autonomía del equipo de tomografía eléctrica en campo que actualmente es de tres horas [19].

2.3 Alcance

El presente proyecto muestra el diseño de un sistema electromecánico de pedaleo que acoplado a un generador eléctrico puede recargar dos baterías de 12V/12AH y una batería de un computador portátil de forma individual, los cuales conforman el equipo TRE, el cual es propiedad de la universidad Antonio Nariño.

2.4 Metodología

En el desarrollo del sistema electromecánico de pedaleo, se investigará sobre el funcionamiento del equipo TRE que pertenece a la universidad Antonio Nariño, y el cual no cuenta con un sistema portátil que recargue sus baterías en campo; adicionalmente se hará la selección adecuada del generador de imanes permanentes, con el cual se pretende

recargar las baterías, se realizará los respectivos diseños, se elaboraran los planos y los cálculos respectivos de dicho sistema. Se diseñará un circuito electrónico el cual realizará de forma adecuada la entrega de voltaje para las baterías, en este circuito se podrá visualizar mediante un display el valor de voltaje que tendrá el sistema electromecánico de pedaleo a su salida. También se realizará el diseño de un módulo de embalaje portátil, para que facilite el transporte del sistema electromecánico de pedaleo a campo.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema electromecánico portátil de pedaleo, que, acoplado a un generador de imanes permanentes, recargue las dos baterías de 12V/12Ah y la batería de un computador portátil pertenecientes a un tomógrafo eléctrico multielectrodos de la UAN, que es usado en la búsqueda de fosas comunes, encontrar agua salada, dulce o contaminada, y definir estratos en el subsuelo, y así permitir ampliar el tiempo de uso en campo de las baterías de dichos equipos.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar los requerimientos eléctricos (voltaje, corriente y potencia) necesarios para efectuar la recarga de baterías del equipo de tomografía y el computador portátil.
- Seleccionar el generador de imanes permanentes requerido para el diseño del sistema de recarga de baterías del tomógrafo eléctrico
- Diseñar un sistema mecánico de pedaleo portátil y liviano, capaz de efectuar la recarga de baterías en campo del tomógrafo eléctrico, apoyado en Solidworks.
- Diseñar el módulo de embalaje y transporte del dispositivo electromecánico de recarga, de tal manera que se facilite su portabilidad hasta las zonas de exploración.
- Seleccionar los elementos y/o circuitos eléctricos que se requiere para el generador de imanes permanentes, de tal manera que se puedan recargar las baterías de 12V/12Ah existentes, en un tiempo no mayor a 60 minutos, luego de sufrir una descarga profunda.
- Realizar los planos mecánicos y eléctricos del sistema portátil de recarga de las baterías, que apoyen el proceso de diseño realizado.
- Elaborar un manual de operación y mantenimiento para el sistema electromecánico de recarga diseñado.

4. Marco Teórico

4.1 Fundamentos de electricidad

4.1.1 Electricidad

Se habla de una propiedad física en la cual existe una interacción positiva o negativa entre los protones y los electrones de la materia. Dicha propiedad es la fuente principal de energía, la cual usamos a diario en la mayoría de maquinaria industrial, residencial, y todo equipo que requiera de un suministro eléctrico.

Todos los materiales cuentan con distintas estructuras atómicas las cuales determinan la facilidad de conducir o no los electrones de tal manera que encontraremos materiales, muy buenos conductores, aislantes y semiconductores. [20]

4.1.2 Carga eléctrica

La carga eléctrica es una medida de la capacidad que posee una partícula para intercambiar electrones, es decir que, algunos átomos pueden perder electrones y otros pueden ganarlos; de igual manera es la cantidad de carga que pasa por la sección de un conductor eléctrico en un segundo cuando la corriente es de un amperio, la cual se mide en el sistema internacional como Culombio (C) $1 \text{ culombio} = 6,242 \times 10^{18}$ electrones libres. [21].

Las baterías tienen la característica de almacenar carga eléctrica, el electrodo positivo contiene dióxido de plomo y el electrodo negativo contiene plomo poroso, internamente cuando las baterías están siendo utilizadas, es decir, alimentando algún tipo de carga, la carga eléctrica circula a través del electrolito de la batería, haciendo que la composición química de ambos electrodos se descomponga en sulfato de plomo, al efectuar la recarga

de la baterías, esta se debe efectuar a través de un dispositivo eléctrico (dinamo, alternador) lo que provoca que el sulfato de plomo vuelva a su estado inicial: oxido de plomo y plomo poroso.

4.1.3 Corriente eléctrica

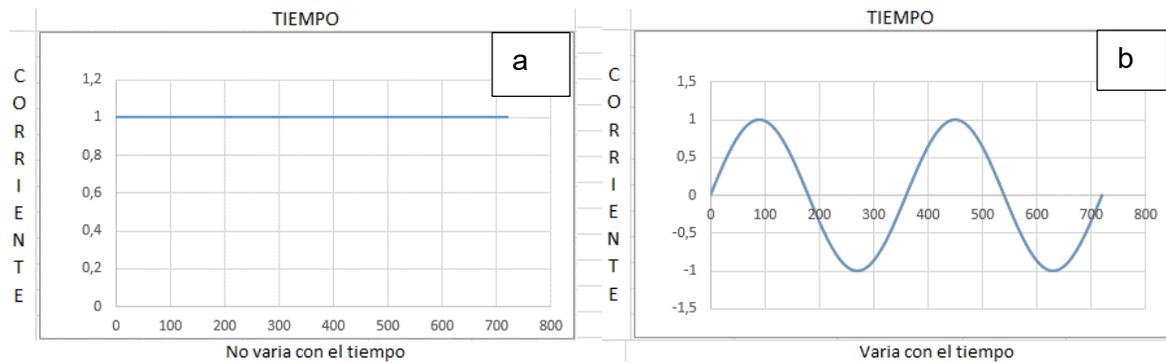
Es el movimiento o flujo de electrones. Para producirla, los electrones deben moverse por efecto de una diferencia de potencial. La corriente se representa con el símbolo I , y la unidad básica para medirlo es el ampere (A). Un ampere de corriente se define como el movimiento de un coulomb que pasa por cualquier punto de un conductor durante un segundo. [21]

La corriente eléctrica proviene de los generadores eléctricos, su definición y clasificación, se explican de forma más detallada en el capítulo 5.2.

4.1.4 Corriente continua y corriente Alterna

La corriente continua es aquella cuyos valores instantáneos a lo largo del tiempo son de la misma magnitud, es decir, que fluye solamente en una dirección (ver Figura 4-1a). Suele estar suministrado por pilas, baterías, dinamos, fuentes de alimentación de corriente continua etc... Una de las características fundamentales de la corriente continua es que tiene polaridad: Uno de los conductores es el positivo (de color rojo) y el otro el negativo (de color negro), también llamado éste último, masa.

Una corriente que cambie de sentido a intervalos de tiempo recibe el nombre de corriente alterna, este tipo de corriente no puede almacenarse en baterías, pero es mucho más fácil y barata de producir gracias a los alternadores. La corriente que tenemos en las bases de enchufe de casa se denomina corriente alterna sinusoidal. La forma de la onda sinusoidal es periódica, ya que se reproduce idénticamente en intervalos de tiempo iguales tal como se ilustra en la Figura. 4-1b. [21]

Figura 4-1: Corriente continua y corriente alterna.

Fuente: Autores

4.1.5 Ley de ohm

En 1826 el físico alemán Georges Simon Ohm observó mediante un experimento que en un circuito eléctrico existía una relación entre las magnitudes eléctricas R , V e I . Basándose en este experimento estableció la ley de Ohm que dice que la intensidad de corriente que pasa por un circuito o por un elemento del mismo es directamente proporcional a la tensión aplicada en sus extremos e inversamente proporcional a la resistencia que ese circuito o elemento presenta al paso de la corriente. [22]

La ley de Ohm establece la relación entre la corriente, el voltaje y la resistencia. La ley se expresa matemáticamente de tres maneras.

La corriente en un circuito es igual al voltaje aplicado al circuito dividido entre la resistencia del circuito.

Ecuación 1: Corriente eléctrica

$$I = \frac{V}{R}$$

La resistencia de un circuito es igual al voltaje aplicado al circuito dividido entre la corriente del circuito.

Ecuación 2: Resistencia eléctrica

$$R = \frac{V}{I}$$

El voltaje aplicado a un circuito es igual al producto de la corriente y la resistencia del circuito.

Ecuación 3: Voltaje

$$V = I * R$$

En las que

I = Corriente en A

R = Resistencia en Ω

V = Voltaje en V

4.1.6 Resistencia (R)

La resistencia es la oposición que cualquier material ofrece al paso de la corriente eléctrica, se expresa en Ohm simbolizada mediante la letra griega omega (Ω) y en las ecuaciones se representa con el símbolo R. Un Ohm se define como la cantidad de resistencia que limita la corriente en un conductor a un ampere cuando el voltaje aplicado al conductor es de un voltio. [23]

4.1.7 Potencia eléctrica

La potencia se puede describir como la energía o trabajo consumido o producido en un determinado tiempo. En los circuitos eléctricos la unidad de potencia es el vatio (W) y su definición está relacionada con la tensión aplicada y la intensidad que circula por un circuito: [24], se dice que un vatio es la energía (trabajo) que libera un amperio en un circuito con una tensión de un voltio. Puede expresarse con la siguiente formula de potencia.

Ecuación 4: Potencia eléctrica

$$P = V * I$$

Donde

P = Potencia en W

V = Voltaje en V

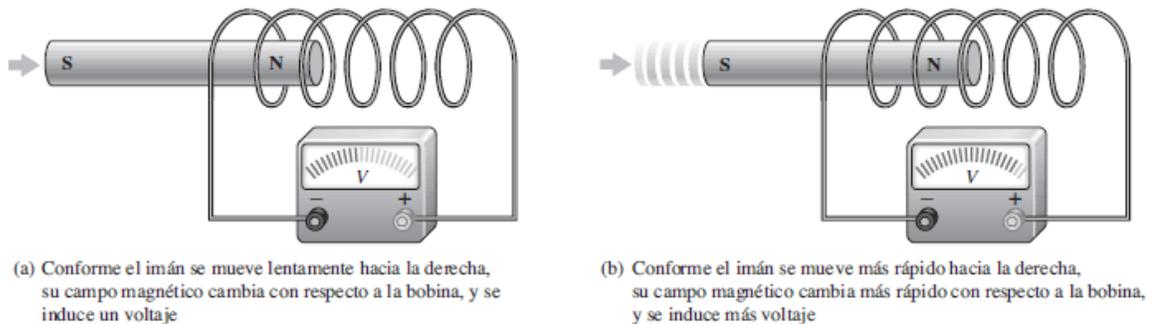
I = Corriente en A

5. Generación de electricidad

5.1 Ley de Faraday

Esta ley establece en su primer enunciado que la cantidad de voltaje inducido en una bobina es directamente proporcional a la rapidez de cambio del campo magnético con respecto a la bobina (df/dt), como se muestra en la Figura 5-1

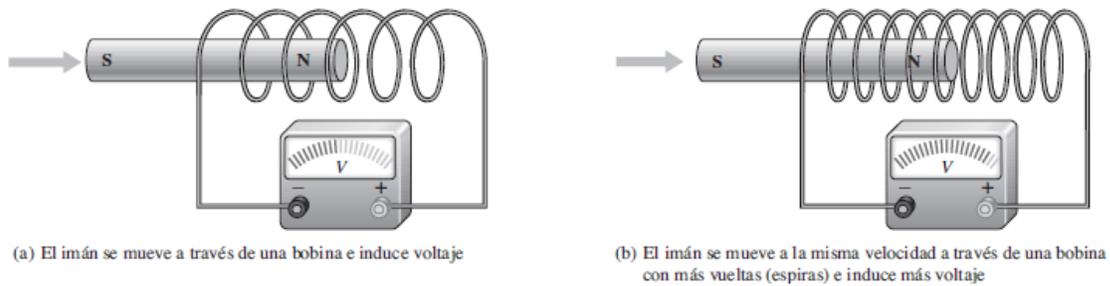
Figura 5-1: Primer enunciado de la Ley de Faraday



Fuente: "Principio de circuitos eléctricos" octava edición Thomas L. Floyd Ed. Pearson

En su segundo enunciado, establece que la cantidad de voltaje inducido en una bobina es directamente proporcional al número de vueltas de alambre que hay en la bobina (N). Ver Figura 5-2

Figura 5-2: Segundo enunciado de la Ley de Faraday



Fuente: “*Principio de circuitos eléctricos*” octava edición Thomas L. Floyd Ed. Pearson

5.2 Generador eléctrico

Los generadores eléctricos son máquinas que se encargan de generar electricidad por medio de un movimiento mecánico. Es decir que convierten la energía mecánica de rotación en energía eléctrica. [25]

Existen dos tipos de generadores, de corriente alterna y de corriente continua; estos dos tipos de generadores producen electricidad mediante la conversión de energía mecánica en eléctrica, su gran diferencia es que los generadores de CA el flujo de electrones es bidireccional, oscila entre los polos positivo y negativo en una fracción de tiempo, mientras que los generadores de CC el flujo de los electrones es unidireccional, es decir, que no varía con el tiempo y se mantiene fijo en el polo positivo. [25] [26]

5.3 Generador de imanes permanentes

Un generador de imanes permanentes consiste en un juego de imanes que se mueven a un conjunto de bobinas las cuales se encuentran fijas. Un generador de imanes permanentes, es un generador síncrono donde el bobinado de excitación se ha sustituido por un sistema que se encuentra formado por imanes permanentes el cual suministra un campo de excitación constante. Una ventaja de los generadores de imanes permanentes es su simplicidad ya que el montaje y la fabricación del rotor son más baratas, además su mantenimiento es más sencillo ya que tienen menor cantidad de piezas que un generador normal. (18).

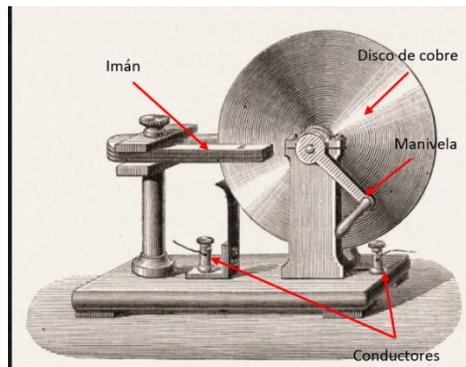
5.4 Clasificación de los generadores eléctricos

Existe gran variedad de aplicaciones en las cuales están involucrados los generadores eléctricos, sin embargo, la base del desarrollo de estos, parte de las dos clases de generadores que existen los cuales se mencionan a continuación de manera simplificada y sencilla para así conocer un poco más de ellos.

5.4.1 Dinamo

Los dinamos son generadores eléctricos, (ver Figura 5-3), los cuales transforman el flujo magnético en electricidad, entregando una corriente continua. Los dinamos están compuestos por una bobina e imanes, cuando la bobina gira influenciada por el campo magnético de los imanes, se induce en esta una corriente eléctrica que se conduce al exterior mediante unas escobillas. Este concepto se debe a Michael Faraday (1791-1867), quién descubrió que moviendo un imán cerca de un circuito eléctrico cerrado, o cambiando el campo magnético que pasa a través de él, era posible "inducir" una corriente eléctrica. [27] [28]

Figura 5-3: Disco de Faraday (Dinamo)



Fuente: <http://electrotecniafordummies.blogspot.com/2018/01/la-dinamo.html>

5.4.2 Alternador

Un alternador es una maquina eléctrica capaz de transformar la energía mecánica en energía eléctrica (ver Figura 5-4), suministrando una corriente alterna (la corriente cambia de sentido), mediante inducción electromagnética. En estos tipos de generadores el inducido es el estator y el inductor el rotor. Este tipo de alternadores originan el campo magnético a través de bobinas y son usados en la mayoría de los vehículos automotores. [29] [30]

Figura 5-4: Alternador eléctrico



Fuente: <https://caymansseo.com/que-es-como-funciona-un-alternador>

6. Almacenamiento de Energía

Un sistema de almacenamiento de energía, está compuesto por uno o varios elementos capaces de almacenar energía eléctrica, ya sea a través de procesos químicos como las baterías, y eléctricos como los supercondensadores y bobinas superconductoras, estos métodos son utilizados por el ser humano para mantener la energía en cualquier forma y poder liberarla cuando se necesario, además, permite mejorar la calidad del suministro eléctrico a empresas y particulares, minimizando el riesgo de suspensión del suministro eléctrico [31].

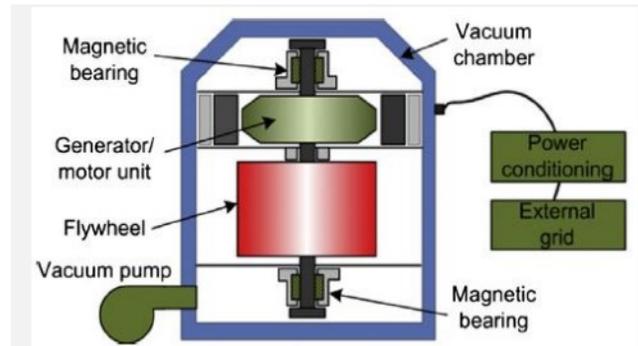
El almacenamiento de energía ayuda a garantizar un suministro confiable de energía del operador de red a los usuarios finales, también facilita la generación de energía por las industrias, comercio y viviendas a través de energías renovables y en su caso ofertarla a la red.

A continuación, se citan algunos modos de almacenamiento.

6.1 Volante de inercia

Flywheel Energy Storage System (FESS). Se conoce también como batería mecánica, (Ver Figura 6-1), es un elemento que se alimenta de energía eléctrica y la almacena en forma de energía cinética, haciendo girar una masa llamada rotor el cual gira en un recinto casi sin fricción, dicha energía será liberada en el momento que sea necesaria [32].

Figura 6-1: Volante de Inercia



Fuente: Ruta N Medellín, Centro de innovación y negocios www.rutanmedellin.org

Los volantes de inercia tienen diferentes aplicaciones en la industria, a continuación, se indican algunas de estas aplicaciones:

- En mecánica automotriz, el volante de inercia almacena energía cinética que ayuda al movimiento alternativo del motor, lo que suaviza el flujo de energía entre una fuente de potencia y su carga. [33]
- El almacenamiento de energía eléctrica en los sistemas de potencia, ya que mantienen la estabilidad de la frecuencia y garantizan el funcionamiento eficiente de la red, adicionalmente reducen el consumo de combustibles contaminantes. [34]
- Suministro de energía eléctrica a corto plazo en los sistemas de alimentación ininterrumpidos o UPS (por sus siglas en inglés), como una alternativa al uso de las baterías que tienen estos equipos. Para este caso el volante de inercia se comporta como un motor ya que convierte la energía eléctrica en energía cinética, esto cuando hay energía eléctrica comercial en sitio, y cuando esta se suspende, se convierte en un generador, transformando la energía eléctrica en energía cinética para poder soportar la carga crítica. [35]

6.2 Supercondensadores

Los Supercondensadores son dispositivos usados para el Almacenamiento de Energía, haciéndolo de forma similar a un capacitor tradicional, con la diferencia de que la carga no se acumula en dos conductores, sino en la interfaz entre la superficie de un conductor

y una solución electrolítica, además, son componentes electrónicos pasivos que permiten el almacenamiento de energía en pequeños periodos de tiempo [36].

6.3 Baterías

Una batería es un dispositivo electroquímico que transforma energía química en energía eléctrica y viceversa. Una batería almacena energía eléctrica para el uso cuando es necesario. El proceso de transformación es reversible, lo que significa que la batería puede ser cargada y descargada un determinado número de veces. (37). Las baterías cuentan con parámetros eléctricos que facilitan su selección, de acuerdo con su aplicación. Dentro de los parámetros más relevantes que caracterizan a las baterías se encuentran:

- La tensión nominal o de operación (Voltios); el Voltio (V) es la unidad del sistema internacional de medida de potencial eléctrico y fuerza electromotriz.
- La capacidad nominal de la batería (Amperios-Hora), el amperio hora (Ah), es la cantidad de electricidad suministrada durante una hora por una corriente cuya fuerza media es de un ampere. El ampere-hora también es usado para cuantificar la capacidad de almacenamiento de una batería a través de la multiplicación de la corriente en amperes por el tiempo de descarga en horas. (Ejemplo: una batería que suministra 5 amperes durante 20 horas: $5 \text{ A} \times 20 \text{ h} =$ capacidad de 100 Ah).
- Voltaje Nominal: En el caso de las baterías plomo-ácido, el voltaje (teórico) nominal de una única celda es definido en 2 voltios. El voltaje nominal de la batería como un todo resulta de la multiplicación de los voltajes de las celdas individuales por el número de celdas conectadas en serie. El voltaje nominal de las baterías de arranque es de 12 V.

El tipo de baterías con la que cuenta el equipo de tomografía eléctrica propiedad de la UAN son baterías VRLA tipo gel de ácido de plomo regulada por válvula, de 12V/12AH, son selladas y libres de mantenimiento. Este tipo de baterías producen pocos gases por lo que pueden ser usadas en lugares sin mucha ventilación. Las baterías VRLA son las muy usadas en sistemas con paneles solares fotovoltaicas y su calidad es muy buena.

6.3.1 Tipos de baterías

▪ Baterías de plomo-acido

Es el modo de almacenamiento químico más usado en la actualidad, ya que el cátodo está hecho de óxido de plomo, el ánodo de plomo, y el electrolito es ácido sulfúrico, como se muestra en la Figura 6-2. presentan eficiencias relativamente altas (63% - 90%), este tipo de baterías son de muy bajo costo, son muy usadas en el sector automotriz. Las baterías de plomo-acido no soportan muchos ciclos de descarga profunda, es decir, hasta que la energía de la batería este totalmente agotada, y necesitan mantenimiento de manera periódica para que no se afecte su funcionamiento. [38].

Figura 6-2: Batería Plomo-Acido



Fuente: Batería de plomo y ácido. (2019, 23 de octubre). *Wikipedia*,

https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Bater%C3%ADa_de_plomo_y_%C3%A1cido&oldid=120686664.

▪ Baterías de Ion-litio

Es una tecnología desarrollada vertiginosamente que ofrece una densidad de energía de tres veces la de una batería plomo ácido (ver Figura 6-3). Esta gran mejora viene dada por su bajo peso atómico 6,9 versus 209 para la de plomo. Su mayor barrera se basa en la química de intercalación de materiales. Entre sus aplicaciones principales se encuentran los teléfonos móviles, los ordenadores portátiles, automóviles eléctricos, etc. [38].

Figura 6-3: Baterías Ion-Litio



Batería Li-ion Nokia para alimentar un teléfono

Fuente:

https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Bater%C3%ADa_de_ion_de_litio&oldid=120081142

▪ **Baterías de Níquel-hidruro metálico (NiMH)**

Es una batería recargable como se ilustra en la Figura 6-4, extensión de la tecnología de NiCd, ofrece una mayor densidad de energía y el ánodo es hecho de metal hidruro evitando los problemas ambientales de la NiCd conservando muchas de sus limitaciones. Son usadas en la tracción eléctrica, en el transporte público de la ciudad de Niza (Francia). [38].

Figura 6-4: Batería de Níquel-Hidruro metálico (NiMH)



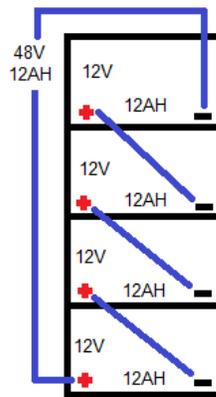
Pilas recargables de NiMH modernas

Fuente: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Bater%C3%ADa_de_n%C3%ADquel-metal_hidruro&oldid=117109179.

Existen diferentes formas de efectuar una conexión de baterías de acuerdo a cada requerimiento, es decir, si se requiere aumentar el voltaje en la conexión de baterías, la

conexión se realiza en serie como se ilustra en la Figura 6-5, para este caso, el voltaje de todas las baterías se suma, es decir, el voltaje de la conexión es 48 Voltios, y la corriente del circuito es el valor de una sola batería, que para el ejemplo es 12 AH.

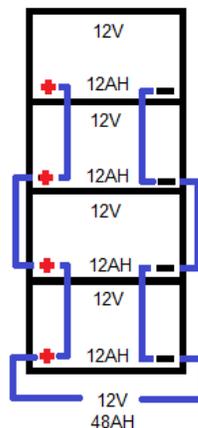
Figura 6-5 Conexión de baterías en Serie



Fuente: Autores

Por otro lado, si lo que se necesita aumentar en la conexión de baterías es la corriente, se efectúa una conexión tipo Paralelo, donde el voltaje de la conexión permanece igual y la corriente de las baterías de la conexión se suman, esto se evidencia en la Figura 6-6.

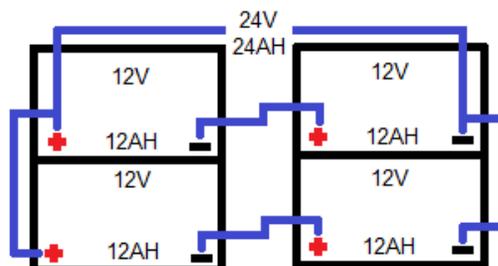
Figura 6-6: Conexión de baterías en Paralelo



Fuente: Autores

También existe la posibilidad de mezclar las conexiones mencionadas anteriormente (Serie-Paralelo) para elevar tanto el voltaje como la corriente en una conexión de baterías, tal como se muestra en la Figura 6-7.

Figura 6-7: Conexión de baterías Serie-Paralelo



Fuente: Autores

Para lograr que una batería se cargue adecuadamente se debe disponer de un rectificador [39], que es un dispositivo electrónico que convierte la corriente alterna en corriente continua, ya que las baterías requieren corriente continua, esto para los casos donde la fuente de energía eléctrica sea de tipo alterna, en caso contrario, la recarga se puede realizar de manera directa, como es el caso del presente proyecto donde la recarga de las baterías se efectúa por medio de un generador de imanes permanentes con salida de corriente continua.

7. Tomografía de resistividad eléctrica (TRE)

La tomografía de resistividad eléctrica es una herramienta cuyo fin es determinar la distribución de la resistividad del subsuelo haciendo mediciones desde la superficie del terreno. La resistividad eléctrica es una propiedad que se relaciona con la composición y arreglo de los constituyentes sólidos del suelo, el contenido de agua y la temperatura (40) y puede ser considerada como una forma de acceder al conocimiento de la variabilidad de las propiedades físicas del mismo.

El equipo TRE usado por la universidad Antonio Nariño consta de dos consolas, una llamada GeoAmp 303 (ver Figura 7-1), que es un equipo para prospección geoeléctrica mediante el método de resistividad DC. cuenta con un software de adquisición de datos automático llamado PowerDAQ para registrar la resistividad aparente del subsuelo, y la otra llamada ASM001 (ver Figura 7-2), que es un conmutador automático que se conecta con el equipo GeoAmp303 para realizar tomografías eléctricas 2D. Puede conmutar entre pares de hasta 32 electrodos distribuidos en una línea de máximo 310 m de longitud. En conjunto con el GeoAmp303 permite obtener imágenes del subsuelo para diferentes aplicaciones.

Figura 7-1: Equipo de tomografía ASM001



Fuente: <http://www.subsuelo3d.com/>

Figura 7-2: Equipo de tomografía GeoAmp303



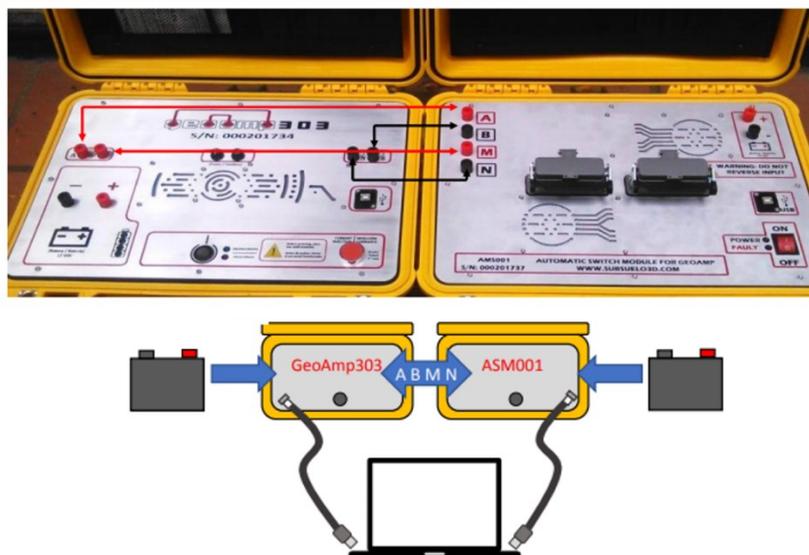
Fuente: <http://www.subsuelo3d.com>

Adicionalmente el equipo TRE cuenta con un computador portátil para la adquisición de datos, dos baterías de 12V/12AH para alimentar las dos consolas, un carrete con 300 metros de cable y 32 electrodos de acero inoxidable de 60 cm de longitud.

El montaje del equipo TRE se realiza efectuando inicialmente la conexión de las dos consolas entre sí (GeoAmp 303 y Switch AMS001), de acuerdo a la Figura 7-3, cada consola con su batería de alimentación de 12V/12AH, las consolas llevan conectados los carretes de cable (ver Figura 7-4), y estos van conectados a los electrodos que estarán clavados en el terreno donde se realizara la prospección del subsuelo, tal como se ilustra en la Figura 7-5. [40]

Figura 7-3: Conexión de las dos consolas (GeoAmp303 y AMS001)

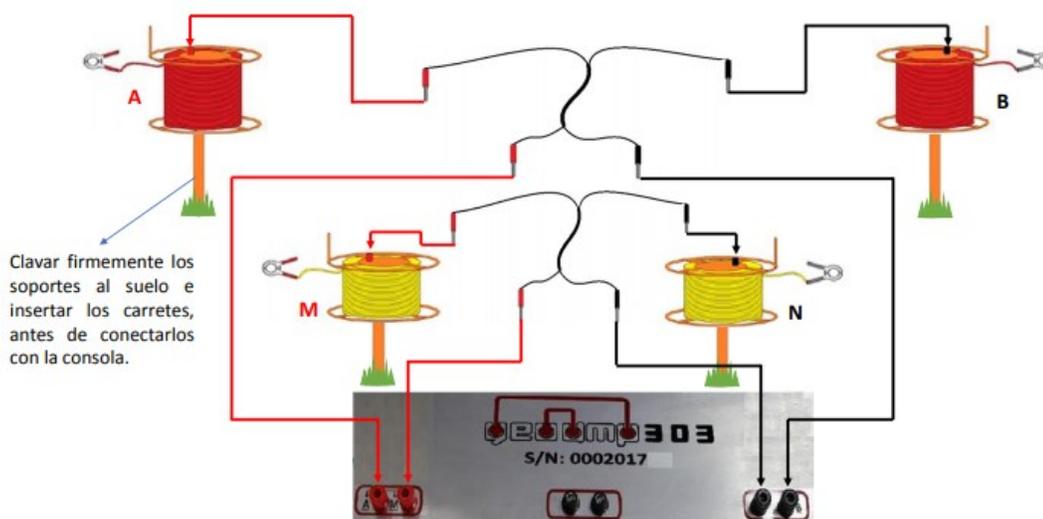
Mediante los cables A, B, M, N se deben conectar las consolas GeoAmp303 y ASM001. De este modo la corriente se pasa desde el GeoAmp303 hacia el switch ASM001, para que este último la conmute a los diferentes pares de electrodos durante el proceso de adquisición de la tomografía eléctrica.



Fuente: <http://www.subsuelo3d.com/>

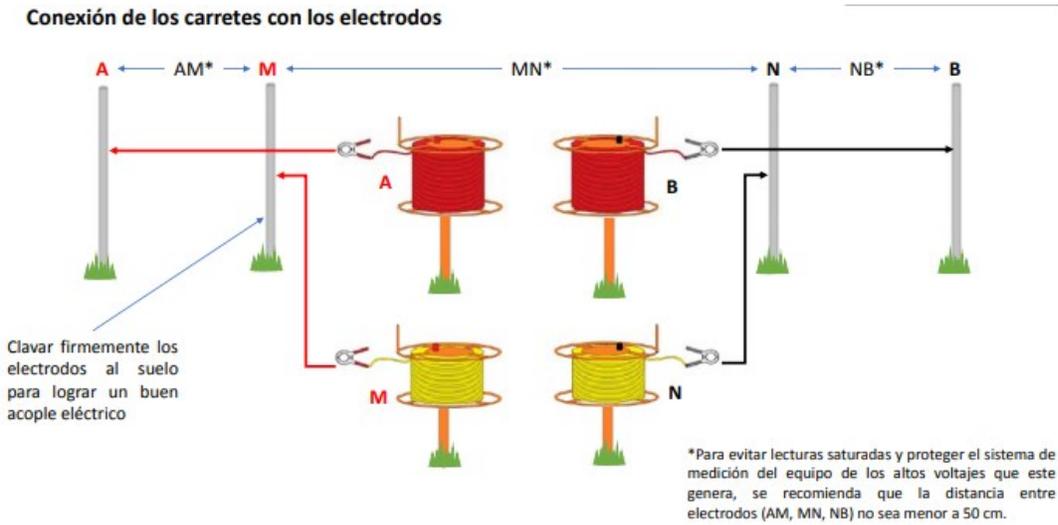
Figura 7-4: Conexión carretes de cable con las consolas del equipo TRE

Conexión de los carretes con la consola



Fuente: <http://www.subsuelo3d.com>

Figura 7-5: Conexión carretes de cable con los electrodos



Fuente: <http://www.subsuelo3d.com>

La inyección de corriente y medición del potencial eléctrico resultante, se puede visualizar mediante la Figura 7-6, donde se evidencia la manera en que los electrodos son acomodados en el terreno.

Figura 7-6: Configuración electrónica



Fuente: Autores

El equipo TRE tiene una potencia nominal de funcionamiento por consola de 60 W, y en conjunto de 120 W, datos que se reflejan al multiplicar el voltaje por la corriente (ver Figura 7-1), manejan un voltaje de salida de 150 VDC y una corriente de salida que puede llegar

a 2 A, de acuerdo a las condiciones de la medición, con una capacidad para conexión de 32 electrodos, poseen una temperatura de operación de 0°C a 40°C, y en almacenamiento desde -40°C hasta 85°C.

Figura 7-7: Consolas equipo TRE



Fuente: Autores

7.1 Aplicaciones del equipo TRE

El equipo ASM001 en conjunto con el GeoAmp303, permite obtener imágenes del subsuelo para aplicaciones como exploración de aguas subterráneas, detección de cavernas y oquedades [41], detección de plumas de contaminación [42], estudios geotécnicos, estudios de identificación de sedimentos y rocas en el subsuelo [43], además de la detección de fosas comunes.

Uno de los casos de estudio realizado por la empresa Subsuelo3d en el cual se usa el equipo TRE, es la tomografía eléctrica en una mina de sal, donde se requería entender por dónde se estaba filtrando el agua en dicha mina; allí se adquirieron dos líneas de tomografía eléctrica usando los equipos de TRE, se procesaron datos para eliminar el ruido y se aplicaron los algoritmos para suavizar y eliminar los cambios abruptos en las tendencias de resistividades, con este estudio se pudo identificar el especial cuidado que se debe tener con los contrastes de la resistividad que hay en las minas de sal, debido a que el agua salada es muy conductiva y las rocas salinas muy resistivas. [44]

8. Fundamentos de mecanismos y transmisión de potencia

La transmisión de potencia desde una fuente, tal como un mecanismo o un motor, es una de las tareas más comunes que se asignan a una maquinaria. Un medio eficiente para transmitir la potencia es a través del movimiento rotatorio de un eje, soportado por cojinetes. Se pueden incorporar engranes, bandas, poleas o catarinas de cadena a fin de proporcionar cambios de velocidad y par de torsión entre ejes. La mayoría de los ejes son cilíndricos (sólidos o huecos) e incluyen diámetros de paso con hombros para alojar la posición y soporte de los cojinetes, engranes, etcétera. [45]

8.1 Sistemas de transmisión de potencia

Un sistema de transmisión de potencia o sistema de transmisión mecánica es un conjunto de elementos mecánicos que realizan la transferencia y conversión de la energía mecánica, para su uso en diferentes elementos o sistemas que conforman una máquina [46].

Teniendo en cuenta el propósito del sistema para realizar un trabajo concreto, se procede a escoger los elementos de transmisión de potencia, engranes, cadenas, bandas y poleas.

8.1.1 Transmisión por bandas, correas y poleas.

Este es un tipo de transmisión mecánica el cual está conformado por la unión de dos o más poleas, siempre tiene que haber una polea conductora y otra que es conducida, la eficiencia depende de la fricción entre la superficie de la correa y la polea cada una en su respectivo eje, ver Figura 8-1. [47].

Figura 8-1: Sistema de correa y polea



Fuente: Autores

Ventajas:

- Marcha silenciosa.
- Buena absorción y amortiguación de choques y golpes.
- Múltiples posibilidades de instalación para diferentes aplicaciones.
- Desacoplamiento sencillo.
- Variación sencilla de la relación de transmisión.
- Posibilidad de trabajar a altas velocidades de rotación.

Desventajas:

- Deslizamiento entre la correa y la polea lo que genera una pérdida de potencia que esta entre el 1% al 2%.
- Transmisión radial de fuerzas hacia los ejes y apoyos debido a la tensión que debe aplicarse a la correa para su funcionamiento.
- Variación del coeficiente de rozamiento a causa del polvo, suciedad, aceite o humedad.
- Pequeña duración de las bandas en transmisiones rápidas (6 meses, aproximadamente).

8.1.2 Transmisión por cadena

Este tipo de transmisión de potencia está compuesto por dos ruedas dentadas (ver Figura 8-2), las cuales son utilizadas en la gran mayoría de ocasiones cuando se necesita transmitir gran potencia a bajas velocidades sin que este varíe demasiado su relación de potencia, esta es su gran diferencia a comparación de la transmisión por bandas. [48].

Figura 8-2: Transmisión por cadena



Fuente: Autores

Ventajas:

- No hay desplazamiento ya que están sujetas a los dientes de ruedas dentadas
- Su duración a comparación a las correas es muy superior
- Se pueden manejar a altas temperaturas.
- Trabajan con distancia menores entre los ejes

Desventajas:

- Se necesitan lubricación y limpiezas periódicamente
- No sirve para transmisión de altas velocidades
- Mayor costo respecto a bandas

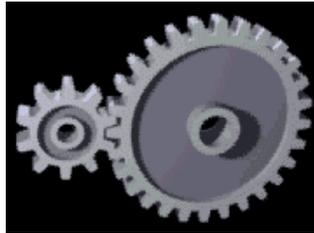
8.1.3 Engranajes

Los engranajes son ruedas dentadas que se usan para transmitir movimiento o potencia desde un eje giratorio hasta otro. La mayor parte de las transmisiones con engranes causan un cambio de la velocidad de salida del engrane, en relación con la del engrane de entrada. [48] [49]

8.1.4 Tipos de engranajes

- **Engranés Rectos:** Los engranes rectos poseen dientes paralelos al eje de rotación, los cuales se utilizan para transmitir movimiento entre ejes paralelos. Este tipo de engranajes son los más sencillos para diseñar y fabricar, son bastante comerciales, se emplean para manejar bajas velocidades y poseen relación estable y constante de velocidad, aunque pueden llegar a ser un poco ruidosos. [48] [49]

Figura 8-3: Engrane recto



- Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Engranaje>

- **Engranajes helicoidales:** los engranajes helicoidales poseen los dientes inclinados con respecto al eje de rotación, lo que quiere decir, que, aunque manejan las mismas aplicaciones que los engranajes rectos, estos son menos ruidosos, su trabajo es más uniforme con respecto a los engranajes rectos y sus esfuerzos son más pequeños. Pueden transmitir más potencia y más velocidad que un engranaje recto, además son más costosos que estos, debido a que su diseño es más complicado. [48] [49]

Figura 8-4: Engranaje helicoidal



Fuente: <http://www.anemsa.com/productos/engranajes-helicoidales/>

- **Engranajes cónicos:** Los engranajes cónicos poseen dientes de forma de cono, lo que los hace útiles para transmitir movimiento entre ejes perpendiculares o ejes con ángulos diferentes a 90°, también son fáciles de diseñar y fabricar, manejan

bajas velocidades y tienen baja resistencia comparados con otro tipo de engranajes. [48] [49]

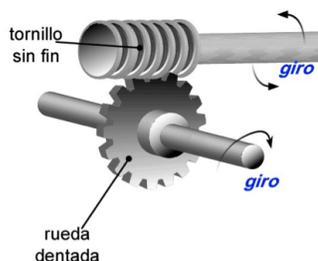
Figura 8-5: Engranaje cónico



Fuente: <https://machinerygarden.com/fella/434-engranaje-conico.html>

- **Tornillo sinfín:** El tornillo sinfín trabaja en relación con una rueda dentada que se encuentran a 90° entre sí. Este tipo de mecanismo puede conseguir reducciones bastante altas en espacios muy reducidos, debido a su baja relación de transmisión, además, pierden rendimiento por la pérdida de energía en forma de calor que producen. [48] [49]

Figura 8-6: Tornillo sinfín



Fuente imagen: **Mecanismo sinfín-corona.** Jesús Lozano Monge y Francisco J. Soria López en "Mecanismos"

8.1.5 Relación de transmisión

La relación de velocidades (VR) se define como la relación de la velocidad angular del engrane de entrada a la del engrane de salida, para un solo par de engranes. [49]

En poleas la relación de transmisión se puede calcular como relación entre la velocidad de salida entre la velocidad de entrada, o mediante la relación entre diámetro de entrada entre el diámetro de salida. [50].

Se describe a continuación el cálculo respectivo,

Ecuación 5: Relación de velocidad

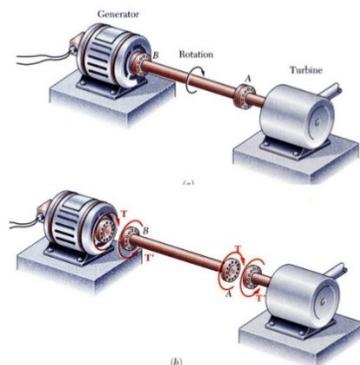
$$relacion\ de\ velocidad = e = \frac{W_g}{W_{Pedal}} = \frac{2000\ rpm}{75\ rpm} = 26.6$$

Con los datos obtenidos se realizó la distribución (en valores iguales), para la relación de transmisión por bandas correas y poleas, y para la relación de transmisión por cadena, obteniendo un valor de 5.15. este valor se refleja con detalle en el capítulo 10.

8.1.6 Torsión

La Torsión es la deformación de un eje, producto de la acción de dos fuerzas paralelas con direcciones contrarias en sus extremos. La Torsión también es la capacidad de giro que tiene una fuerza aplicada sobre un objeto, y en una barra, eje u objeto, se habla de torsión cuando uno de sus extremos permanece fijo y el otro se somete a una fuerza giratoria (un par). [52]

Figura 8-7: Cargas torsionales en ejes circulares



- Son de interés los esfuerzos y deformaciones de ejes circulares sometidos a pares de torsión o torques.
- La turbina ejerce un torque T en el eje.
- El eje transmite el torque al generador.
- El generador crea un torque igual y opuesto T'

Fuente: <https://pt.slideshare.net/angelithocardenas/torsin-parte-1/2>

8.1.7 Potencia mecánica

La potencia mecánica es la rapidez con que se realiza un trabajo. Su expresión matemática es:

Ecuación 6: Potencia mecánica

$$P = \frac{T}{t}$$

Donde

P = Potencia en Joule/s = watts (W).

T = trabajo realizado en Joule (J).

t = tiempo en que se realiza en trabajo en segundos (s).

La potencia se mide en Watts (W) y se dice que existe una potencia mecánica de un watt cuando se realiza un trabajo de un joule por segundo:

$$1W = \frac{J}{s}$$

Gracias a la potencia mecánica podemos calcular la rapidez o lentitud con la que podemos realizar un trabajo en un determinado periodo de tiempo. [51]

9. Selección equipos de generación y almacenamiento de carga.

Para obtener electricidad es necesario acudir a algún tipo de generación; la electricidad se genera, se transmite y se puede almacenar.

El objetivo de este proyecto es generar energía y almacenarla en baterías para luego usarla en la alimentación de un equipo TRE, esto se hace posible mediante el pedaleo en un sistema mecánico el cual convierte energía mecánica en energía eléctrica. Con base en este requerimiento se piensa en un generador de imanes permanentes el cual brinda las características necesarias para ser usado en el presente proyecto, y otorga una comodidad al pensar desde el costo-beneficio, ya que este generador requiere de poco mantenimiento en comparación con un motor de inducción, además sus componentes no se desgastan fácilmente.

Teniendo en cuenta que la potencia nominal del equipo TRE, la cual es de 120 W, se opta por usar un generador de imanes permanentes de 350 W (ver Figura 9-1), el cual debe girar a 2000 rpm para entregar 18.2 voltios DC con la posibilidad de entregar 250 W aproximadamente, de acuerdo con los datos obtenidos en la ecuación 8, a este generador se le realizaron pruebas de funcionamiento mediante un torno convencional, con velocidad máxima de giro de 2000 rpm, con la que se obtuvo un voltaje de salida de 18.2V (ver Tabla 9-1), y considerando la cadencia de pedaleo de una persona que es de 75 rpm [53], se pudo determinar una relación de velocidad de 26.6, de acuerdo a la ecuación 5, con lo cual se puede comprobar que el generador suplirá la demanda de energía requerida para el diseño del sistema mecánico de pedaleo.

Figura 9-1: Generador de imanes permanentes

Potencia= 350 w
Voltaje: 12/24 VDC
Corriente salida nominal: 13.5A
Velocidad rotación: 0-2750 rpm



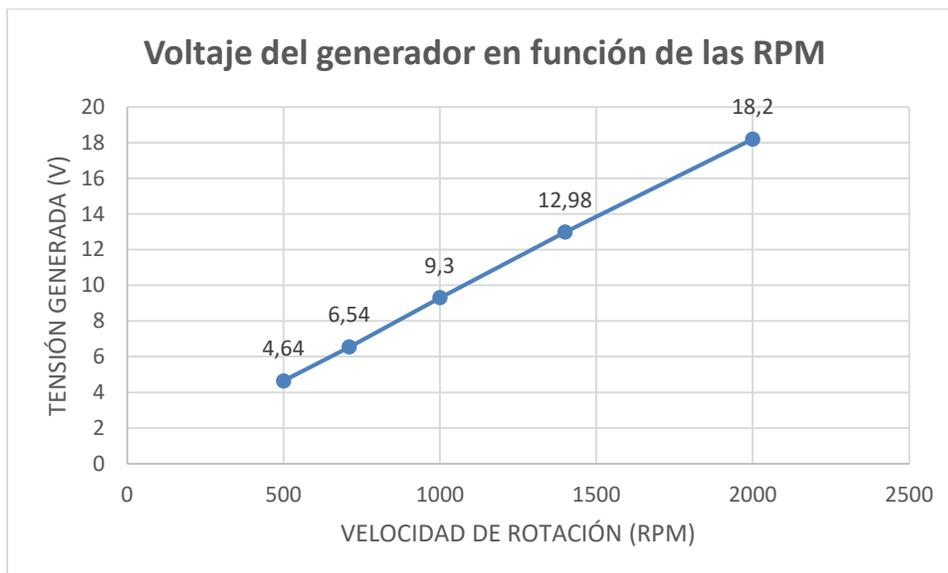
Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-455600066-generador-dc-eolico-hidraulico-_JM#position=1&type=item&tracking_id=10020a19-19d3-4bf8-9629-6d3918b799ff

Tabla 9-1: Valores de revoluciones por minuto y voltaje del generador

RPM	VOLTAJE
500	4,64
710	6,54
1000	9,3
1400	12,98
2000	18,2

Fuente: Autores

En la anterior tabla se puede evidenciar los diferentes valores de voltaje que entrega el generador de imanes permanentes al ser accionado en un torno convencional (pruebas realizadas en vacío).

Figura 9-2: Voltaje del generador en función de las RPM

Fuente: Autores

La gráfica mostrada en la figura 9-2, muestra la relación que existe entre la velocidad de giro del generador de magnetos permanentes y la tensión generada, razón por la cual se considera que, mediante el suministro de la velocidad angular de 2000 rpm, se obtiene una tensión de 18.2 V (en vacío), suficiente para modificarse mediante un regulador electrónico (descrito adelante), y obtener una tensión de salida de 14.15 V, adecuada para recargar las baterías de 12V. [37]

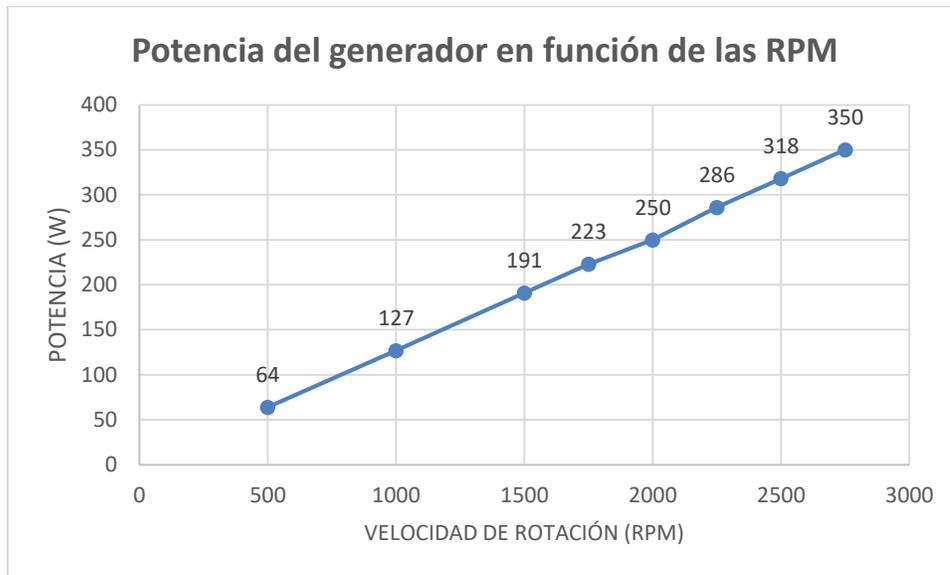
En la tabla se puede evidenciar los diferentes valores de potencia que entrega el generador de imanes permanentes al cambiar la velocidad de giro (RPM), valores que se obtienen a partir de la ecuación 8 para las diferentes velocidades

Tabla 9-2: Potencia del generador en función de las RPM

RPM	Potencia (W)
500	64
1000	127
1500	191
1750	223
2000	250
2250	286

RPM	Potencia (W)
2500	318
2750	350

Figura 9-3: potencia del generador en función de las RPM



Fuente: Autores

La gráfica mostrada en la figura 9-3, muestra la relación que existe entre la velocidad de giro del generador de magnetos permanentes y la potencia generada, valores obtenidos para los diferentes valores de RPM, mediante la ecuación 8.

10. Cálculos de diseño para el sistema mecánico

El presente apartado detalla el diseño mecánico, donde se presentan los cálculos de resistencia mecánica de los diferentes componentes de la máquina, así como la selección de componentes como rodamientos, transmisión por p Polea y transmisión por cadena.

Consideraciones de diseño

Velocidad de pedaleo de una persona adulta

Velocidad pedaleo = $W_{Pedal} = 75 \text{ rpm}$, rpm generadas por una persona adulta

Velocidad de generación

Velocidad de generacion = $W_g = 2000 \text{ rpm}$, velocidad para generar 18.2 V

Potencia de generación

La potencia del generador es de 350 w, y trabaja a 2750 rpm para entregar un voltaje de 24 voltios, con este valor inicial se obtiene el nuevo valor de potencia

Ecuación 7: Potencia

$$P = T * W$$

Donde

$$P = \text{Potencia en } \frac{N * m}{s}$$

$$T = \text{Torque en } N * m$$

$$W = \text{Velocidad angular en } \frac{rad}{s}$$

Despejando de la ecuación el torque se obtiene,

$$T = \frac{P}{W} = \frac{350 \frac{Nm}{s}}{2750rpm * \frac{2\pi}{60s}} = 1.215 Nm$$

Hallamos el valor de potencia con el valor máximo de torque para 2000 rpm que se requieren para generar 18.2 V

$$P = T * W = 1.215 Nm * (2000rpm * \frac{2\pi}{60s}) = 254.46 \frac{Nm}{s} \approx 250w$$

El valor obtenido se usará para efectuar los cálculos correspondientes en presente documento.

Se busca transmitir movimiento del eje de los pedales al eje del generador usando transmisiones de potencia, el eje acoplado a los pedales gira a 75 rpm y se debe producir una velocidad en el otro eje de 2000 rpm, por lo tanto, se halla la relación de velocidades entre los ejes usando la ecuación 6

$$e = 26,6$$

Debido a una relación de velocidades alta y queriendo que el sistema mecánico de pedaleo sea compacto, se establecen 2 etapas de transmisión, una transmisión por cadena y una transmisión por banda, estas transmisiones tendrán valores iguales, por lo tanto, cada transmisión tendrá una relación de velocidad de 5.15, teniendo en cuenta que en cada etapa se tendrá una relación de velocidad del mismo valor, como son dos etapas de transmisión,

Entonces

$$e = 26.6$$

Para que cada etapa tenga el mismo valor, se saca la raíz cuadrada para obtener el valor por etapa

$$\sqrt{26.6} = 5.15$$

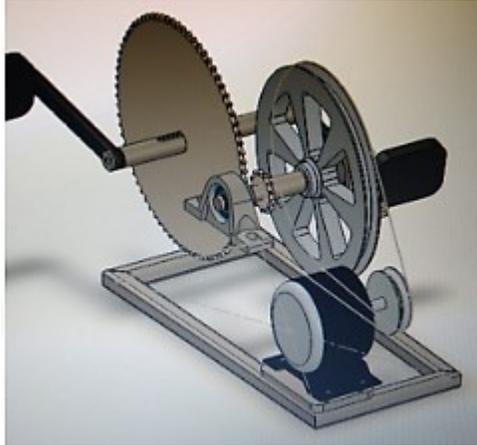
Es decir

$$e = e_{cadena} * e_{polea} = 5.15 * 5.15 = 26,52 \approx 26,6$$

El Sistema mecánico se compone de dos ejes, un eje que soporta la polea conductora y un piñón del sistema de transmisión por cadena, este eje va conectado al generador

mediante una polea motriz, el otro eje soporta la rueda del sistema de transmisión por cadena y también sostiene los pedales que dan movimiento al sistema, en la Figura 10-1 se muestra el sistema mecánico de la máquina.

Figura 10-1: Sistema mecánico de pedaleo



Fuente: Autores

10.1 Sistema de transmisión por polea-banda

Datos de diseño:

Potencia (P): 250 *watts*

$W_g = 2000 \text{ rpm}$

relacion de velocidad = $e_{polea} = 5.15$

Ecuación 8: Velocidad angular

$$W_i = \frac{W_g}{e_{polea}} = \frac{2000 \text{ rpm}}{5.15} = 388.3$$

Tipo de servicio: servicio intermitente

10.1.1 Selección de la correa:

Se selecciona una banda tipo V, por las ventajas y características que presenta:

- Instalación económica y fácil
- Buena eficiencia mecánica
- Su operación es silenciosa y suave
- No necesitan lubricantes para su funcionamiento
- La elasticidad de las correas permite amortiguar cargas
- Requiere poco mantenimiento
- Larga expectativa de vida

En comparación con las correas planas, las correas en V, presentan mejores relaciones de carga en los rodamientos y por ende una vida útil mayor, además, al acoplarse en las ranuras de las poleas se obtiene mejor agarre y con esto se evita que se resbale, mejorando la transmisión de potencia.

10.1.2 Potencia de diseño:

Para determinar la potencia de diseño se emplea la siguiente fórmula donde se relacionan la potencia del operario y el factor de servicio, el cual depende de las horas de servicio de la máquina.

Ecuación 9: Potencia de diseño

$$Pd = P \times KS$$

Donde:

P = potencia

Pd : potencia de diseño.

Ks : factor de servicio para correas en V .

Usando el catálogo de poleas del fabricante Intermecc, [54] se halla el factor de servicio correspondiente. (ver Figura 10-2).

Figura 10-2: Factor de servicio para poleas

TIPOS DE MÁQUINAS O EQUIPOS	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO
Agitadores para líquidos Sopladores y aspiradores Transportadores de trabajo ligero Ventiladores de hasta 10 caballos de fuerza	1.1	1.2	1.3
Transportadores de banda para arena, grano, etc Bombas rotativas de desplazamiento positivo Máquinas herramientas Maquinaria de lavandería Mezcladores de masa Fijas de línea Generadores	1.2	1.3	1.4
Maquinaria de imprenta Taladros-prensas-cortadores Cribas giratorias y vibratorias Ventiladores de mas de 10 caballos de fuerza	1.4	1.5	1.6
Maquinaria para aserrios y trabajos en madera Transportadores (arrastre o tornillo) Compresores de pistón Molinos de martillo Pulverizadores Excitadores Maquinaria textil Bombas de pistón Elevadores cangilones Maquinaria para ladrillos Sopladores de desplazamiento positivo	1.5	1.6	1.8
Trituradoras [giratorias-mandibula-rodillo] Extrusoras-molinos de caucho Molinos de bolas Molacates	1.5	1.6	1.8

Fuente: <https://www.intermec.com.co/>

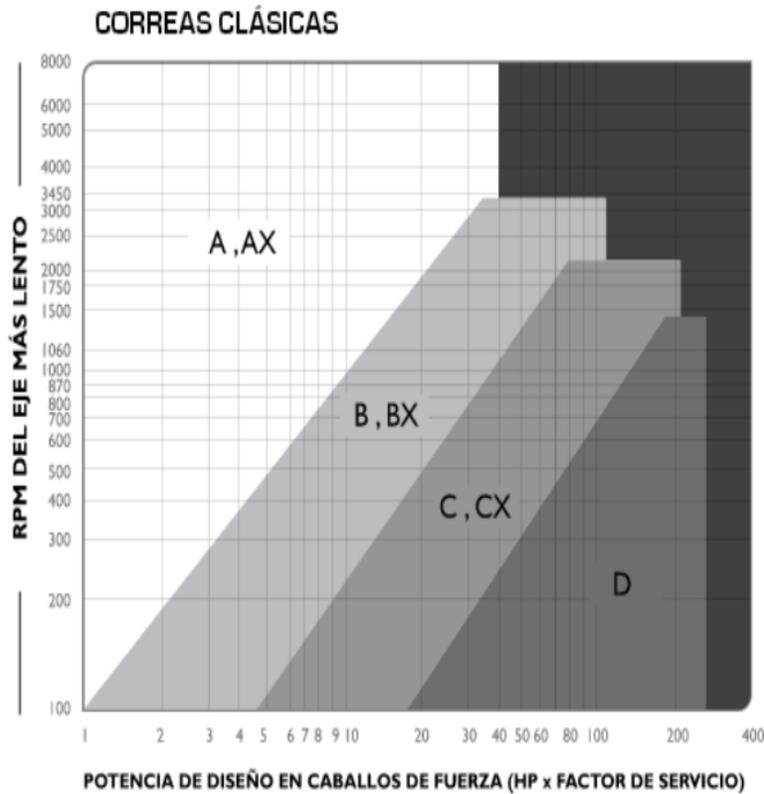
El factor de servicio para máquinas generadoras con un tipo de servicio intermitente es de 1.2, según la figura anterior. Por lo tanto:

$$Pd = 250 \text{ watts} \times 1.2 = 300 \text{ watts} = 0.4 \text{ hp}$$

10.1.3 Selección de correa

Se utiliza la gráfica de la Figura 10-3, para determinar el tipo de banda a utilizar teniendo en cuenta la velocidad (Wg) y la potencia de diseño (Pd):

Figura 10-3: Potencia de diseño en caballos de fuerza



Fuente: <https://www.intermec.com.co/>

Debido a que la potencia es baja y menor a 1 hp, se selecciona una banda tipo A.

10.1.4 Selección de la polea motriz:

Figura 10-4: Selección de polea motriz

RPM del Eje más Rápido	Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)								
	85	90	100	105	110	115	120	125	130
1200	1.32	1.60	2.12	2.38	2.63	2.90	3.15	3.40	3.65
1300	1.40	1.68	2.24	2.52	2.80	3.07	3.35	3.62	3.90
1400	1.46	1.77	2.37	2.66	2.96	3.25	3.54	3.83	4.10
1500	1.53	1.85	2.50	2.80	3.20	3.42	3.73	4.03	4.34
1600	1.60	1.93	2.60	2.93	3.26	3.60	3.90	4.23	4.55
1700	1.65	2.00	2.70	3.06	3.40	3.75	4.10	4.43	4.76
1750	1.67	2.04	2.77	3.13	3.48	3.83	4.18	4.52	4.86
1800	1.70	2.08	2.82	3.20	3.55	3.90	4.26	4.60	4.96
1900	1.75	2.15	2.93	3.30	3.70	4.06	4.43	4.80	5.16
2000	1.80	2.22	3.03	3.42	3.82	4.20	4.60	4.97	5.34
2100	1.85	2.28	3.12	3.53	3.94	4.35	4.74	5.14	5.53
2200	1.90	2.34	3.20	3.64	4.07	4.48	4.92	5.31	5.70

Fuente: <https://www.intermec.com.co/>

Siguiendo el catálogo de Intermec, [54], fabricante de la correa y polea, un diámetro mínimo para la polea conductora sería de 85 mm, teniendo una potencia de diseño de 0.4 hp y una velocidad de 2000 rpm, la polea es de un solo canal y la medida comercial se muestra en la siguiente figura 10-5.

Figura 10-5: Dimensiones estándar de la polea

POLEAS TIPO
A

DIMENSIONES DE POLEAS PARA BUJES QD

Nomenclatura para poleas con Buje QD

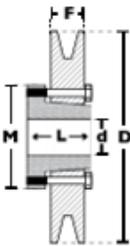
Diámetro exterior de la polea en mm

Perfil de la correa

Número de canales

Poleas en "V" para Buje QD

PQ 1A120



Modelo T1

Diámetro Exterior (D)		Referencia Polea	Ref. Buje	Huevo máximo con cuñero estándar (d)		Longitud del Buje en mm (L)	Diámetro del buje en mm (M)	Modelo	Peso sin Buje en Lb
pulg	mm			mm	pulg				
2.2	55	PQ 1A55	JA	25.4	1	27	50	T1	0.7
2.3	60	PQ 1A60	JA	25.4	1	27	50	T1	0.8
2.5	65	PQ 1A65	JA	25.4	1	27	50	T1	0.8
2.8	70	PQ 1A70	JA	25.4	1	27	50	T1	0.9
3.0	75	PQ 1A75	JA	25.4	1	27	50	T1	1.0
3.4	80	PQ 1A80	JA	25.4	1	27	50	T1	1.0
3.3	85	PQ 1A85	JA	25.4	1	27	50	T1	1.1
3.8	90	PQ 1A90	SH	25.4	1	33	70	T1	1.3
3.9	100	PQ 1A100	SH	34.9	1	33	70	T1	1.6

Fuente: <https://www.intermec.com.co/>

10.1.5 Selección de polea conducida

Conociendo el diámetro exterior de la polea motriz y la relación de velocidad, se puede hallar el diámetro de la polea conducida:

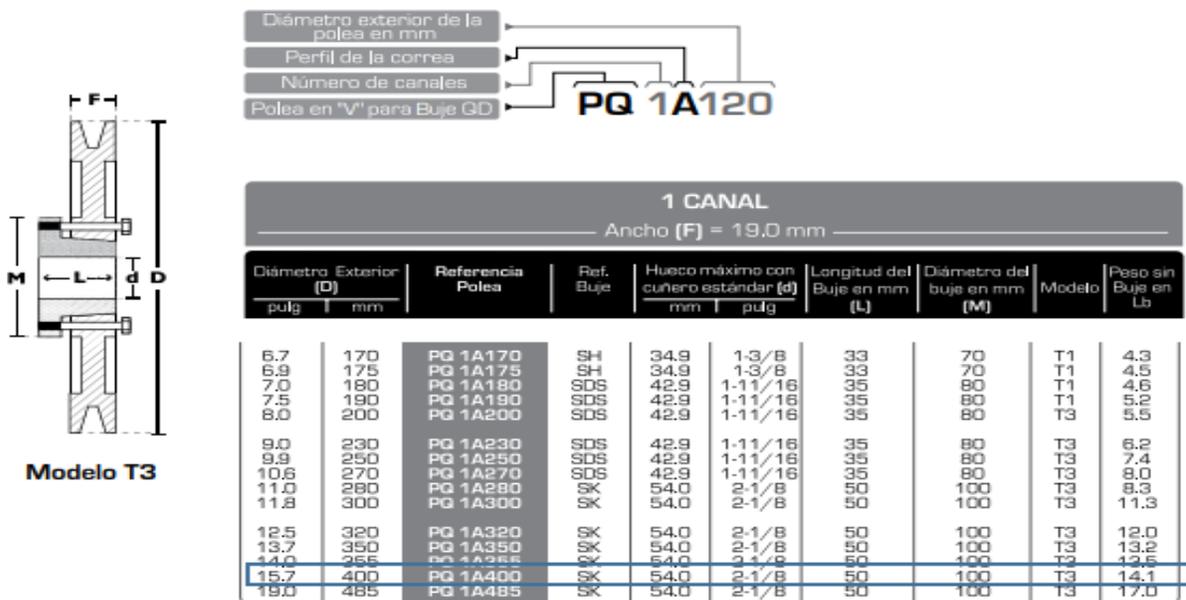
$$e_{polea} = \frac{W_g}{W_i} = \frac{D_{conducida}}{D_{motriz}} = \frac{2000 \text{ rpm}}{388,3 \text{ rpm}} = 5.15$$

$$D_{conducida} = D_{motriz} * e = 85 \text{ mm} * 5.15 = 437.75 \text{ mm}$$

Se escoge un diámetro comercial de 400 mm para la polea conducida

En la Figura 10-6 se muestran las dimensiones y especificaciones de la polea conducida.

Figura 10-6: Dimensiones y especificaciones de la polea conducida



Fuente: <https://www.intermec.com.co/>

Teniendo en cuenta este diámetro comercial, se realizará el recalcu de la relación de velocidades de la transmisión por polea,

$$e_{polea} = \frac{D_{conducida}}{D_{motriz}} = \frac{400}{85} = 4.7$$

Este será el valor real de la relación de transmisión por polea.

Se realiza también el recalcu de la velocidad angular del eje intermedio

Velocidad angular eje intermedio

$$W_i = \frac{W_g}{e_{polea}} = \frac{2000 \text{ rpm}}{4.7} = 425.5 \text{ rpm}$$

Esta será la velocidad real de salida de la transmisión por polea

10.1.6 Distancia entre centros (poleas)

La distancia entre centros es un factor clave, (ver Figura 10-7), puesto que afecta la capacidad de transmisión de la correa. Los fabricantes recomiendan las siguientes distancias entre centros de los ejes.

Figura 10-7: Distancias entre centros de ejes

Dist. "Recomendada": $C = 1,5 (D + d)$
 Dist. "Máxima": $C = 2 (D + d)$
 Dist. "Mínima": $C = 0,7 (D + d)$
 C= Distancia entre centros.
 D= Diámetro polea mayor.
 d= Diámetro polea menor.

Fuente: <https://www.intermec.com.co/>

$$D_{recomendada} = 1.5 * [400 \text{ mm} + 85 \text{ mm}] = 727.5 \text{ mm}$$

$$D_{maxima} = 2 * [400 \text{ mm} + 85 \text{ mm}] = 970 \text{ mm}$$

$$D_{minima} = 0.7 * [400 \text{ mm} + 85 \text{ mm}] = 339.5 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta estas distancias se manejará una distancia entre centros para el diseño de 500 mm, por lo tanto:

$$C = 500 \text{ mm}$$

10.1.7 Longitud de la correa

Para calcular la longitud de las correas, se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación 10: Longitud de correa

$$L_p = 2C + 1.57[D + d] + \frac{[D + d]^2}{4C}$$

donde:

L_p = longitud de la correa

D = diametro de la polea mayor

d = diametro de la polea menor

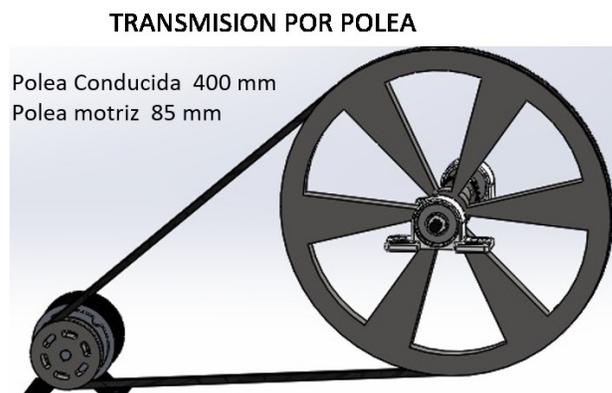
C = distancia entre centros

Reemplazando los valores, se obtiene,

$$L_p = 2 * 500 + 1.57[400 \text{ mm} + 85 \text{ mm}] + \frac{[400 \text{ mm} + 85 \text{ mm}]^2}{4 * 500} = 1761.5 \text{ mm}$$
$$= 69.35 \text{ pulgadas}$$

Por lo tanto, la longitud comercial de la correa será de 70 pulgadas, se puede evidenciar en la Figura 10-8

Figura 10-8: Transmisión por polea a una relación de velocidad de 5.15



Fuente: Autores

10.1.8 Selección de transmisión por cadena

- **Análisis de velocidades:**

Teniendo una relación total a transmitir de

$$e = 26,6$$

Donde anteriormente se recalculó la relación de transmisión de la primera etapa por polea

$$e_{polea} = 4.7$$

Por lo tanto, se halla la relación de velocidad que debe tener la transmisión por cadena

$$e = e_{cadena} * e_{polea} = e_{cadena} * 4.7 = 26,6$$

$$e_{cadena} = \frac{26.6}{4.7} = 5.65$$

El sistema de transmisión por cadena, debe garantizar una relación de reducción de velocidades de 5,65.

Se toma como valor de partida, una potencia nominal de:

$$Potencia (P): 250 \text{ watts} = 0.33 \text{ hp}$$

La Catarina o piñón tendrá la misma velocidad angular del eje intermedio recalculado, ya que esta acoplada a dicho eje, por lo tanto

$$W_{catarina} = W_i = 425.5 \text{ rpm}$$

Conociendo la relación de velocidades

$$e_{cadena} = 5.65$$

Se halla la velocidad angular del engranaje

$$\frac{W_{Catarina}}{W_{engranaje}} = 5.65$$

$$W_{engranaje} = \frac{W_{Catarina}}{5.65} = \frac{425.5 \text{ rpm}}{5.65} = 75 \text{ rpm},$$

rpm generadas por una persona adulta

10.1.9 Potencia de diseño de la cadena:

Para la selección de la cadena se tiene que tener en cuenta la potencia a transmitir por tal motivo para esta selección se usara un factor compensatorio de seguridad el cual se obtuvo del catálogo de la empresa Intermecc [54].

El margen compensatorio de seguridad es simplemente un número mayor que 1, por el cual se deben multiplicar los caballos de fuerza que se van a transmitir para aumentar y compensar con un margen de seguridad cuando la fuente de potencia no es uniforme y/o cuando la máquina o carga de trabajo tampoco lo es.

Figura 10-9: Factores para calcular Margen de seguridad

Factores para calcular el margen compensatorio de seguridad			
Clase de la fuente de potencia			
Tipo de carga	Motor de combustión interna con convertidor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con embrague o caja mecánica
Uniforme	1.0	1.0	1.2
Fluctuante	1.2	1.3	1.4
Muy fluctuante	1.4	1.5	1.7

Fuente: <https://www.intermec.com.co/>

Este factor será de 1.5, se supone la fuente como un motor eléctrico y como el movimiento es generado por una persona, la carga será muy fluctuante, por tanto, la potencia que soportará las cadenas se calcula con la potencia de entrada a la transmisión por este factor

$$\text{potencia cadena} = \text{Potencia (P)} * K$$

$$\text{potencia cadena} = 0.33 \text{ hp} * 1.5$$

$$\text{potencia cadena} = 0.495 \text{ HP}$$

10.1.10 Número de dientes de la Catarina:

Conociendo la velocidad del piñón conductor $W_{\text{catarina}} = 425.5 \text{ rpm}$ y la potencia de 0.495 hp, se busca en el catálogo de Intermecc [54], un tipo de cadena conveniente que brinde las condiciones de trabajo requeridas. (ver Figura 10-1).

Tabla 10-1: Tabla de capacidad para cadena

TABLA DE CAPACIDAD
CADENA ESTANDAR SENCILLA DE RODILLOS NO. 25 PASO 1/4"

No. de dientes piñón conductor	RPM DEL PIÑÓN CONDUCTOR																				
	50	100	300	500	700	900	1200	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	
9	0.02	0.04	0.12	0.18	0.25	0.31	0.41	0.50	0.58	0.67	0.75	0.83	0.93	1.06	1.02	0.86	0.73	0.63	0.56	0.49	0.44
10	0.03	0.05	0.13	0.21	0.28	0.35	0.45	0.56	0.65	0.75	0.86	1.04	1.19	1.20	1.00	0.86	0.74	0.65	0.58	0.52	0.47
11	0.03	0.05	0.14	0.23	0.31	0.39	0.50	0.62	0.73	0.83	0.98	1.15	1.32	1.38	1.16	0.99	0.86	0.75	0.67	0.60	0.55
12	0.03	0.06	0.16	0.25	0.34	0.43	0.55	0.68	0.80	0.92	1.07	1.26	1.45	1.57	1.32	1.12	0.97	0.86	0.76	0.68	0.63
13	0.04	0.06	0.17	0.27	0.37	0.47	0.60	0.74	0.87	1.00	1.17	1.38	1.58	1.77	1.49	1.27	1.10	0.96	0.86	0.77	0.72
14	0.04	0.07	0.19	0.30	0.40	0.50	0.65	0.80	0.94	1.08	1.27	1.49	1.71	1.93	1.66	1.42	1.23	1.08	0.98	0.88	0.83
15	0.04	0.07	0.20	0.32	0.43	0.54	0.70	0.86	1.01	1.17	1.36	1.61	1.85	2.08	1.84	1.57	1.36	1.20	1.08	0.96	0.91
16	0.04	0.08	0.22	0.34	0.47	0.58	0.76	0.92	1.09	1.25	1.46	1.72	1.98	2.23	2.03	1.73	1.50	1.32	1.17	1.05	1.00
17	0.05	0.08	0.23	0.37	0.50	0.62	0.81	0.99	1.16	1.33	1.56	1.84	2.11	2.38	2.22	1.90	1.64	1.44	1.28	1.14	1.09
18	0.05	0.09	0.25	0.38	0.53	0.66	0.86	1.05	1.24	1.42	1.66	1.96	2.25	2.53	2.42	2.07	1.79	1.57	1.39	1.25	1.20
19	0.05	0.09	0.26	0.41	0.56	0.70	0.91	1.11	1.31	1.50	1.76	2.07	2.38	2.69	2.62	2.24	1.94	1.70	1.51	1.36	1.31
20	0.06	0.10	0.28	0.44	0.59	0.74	0.96	1.17	1.38	1.59	1.86	2.19	2.52	2.84	2.83	2.42	2.10	1.84	1.63	1.46	1.41
21	0.06	0.11	0.29	0.46	0.62	0.78	1.01	1.24	1.46	1.68	1.96	2.31	2.66	2.99	3.05	2.60	2.26	1.98	1.76	1.57	1.52
22	0.06	0.11	0.31	0.48	0.65	0.82	1.07	1.30	1.53	1.76	2.06	2.43	2.79	3.15	3.27	2.79	2.42	2.12	1.88	1.69	1.64
23	0.06	0.12	0.32	0.51	0.69	0.86	1.12	1.37	1.61	1.85	2.16	2.55	2.93	3.30	3.50	2.98	2.59	2.27	2.01	1.80	1.75
24	0.07	0.13	0.34	0.53	0.72	0.90	1.17	1.46	1.69	1.94	2.27	2.67	3.07	3.46	3.73	3.18	2.76	2.42	2.15	1.92	1.87
25	0.07	0.13	0.35	0.55	0.75	0.94	1.22	1.50	1.76	2.02	2.37	2.79	3.21	3.61	3.86	3.38	2.93	2.57	2.28	2.04	1.99
26	0.07	0.14	0.37	0.58	0.79	0.98	1.28	1.56	1.84	2.11	2.47	2.91	3.34	3.77	4.19	3.69	3.11	2.73	2.42	2.17	2.12
28	0.08	0.15	0.40	0.63	0.85	1.07	1.38	1.69	1.99	2.29	2.68	3.15	3.62	4.09	4.54	4.01	3.47	3.05	2.70	2.42	2.37
30	0.08	0.16	0.43	0.68	0.92	1.15	1.49	1.82	2.15	2.46	2.88	3.40	3.90	4.40	4.89	4.45	3.85	3.38	3.00	2.68	2.63
32	0.09	0.17	0.46	0.73	0.98	1.23	1.60	1.95	2.30	2.64	3.09	3.64	4.18	4.72	5.25	4.80	4.25	3.73	3.30	2.96	2.91
35	0.10	0.19	0.51	0.80	1.08	1.36	1.76	2.15	2.53	2.91	3.41	4.01	4.61	5.20	5.78	5.30	4.66	4.26	3.78	3.38	3.33
40	0.12	0.22	0.58	0.92	1.25	1.57	2.03	2.48	2.93	3.36	3.93	4.64	5.32	6.00	6.68	6.18	5.53	5.21	4.62	4.13	4.08
45	0.13	0.25	0.66	1.05	1.42	1.78	2.31	2.82	3.32	3.82	4.47	5.26	6.05	6.82	7.58	7.17	6.49	6.21	5.51	4.93	4.88

Lubricación Tipo A: A mano, con aceitera o brocha
 Lubricación Tipo B: En baño de aceite o por selbique
 Lubricación Tipo C: Al chorro bajo presión.

La información contenida en estas tablas esta basada en los estándares de la ASOCIACIÓN AMERICANA DE FABRICANTES DE CADENAS (American Chain Association)

INFORMACIÓN INTERMECC

Quando se trata de cadenas de hilera multiplique por la capacidad por:

No. DE HILERAS

2.....

3.....

4.....

Fuente: <https://www.intermec.com.co/>

De acuerdo a la Figura 10-1, se escoge el tipo de cadena, se manejarán 22 dientes en el piñón conductor (Catarina).

Finalmente se selecciona una cadena estándar sencilla de rodillos No. 25 paso $\frac{1}{4}$ ", lubricación A (a mano, con aceitera o brocha) y una hilera de transmisión.

10.1.11 Número de dientes del engrane

Para hallar el número de dientes del engranaje mayor, se tiene que la relación de velocidades para la transmisión es

$$e_{cadena} = 5.65$$

la relación del número de dientes debe cumplir que:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{W_{CATARINA}}{W_{ENGRANAJE}} = 5.65 =$$

Como el número de dientes del piñón es 22, el número de dientes del engranaje será:

$$N_2 = N_1 * 5.65$$

$$N_2 = 22 * 5.65 = 124.3 \approx 125$$

El número de dientes del engrane conducido será de 125

10.1.12 Distancia entre centros (piñones)

Por recomendación del fabricante Intermec [54], es importante tener en cuenta que una distancia demasiado corta causa un desgaste prematuro de la cadena y adicional a esto se reduce la cantidad de dientes enganchados, particularmente cuando la relación de transmisión es alta. Las distancias muy altas tampoco son convenientes dado que se presentan problemas de flexión y la cadena se torna muy pesada.

El autor recomienda que la distancia entre centros este entre 30 y 50 veces el paso, siendo 40 pasos un excelente punto de partida para el diseño, por lo tanto.

$$DC = 40 * paso = 40 * \frac{1}{4} in = 10 in = 254 mm$$

10.1.13 Longitud de la cadena

Siguiendo la fórmula del fabricante para el cálculo de la longitud, se tiene:

$$L_p = 2C + \frac{s}{2} + \frac{K}{s}$$

Donde

$L_p =$ numero de eslaboones

$C = \frac{\text{distancia entre centros}}{\text{paso de la cadena}}$

$$C = \frac{10 \text{ in}}{\frac{1}{4} \text{ in}} = 40$$

$S =$ Dientes del piñon conductor + Dientes del piñon conducido

$$s = 22 + 125$$

$$S = 147$$

$D =$ dientes del piñon conducido – dientes del piñon conductor

$$D = 125 - 22$$

$$D = 103$$

Para determinar el valor de K se usa la tabla de los valores DEK Según el valor de D, en Este caso el valor de D es de 103 por lo tanto el valor de K es 268.73

Tabla 10-2: Tabla de valores DEK

D	K	D	K	D	K	D	K	D
1	.03	32	25.94	63	100.54	94	223.82	125
2	.10	33	27.58	64	103.75	95	228.61	126
3	.23	34	29.28	65	107.02	96	233.44	127
4	.41	35	31.03	66	110.34	97	238.33	128
5	.63	36	32.83	67	113.71	98	243.27	129
6	.91	37	34.68	68	117.13	99	248.26	130
7	1.24	38	36.58	69	120.60	100	253.30	131
8	1.62	39	38.53	70	124.12	101	258.39	132
9	2.05	40	40.53	71	127.69	102	263.54	133
10	2.53	41	42.58	72	131.31	103	268.73	134
11	3.06	42	44.68	73	134.99	104	273.97	135
12	3.65	43	46.84	74	138.71	105	279.27	136

Fuente: <https://www.intermec.com.co/>

Por lo tanto, ya se puede determinar el número de eslabones de la cadena

$$L_p = 2C + \frac{s}{2} + \frac{K}{s}$$

$$L_p = 2(40) + \frac{147}{2} + \frac{268.73}{147} = 155.3$$

Se recomienda un número de eslabones pares, primordialmente para cumplir la condición de macho y hembra. Por lo tanto, se aproxima a 156.

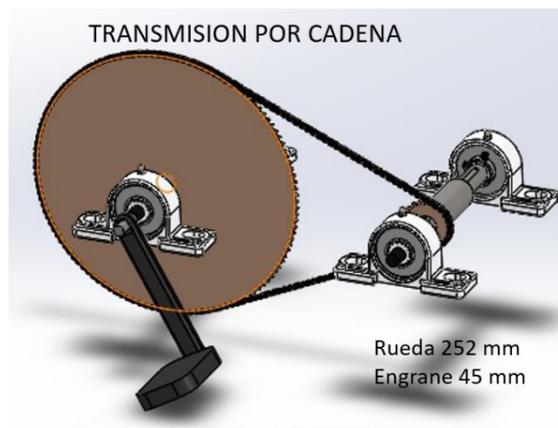
$$L_p = 156 \text{ eslabones}$$

Son 156 eslabones simples multiplicando por el paso de la cadena se halla su longitud

$$L = 156 * \frac{1}{4} \text{ in} = 39 \text{ in} = 990.6 \text{ mm}$$

En la Figura se evidencia el sistema de transmisión por cadena con los respectivos diámetros de los piñones y la relación de transmisión respectiva.

Figura 10-10: Trasmisión por cadena, con relación de transmisión de 5.15



Fuente: Autores

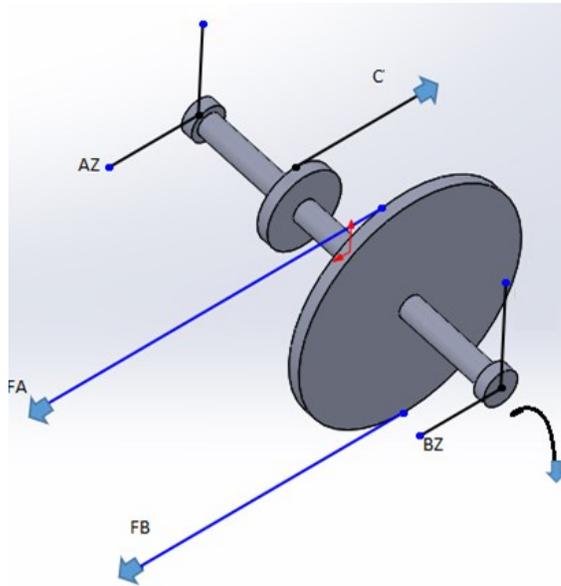
10.2 Análisis del eje intermedio

En el presente capítulo, se muestra el análisis matemático correspondiente al eje intermedio del sistema mecánico de pedaleo, donde se encontrarán montados la polea conducida de 400 mm y el engrane de 85 mm, que corresponden a la segunda etapa de transmisión.

10.2.1 Análisis por resistencia mecánica

El eje intermedio soporta la polea conductora y un piñón del sistema de transmisión por cadena, se realiza el esquema de fuerzas que interactúan en el eje, de acuerdo con la Figura 10-9.

Figura 10-11: Reacciones en los rodamientos que soportan el eje intermedio



Fuente: Autores

donde:

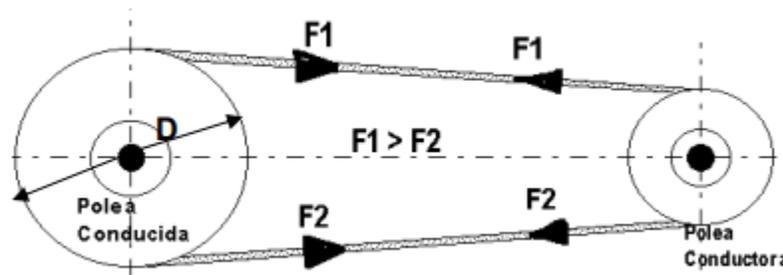
A_z, B_z son las reacciones en los rodamientos que soportan el eje

F_A, F_B son las fuerzas en la banda

$C =$ fuerza tangencial en la catarina

Análisis de fuerzas de la polea para hallar la fuerza total F_t que se trasladará al eje, dicho análisis se evidencia en la Figura 10-10.

Figura 10-12: Análisis de fuerzas de la polea



Fuente: https://gabpingeneria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/diseo_de_ejes.pdf

La relación de fuerzas para una transmisión por banda está dada por la siguiente ecuación

Ecuación 11: Relación de fuerzas para una transmisión por banda

$$\frac{F_A}{F_B} = e^{\mu\beta}$$

Donde: $\mu = 0,25$

$$\beta = \pi + 2 \sin^{-1} \frac{D - d}{2C} \quad D, d \text{ son los diámetros de las poleas, } C \text{ distancia entre centros}$$

Reemplazando valores se obtiene,

$$\beta = \pi + 2 \sin^{-1} \frac{400\text{mm} - 85\text{mm}}{2 * 500 \text{ mm}} = 3.78$$

$$\frac{F_A}{F_B} = e^{0.25 * 3.78} = 2.57$$

$$F_A = 2.57F_B$$

Se sabe que la potencia del sistema es: $P = 250 \text{ watts}$

El eje intermedio tiene una velocidad angular de $W_i = 425.5 \text{ rpm} = 44.55 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

Se halla el torque en la banda realizando el siguiente análisis

Ecuación 12: Potencia

$$P = T * W_i$$

Donde

$$P = \text{Potencia en } \frac{N * m}{s}$$

$$T = \text{Torque en } N * m$$

$$W_i = \text{Velocidad angular en } \frac{rad}{s}$$

Despejando el Torque en la ecuación de potencia se obtiene,

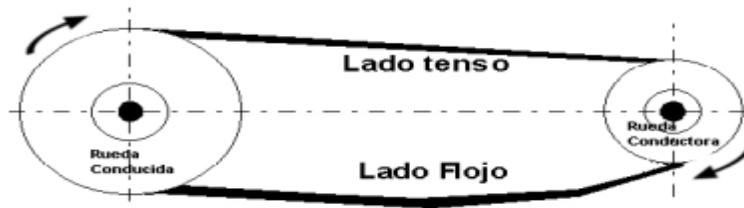
$$T = \frac{P}{W_i} = \frac{250 \frac{N * m}{s}}{44.55 \frac{rad}{s}} = 5.61 N * m$$

$$T = \text{Fuerza} * \text{distancia} = [F_A - F_B] * \frac{D}{2} = [2.57F_B - F_B] * \frac{0.4 m}{2} = 5.61 N * m$$

Despejando se obtiene: $F_B = 17.86 N$, $F_A = 45.9 N$

$$F_t = F_A + F_B = 63.76 N$$

Figura 10-13: Fuerza tangencial de la catarina



Fuente: https://gabpingenieria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/diseo_de_ejes.pdf

En estas transmisiones existe un lado tenso y el otro flojo, por lo tanto, el lado flojo no ejerce fuerza, y la fuerza estará dada por la fuerza tangencial del lado tenso.

$C = \text{fuerza tangencial en la catarina}$

$$T = C * \frac{D}{2}$$

Para hallar el diámetro de paso de la catarina se usa la ecuación

$$D_P = \frac{p}{\text{sen } \pi * z}$$

donde p es el paso y z el número de dientes de la catarina

$$D_P = \frac{6.35}{\text{sen } \pi * 22} = 44 \text{ mm}$$

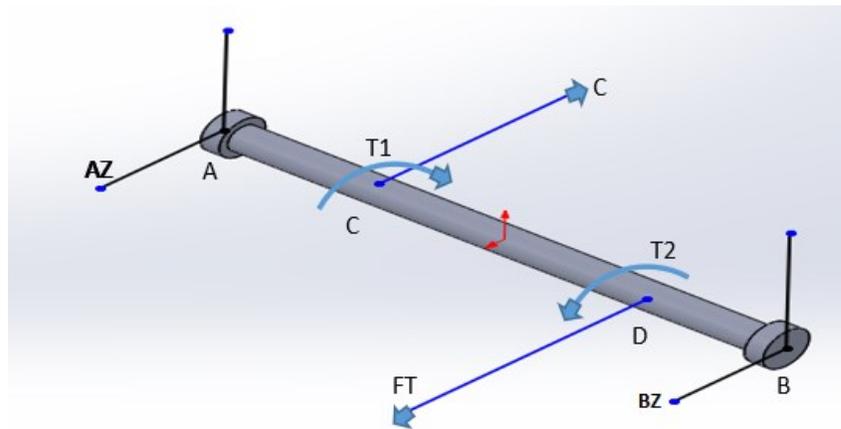
Por lo tanto

$$C = \frac{T * 2}{D_P} = \frac{5.61 \text{ N} * \text{m} * 2}{0.044 \text{ m}} = 255 \text{ N}$$

10.2.2 Fuerzas que actúan sobre el eje

Se trasladan las fuerzas al eje, las fuerzas "C" y "Ft" generan momentos o torques en el eje axial, tal como se muestra en la Figura 10-11

Figura 10-14: Fuerzas que actúan sobre el eje intermedio



Fuente: Autores

Donde:

$$T_1 = C * \frac{D_{\text{catarina}}}{2} = 255 \text{ N} * \frac{0.044 \text{ m}}{2} = 5.61 \text{ N} * \text{m}$$

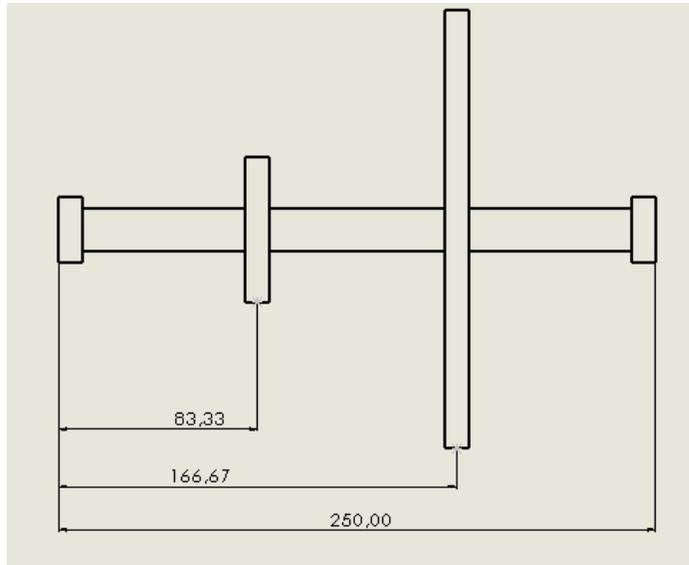
$$T_2 = T = 5.61 \text{ N} * \text{m}$$

Ambos torques son iguales, pero en sentido contrario, por lo tanto, se contrarrestan

10.2.3 Dimensiones del eje

La longitud total del eje será de 250 mm, la catarina y la polea se ubicarán simétricamente, en la Figura 10-12, se aprecian las distancias y longitudes en el eje.

Figura 10-15: Distancia y longitud del eje intermedio



Fuente: Autores

A continuación, se muestra el análisis estático respectivo

La sumatoria de fuerzas debe ser igual a cero.

$$\Sigma F_z = 0$$

$$A_z - C + F_t + B_z = 0$$

$$A_z = C - F_t - B_z$$

$$A_z = 255 \text{ N} - 63.76 \text{ N} - B_z = 191.24 - B_z$$

La sumatoria de momentos debe ser igual a cero

$$\Sigma M_A = 0$$

$$M_A = 83,33 \text{ mm} * C - 166,67 \text{ mm} * F_t + 250 \text{ mm} * B_z = 0$$

$$M_A = 83,33\text{mm} * 255\text{ N} - 166,67\text{ mm} * 63.76\text{ N} + 250\text{ mm} * B_z = 0$$

Despejando se obtiene:

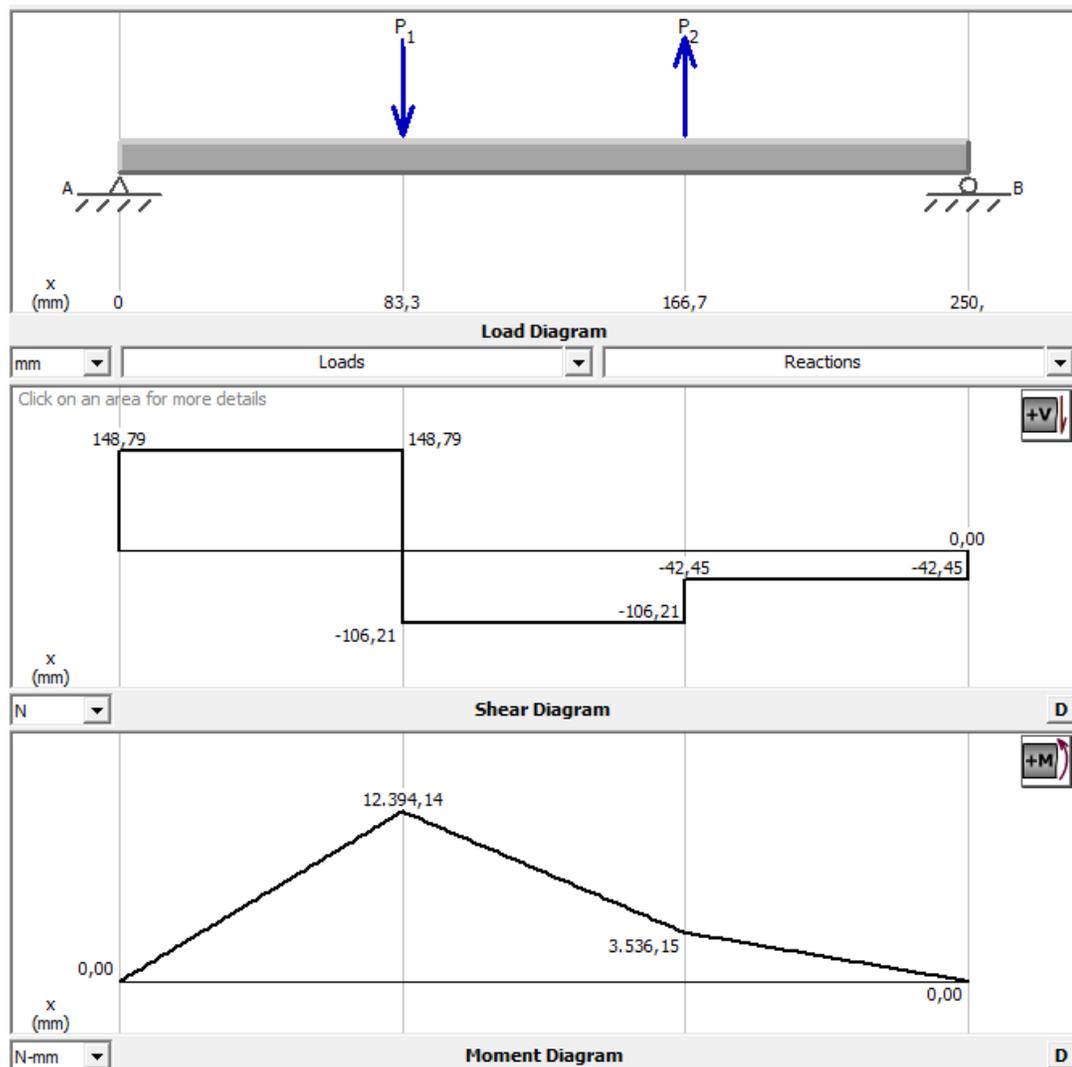
$$B_z = -42.45\text{ N}$$

$$A_z = 148.79\text{ N}$$

10.2.4 Diagramas de fuerzas y momentos

A continuación, se realiza el diagrama de fuerza cortante y momento flector para encontrar el momento flector máximo en el eje intermedio.

Figura 10-16: Diagrama de fuerza cortante y momento flector



Fuente: Autores

El momento flector máximo está definido por la siguiente ecuación

Ecuación 13: Momento flector máximo

$$m_{max} = L_{a-c} * A_z$$

10.2.5 Análisis de esfuerzo

La ecuación para el cálculo del esfuerzo máximo está definida por:

$$\sigma_{max} = \frac{m_{max} * C_{neutro}}{I}$$

Donde:

m_{max} = Es el momento flector máximo

I = es el Momento de inercia de la sección transversal calculado respecto al eje neutro

C_{neutro} es la distancia perpendicular del eje neutro al punto más alejado de este eje

$$I = \frac{\pi (d_{eje})^4}{64}, \text{ para sección cilíndrica}$$

$$C = \frac{d_{eje}}{2}$$

Donde d_{eje} es el diámetro del eje intermedio

Por lo tanto, reemplazando en las ecuaciones anteriores se obtiene.

Ecuación 14: Esfuerzo máximo

$$\sigma_{max} = \frac{L_{a-c} * A_z * \frac{d_{eje}}{2}}{\frac{\pi (d_{eje})^4}{64}} = \frac{32 * L_{a-c} * A_z}{\pi (d_{eje})^3}$$

Donde:

$$A_z = 148.79 \text{ N}$$

$$L_{a-c} = 83,33 \text{ mm}$$

El momento flector máximo será:

$$m_{max} = 83.33 \text{ mm} * 148.79 = 12.3986 \text{ N/m}$$

Con el diagrama de momento flector se establece que la sección crítica es la parte del eje intermedio que sujeta la catarina, con un momento flector máximo de 12.3986 Nm el momento torsor es despreciable debido a que su valor es menor al del momento flector, por lo tanto, el elemento estará sometido a flexión.

El esfuerzo inducido en la parte crítica del eje estará dado por

$$\sigma_{max} = \frac{L_{a-c} * A_z * \frac{d_{eje}}{2}}{\frac{\pi (d_{eje})^4}{64}} = \frac{32 * L_{a-c} * A_z}{\pi (d_{eje})^3}$$

El factor de seguridad está dado por:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{inducido}} \rightarrow \sigma_{inducido} = \frac{S_y}{FS}$$

Donde S_y es el límite de fluencia del material del eje

Igualando las ecuaciones se tiene:

Ecuación 15: Factor de seguridad

$$FS = \frac{\pi (d_{eje})^3 * S_y}{32 * L_{a-c} * A_z}$$

Despejando el diámetro del eje, se obtiene una expresión para estimar el diámetro del eje intermedio.

$$\left(\frac{FS}{\pi * S_y}\right)^{1/3} = d_{eje}$$

10.2.6 Material de los ejes

Los ejes se evaluarán en acero AISI-SAE 1020, ya que este es un acero muy comercial, de buena tenacidad y maquinabilidad, conveniente en la fabricación de ejes que no soportaran grandes esfuerzos, ver tabla 10-3.

Tabla 10-3:Propiedades del Acero AISI 1020

MATERIAL: Acero AISI 1020 Laminado en Caliente			
Esfuerzo de fluencia	Sy	225	MPa
Esfuerzo ultimo	Sut	380000000	Pa
Módulo Elástico	E	190000000000	Pa
Densidad	ρ	7860	kg/m ³
Factor de seguridad	N	1,5	Adimensional
Relaciones Geométricas	D/d	1,2	Adimensional
	r/d	0,02	Adimensional

Los valores de la tabla 10-3 están basados en los siguientes resultados

Este acero tiene un límite de fluencia de:

$$S_y = 225 \text{ Mpa}$$

Asimientu un factor de seguridad de 1.5, se puede despejar un diámetro tentativo para el eje intermedio.

$$FS = 1.5$$

$$d_{eje} = \left(\frac{32 * 83.33 \text{ mm} * 148.79 \text{ N} * 1.5}{\pi * 225 \text{ Mpa}} \right)^{1/3}$$

$$d_{eje} = 9.44 \text{ mm}$$

Este será el diámetro mínimo que se puede considerar en el eje intermedio, por lo tanto, para evitar mecanizado se escogerá un eje comercial de ½ pulgada

$$d_{eje} = \frac{1}{2} \text{ in} = 12.7 \text{ mm}$$

Con el diámetro real, se calcula el factor de seguridad usando la ecuación 15

$$FS = \frac{\pi (d_{eje})^3 * S_y}{32 * L_{a-c} * A_z}$$

$$FS = \frac{\pi (12.7 \text{ mm})^3 * 225 \text{ Mpa}}{32 * 83.33 \text{ mm} * 148.79 \text{ N}} = 3.6$$

10.2.7 Análisis por resistencia a la fatiga

El eje intermedio del sistema mecánico de pedaleo, estará sometido a cargas cíclicas de tensión y compresión por la aplicación del esfuerzo de flexión.

El límite de resistencia a la fatiga de un elemento mecánico está dado por:

Ecuación 16: Resistencia a la fatiga

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

Donde

k_a = factor de modificación por la condición superficial

k_b = factor de modificación por el tamaño

k_c = factor de modificación de carga

k_d = factor de modificación por la temperatura

k_e = factor de confiabilidad

k_f = factor de modificación por esfuerzos varios

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

S_e = limite de resistencia a la fatiga en la ubicacion critica

de una parte de máquina en la geometría y condición de uso

En la tabla 10-4 se evidencia los valores correspondientes de resistencia a la fatiga.

Tabla 10-4: Resistencia a la fatiga

Resistencia a la Fatiga Corregida			
Coeficientes	Ka, Maquinado	0.82	Adimensional
	Kb, Tamaño	0.94	Adimensional
	Kc, Carga	1,000	Adimensional
	Kd, Temperatura	1,000	Adimensional
	Ke, Confiabilidad	0,702	Adimensional
	Kf, Efec. Varios	1,000	Adimensional
Resistencia a la Fatiga	Se	101.6	MPa

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la tabla 10.4

10.2.8 Cálculo de factores:

- factor de modificación por la condicion superficial(k_a)

Usando la ecuación:

Ecuación 17: Factor de modificación por la condición superficial

$$k_a = a * S_{ut}^b$$

Por ser un acero laminado en caliente

$$a = 57.7 \text{ Y } b = -0.718$$

El S_{ut} del acero AISI-SAE 1020 dado por el fabricante es:

$$S_{ut} = 372.65 \text{ Mpa}$$

Reemplazando en la ecuación 17

$$k_a = 57.7 * 372.65^{-0.718} = 0.82$$

- *factor de modificación por el tamaño*(k_b)
- Para ejes con $2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$

$$k_b = 1.24 * d^{-0.107}$$

Donde el diámetro del eje es de 12.7 mm

$$k_b = 1.24 * 12.7^{-0.107} = 0.94$$

- *factor de modificación de carga*(k_c)

El factor de carga será el siguiente:

$$k_c = 1, \text{ para flexión}$$

- *Factor de modificación por la temperatura*(k_d)

El eje va a trabajar a temperaturas menores a 450°C , por lo tanto:

$$k_d = 1$$

- *factor de confiabilidad*(k_e)

Se halla el factor para una confiabilidad de 99.99%

$$k_e = 1 - 0.008z_a$$

$$k_e = 0.702$$

- *factor de modificación por esfuerzos varios*(k_f)

Debido a que no existen cambios bruscos de sección ni concentradores de esfuerzos

$$k_f = 1$$

- *limite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria* (S'_e)

Para $S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa}$

$$S'_e = 0.504 S_{ut}$$

Donde:

$$S_{ut} = 372.65 \text{ Mpa}$$

$$S'_e = 0.504 * 372.65 \text{ Mpa} = 187.81 \text{ MPa}$$

El límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico es:

$$S_e = 0.82 * 0.94 * 1 * 1 * 0.702 * 1 * 187.81 \text{ MPa}$$

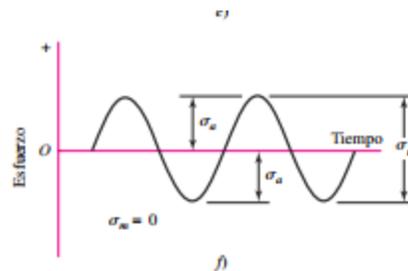
$$S_e = 101.6 \text{ Mpa}$$

10.2.9 Esfuerzos en el eje

Cálculo de los esfuerzos σ_A y σ_{med} en el eje intermedio.

Debido a que se somete al eje a un esfuerzo de flexión, como se muestra en la Figura 10-14, se concluye que el esfuerzo alternante será igual al esfuerzo máximo y el esfuerzo medio será igual a cero.

Figura 10-17: Grafica esfuerzo de flexión eje intermedio



Para obtener el esfuerzo máximo, se usa la ecuación 14

$$\sigma_{max} = \frac{32 * L_{a-c} * A_z}{\pi (d_{eje})^3} = \frac{32 * 83.33 \text{ mm} * 148.79 \text{ N}}{\pi (12.7 \text{ mm})^3}$$

$$\sigma_{max} = 61.65 \text{ Mpa}$$

Ahora se calcula σ_A , (esfuerzo en A)

$$\sigma_A = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{61.65 \text{ Mpa} - (-61.65 \text{ Mpa})}{2} = 61.65 \text{ MPa}$$

El esfuerzo medio σ_{med} que se obtiene es

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \frac{61.65 \text{ Mpa} + (-61.65 \text{ Mpa})}{2} = 0$$

Usando la ecuación de Resistencia a la fatiga por Goodman se obtiene

$$\frac{\sigma_A}{S_e} + \frac{\sigma_{med}}{S_{ut}} = \frac{1}{F_s}$$

$$\frac{61.65 \text{ MPa}}{101.6 \text{ Mpa}} + \frac{0}{372.65 \text{ Mpa}} = \frac{1}{F_s}$$

$$F_s = 1.65$$

10.2.10 Selección de rodamientos del eje intermedio

Selección del tamaño del rodamiento utilizando las fórmulas de vida útil.

El procedimiento de selección está basado en el catálogo SKF [55]

Siguiendo el catálogo SKF, la vida nominal de un rodamiento está dada por la siguiente ecuación:

Ecuación 18: Vida nominal de un rodamiento SKF

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P_d} \right)^P$$

Donde:

L_{10h} = vida nominal SKF (con una confiabilidad del 90%) [Horas de funcionamiento]

C = capacidad de carga dinámica básica [kN]

P_d = carga dinámica equivalente del rodamiento [kN]

n = velocidad de giro [rpm]

p = exponente de la ecuación de la vida útil, para los rodamientos de bolas, $p = 3$

Despejando la capacidad de carga dinámica básica de la ecuación 18 se obtiene:

$$C = P_d * \left(\frac{L_{10h} 60 n}{10^6} \right)^{\frac{1}{p}}$$

Para el cálculo de la vida nominal se toman los valores dados por el catálogo SKF [55], que tienen en cuenta el tipo de máquina, los cuales se muestran en la Figura

Figura 10-18: Vida nominal de rodamientos SKF

Valores orientativos de la vida útil especificada de los diferentes tipos de máquinas	
Tipo de máquina	Vida útil especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves periodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves periodos donde se requiere una alta confiabilidad: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Máquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	> 100 000

Fuente: <https://www.skf.com/co>

Se toma el valor correspondiente a máquinas utilizadas intermitentemente, tomando el valor medio de los datos, por lo tanto, la vida nominal es:

$$L_{10h} = \left(\frac{3000+8000}{2} \right) \text{ horas de servicio}$$

$$L_{10h} = 5500 \text{ horas de servicio}$$

P_d Representaría la carga aplicada a los rodamientos, el rodamiento ubicado en el punto A soporta una carga radial de

$$A_z = 148.79 N$$

$$P_d = A_y = 148.79 N$$

n Es la velocidad angular del eje intermedio

$$n = W_i = 425.5 \text{ rpm} = 44.55 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Despejando la capacidad de carga dinámica básica de la ecuación 18 se obtiene

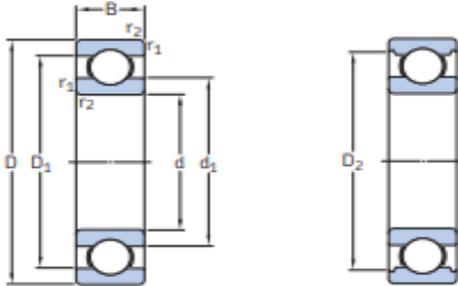
$$C = 148.79 N * \left(\frac{5500 \text{ horas} * 60 * 425.5 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 773.35 N = 0.77 \text{ kN}$$

Siguiendo el catálogo de rodamientos de la SKF [55], donde se necesita un diámetro de agujero de $1/2$ pulgada $\approx 12\text{mm}$, según el dimensionamiento del eje. Se selecciona el siguiente rodamiento, ver Figura 10-19.

Figura 10-19: Catalogo de rodamientos SKF

d 12–22 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	–
12	21	5	1,74	0,915	0,039	70 000	43 000	0,0063	61801
	24	8	2,72	1,40	0,062	47 000	40 000	0,011	61701
	28	8	5,4	2,36	0,1	60 000	38 000	0,021	6001
	30	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,026	16101
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32 000	0,037	6201
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	28 000	0,06	6301

Fuente: <https://www.skf.com/co>

El rodamiento tiene una capacidad de carga dinámica mayor a la necesaria, por lo tanto, el rodamiento es conveniente para la máquina.

Los rodamientos de la máquina se deben lubricar adecuadamente esto con el fin de mejorar su funcionamiento, evitar desgaste de los mismos y disminuir el ruido. Una variable clave para la selección del lubricante es la viscosidad, siguiendo lo aconsejado por el catálogo SKF [55], se seleccionó la viscosidad adecuada del lubricante para los rodamientos.

Determinar el diámetro medio

Ecuación 19: Diámetro medio de rodamientos SKF

$$d_m = 0.5(D + d) \text{ mm}$$

Donde:

$d_m = \text{diametro medio}$

$D = \text{diametro exterior del rodamiento}$

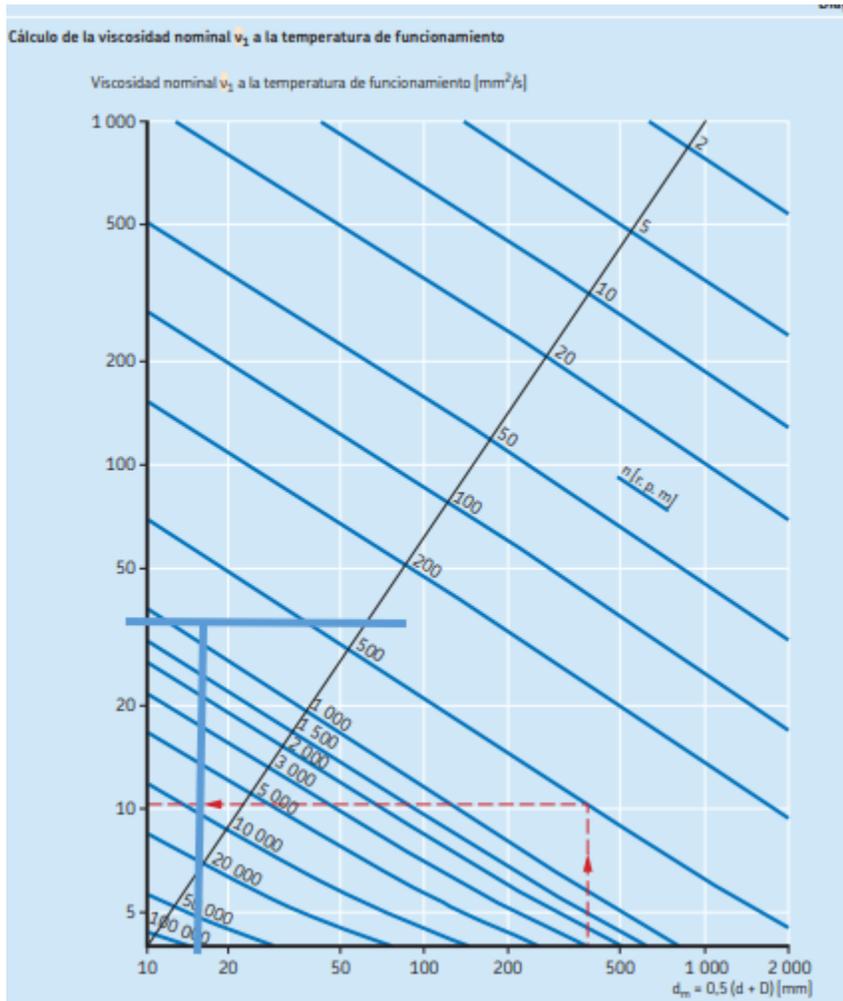
$d = \text{diametro del agujero}$

Reemplazando valores en la ecuación 19,

$$d_m = 0.5(21 + 12) \text{ mm} = 16.5 \text{ mm}$$

El eje gira $W_i = 425.5 \text{ rpm}$, por lo tanto, se debe manejar una viscosidad cinemática de $40 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$, en la gráfica de la Figura 10-20 se evidencia una relación del diámetro del agujero del rodamiento versus el valor de la viscosidad cinemática, el lubricante que cumple esta condición es el LGMT 2 marca SKF, el cual será adecuado para usarse en los rodamientos de la máquina.

Figura 10-20: Viscosidad nominal del lubricante para rodamientos



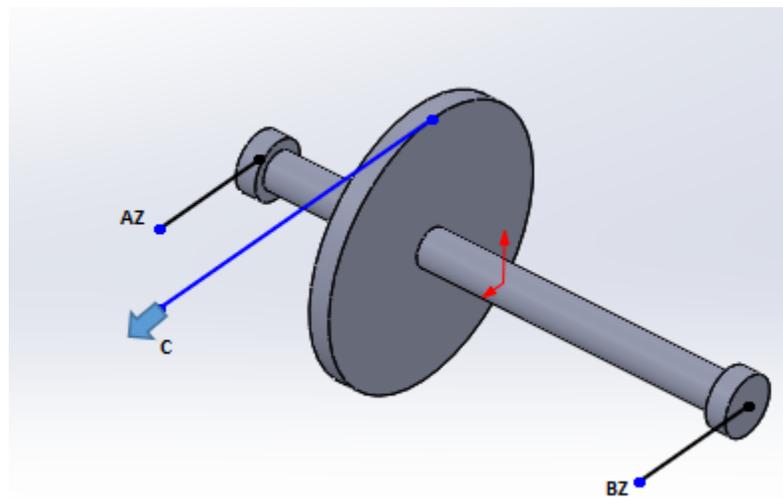
10.3 Análisis del eje de los pedales

En el presente capítulo, se muestra el análisis matemático correspondiente al eje de los pedales del sistema mecánico de pedaleo

10.3.1 Análisis por resistencia mecánica

Este eje soporta el engrane de la transmisión por cadena y sus longitudes son similares al eje intermedio, con longitudes extras para los pedales, tal como se muestra en la Figura 10-19.

Figura 10-21: Reacciones en los rodamientos que soportan el eje de los pedales



Fuente: Autores

donde:

A_z, B_z son las reacciones en los rodamientos que soportan el eje

C = fuerza tangencial del sistema de transmisión

Datos:

$$P = 250 \text{ watts}$$

$$W_{\text{engranaje}} = \frac{W_{\text{Catarina}}}{e} = \frac{425.5 \text{ rpm}}{5.65} = 75 \text{ rpm} = 7.85 \frac{\text{rad}}{\text{s}},$$

Se halla el torque que debe producir el pedaleo de una persona para mover el sistema

$$P = T_{pedal} * W_{engranaje}$$

$$T_{pedal} = \frac{P}{W_{engranaje}} = \frac{250 \frac{N * m}{s}}{7.85 \frac{rad}{s}}, = 32 N * m$$

$C = 255 N$, la misma fuerza del analisis de eje intermedio , pero en sentido contrario

Para hallar el diámetro de paso del engrane se usa la ecuación

Ecuación 20: Diámetro de paso engrane

$$D_p = \frac{p}{\text{sen } \pi * z}$$

donde p es el paso y z el número de dientes del engrane

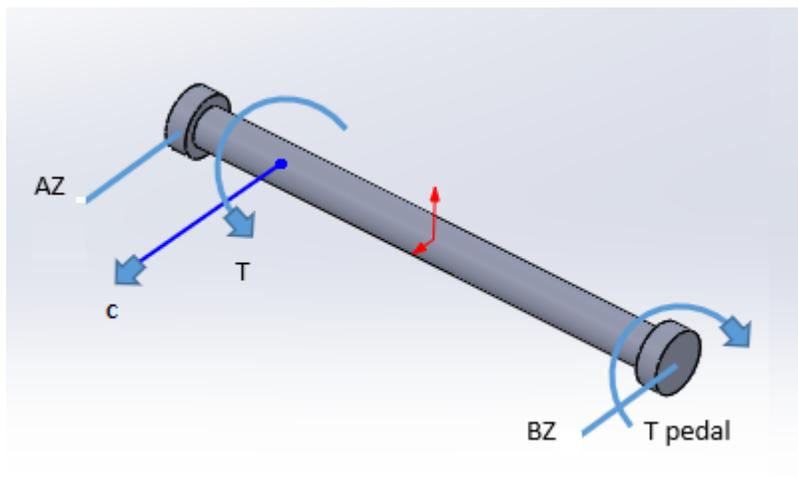
Reemplazando en la ecuación 20

$$D_p = \frac{6.35 \text{ mm}}{\text{sen } \pi * 125} = 252 \text{ mm}$$

10.3.2 Fuerzas que actúan sobre el eje

Se traslada la fuerza “C” generando un torque en el eje tal como se muestra en la Figura 10-20

Figura 10-22: Fuerzas sobre el eje de los pedales



Fuente: Autores

Donde:

$$T = C * \frac{D_{engrane}}{2} = 255 N * \frac{0.252 m}{2} = 32 N * m$$

$$T_{pedal} = T = 32 N * m$$

Ambos torques son iguales, pero en sentido contrario, por lo tanto, se contrarrestan

A continuación, se muestra el análisis estático respectivo.

La sumatoria de fuerzas debe ser igual a cero.

$$\Sigma F_z = 0$$

$$A_z + C - B_z = 0$$

$$A_z = -C + B_z$$

$$A_z = -255 N + B_z$$

La sumatoria de momentos es igual a cero

$$\Sigma M_A = 0$$

La distancia entre rodamientos es de 250 mm y la distancia entre el punto A y el punto de aplicación de la fuerza c es de 83.33 mm

Entonces

$$M_A = -83,33mm * C + 250 mm * B_z = 0$$

$$M_A = -83,33mm * 255 N + 250 mm * B_z = 0$$

Despejando se obtiene:

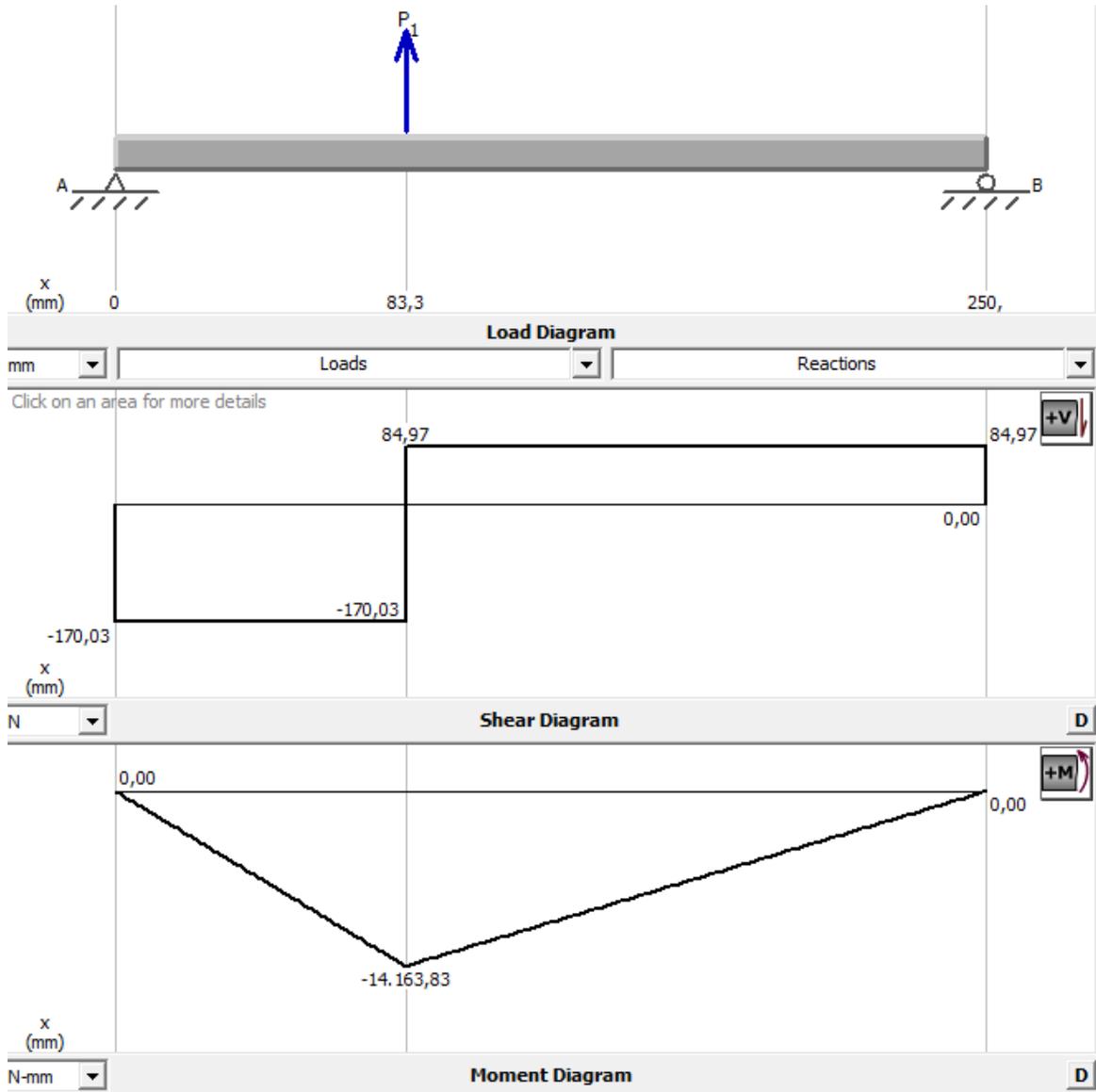
$$B_z = 84.99 N$$

$$A_z = -170 N$$

10.3.3 Diagramas de fuerzas y momentos

Se realiza el diagrama de fuerza cortante y momento flector para encontrar el momento flector máximo tal como se muestra en la Figura 10-21.

Figura 10-23: Diagrama de fuerzas y momentos eje de los pedales



El momento flector máximo está definido por la siguiente ecuación

$$m_{max} = L_{a-c} * A_z$$

10.3.4 Análisis de esfuerzo

Teniendo en cuenta que

$$A_z = -170 \text{ N}$$

$$L_{a-c} = 83,33 \text{ mm}$$

El momento flector máximo será:

$$m_{max} = 83,33 \text{ mm} * -170 = -14166 \text{ N} * \text{mm}$$

Con el diagrama de momento flector se establece que la sección crítica es la parte del eje que sujeta el engrane, con un momento flector máximo de 14166 N * mm, el elemento estará sometido a flexión.

De acuerdo con el fabricante, el acero 1020 tiene un límite de fluencia de:

$$S_y = 225 \text{ Mpa}$$

Asumiendo un factor de seguridad de 1.5, se puede despejar un diámetro tentativo para el eje de los pedales

$$FS = 1.5$$

$$d_{eje} = \left(\frac{32 * 83.33 \text{ mm} * 170 \text{ N} * 1.5}{\pi * 225 \text{ Mpa}} \right)^{1/3}$$

$$d_{eje} = 9.9 \text{ mm}$$

Este será el diámetro mínimo que se puede considerar en el eje de los pedales, por lo tanto, para evitar mecanizado se escogerá un eje comercial de ½ pulgada

$$d_{eje} = \frac{1}{2} \text{ in} = 12.7 \text{ mm}$$

Con el diámetro real, se calcula el factor de seguridad

$$\frac{32 * L_{a-c} * A_z}{\pi (d_{eje})^3} = \frac{S_y}{FS}$$

$$FS = \frac{\pi (d_{eje})^3 * S_y}{32 * L_{a-c} * A_z}$$

$$FS = \frac{\pi (12.7 \text{ mm})^3 * 225 \text{ Mpa}}{32 * 83.33 \text{ mm} * 170 \text{ N}} = 3.2$$

El factor de seguridad obtenido es mayor que 1 (uno) lo que significa que el diseño es bastante seguro.

10.3.5 Análisis por resistencia a la fatiga

El eje de los pedales del sistema mecánico, estará sometido a cargas cíclicas de tensión y compresión por la aplicación del esfuerzo de flexión.

El límite de resistencia a la fatiga se halla con la ecuación 17

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

Los valores de los factores de modificación se conservan iguales a los del eje intermedio, teniendo en cuenta que el diámetro y tipo de material son iguales.

Reemplazando los valores correspondientes, la resistencia a la fatiga es

$$S_e = 0.82 * 0.94 * 1 * 1 * 0.702 * 1 * 187.8 \text{ MPa}$$

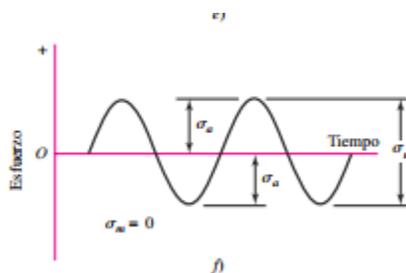
$$S_e = 101.6 \text{ Mpa}$$

10.3.6 Esfuerzos en el eje

Cálculo de los esfuerzos σ_A y σ_{med} en el eje de los pedales.

Debido a que se somete al eje a un esfuerzo de flexión, como se muestra en la Figura 10-22, se concluye que el esfuerzo alternante será igual al esfuerzo máximo y el esfuerzo medio será igual a cero.

Figura 10-24: Grafica esfuerzo de flexión eje de los pedales



Fuente: "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", 9ª edición.

Para obtener el esfuerzo máximo, se usa la ecuación 14

$$\sigma_{max} = \frac{32 * L_{a-c} * A_z}{\pi (d_{eje})^3} = \frac{32 * 83.33 \text{ mm} * 170 \text{ N}}{\pi (12.7 \text{ mm})^3}$$

$$\sigma_{max} = 70.44 \text{ Mpa}$$

Ahora se calcula σ_A , (esfuerzo en A)

$$\sigma_A = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{70.44 \text{ Mpa} - (-70.44 \text{ Mpa})}{2} = 70.44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \frac{70.44 \text{ Mpa} + (-70.44 \text{ Mpa})}{2} = 0$$

Usando la ecuación de Resistencia a la fatiga por Goodman se obtiene

$$\frac{\sigma_A}{S_e} + \frac{\sigma_{med}}{S_{ut}} = \frac{1}{Fs}$$

$$\frac{70.44 \text{ MPa}}{101.6 \text{ Mpa}} + \frac{0}{372.65 \text{ Mpa}} = \frac{1}{F_s}$$

$$F_s = 1.44$$

10.3.7 Selección de rodamientos del eje de los pedales

Selección del tamaño del rodamiento utilizando las fórmulas de vida útil.

El procedimiento de selección está basado en el catálogo SKF [55].

Siguiendo el catálogo SKF, la vida nominal de un rodamiento está dada por la ecuación 19

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P_d}\right)^P$$

Donde la vida nominal es $L_{10h} = 5500 \text{ horas de servicio}$

Teniendo en cuenta los datos del eje intermedio, que será igual al eje de los pedales

Ahora la carga dinámica equivalente del rodamiento P_d Representaría la carga aplicada a los rodamientos, el rodamiento ubicado en el punto A soporta una carga radial de

$$A_z = 170 \text{ N}$$

$$P_d = A_y = 170 \text{ N}$$

n Es la velocidad angular del eje del pedal

$$n = 75 \text{ rpm} = 7.85 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

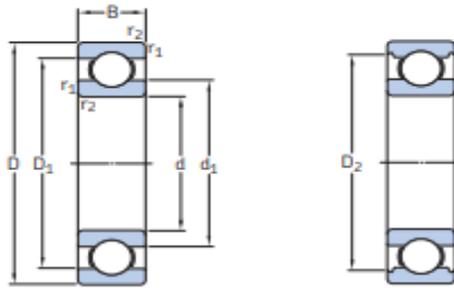
Despejando la capacidad de carga dinámica básica de la ecuación

$$C = 170 \text{ N} * \left(\frac{5500 \text{ horas} * 60 * 75 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}{10^6}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 1402 \text{ N} = 1.4 \text{ kN}$$

Siguiendo el catálogo de rodamientos de la SKF [55], donde se necesita un diámetro de agujero de $1/2$ pulgada $\approx 12\text{mm}$, según el dimensionamiento del eje. Se selecciona el rodamiento del eje intermedio, el cual se evidencia en la siguiente imagen:

d 12 – 22 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN	kN	kN	r. p. m.		kg	–
12	21	5	1,74	0,915	0,039	70 000	43 000	0,0063	61801
	24	6	2,91	1,48	0,062	67 000	40 000	0,011	62701
	28	8	5,4	2,36	0,1	60 000	38 000	0,021	6001
	30	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,026	16101
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32 000	0,037	6201
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	28 000	0,06	6301

El rodamiento tiene una capacidad de carga dinámica mayor a la necesaria, por lo tanto, el rodamiento es conveniente para la máquina.

Cabe aclarar que, según el análisis, en ambos ejes se usaran los mismos rodamientos.

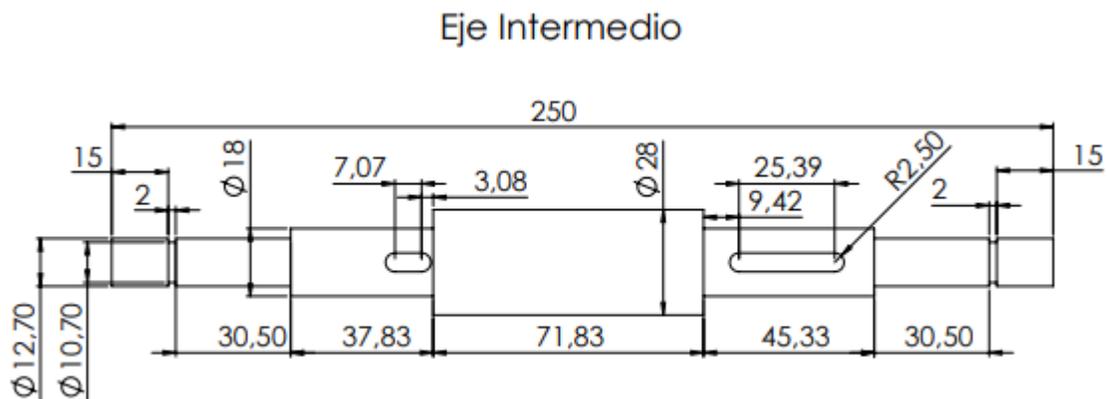
11. Modelado del sistema mecánico de pedaleo

Utilizando el apoyo del software de diseño Solidworks, se procedió a efectuar cada una de las piezas que componen el sistema mecánico de pedaleo, teniendo en cuenta las características respectivas del equipo.

11.1 Eje de los pedales y eje intermedio

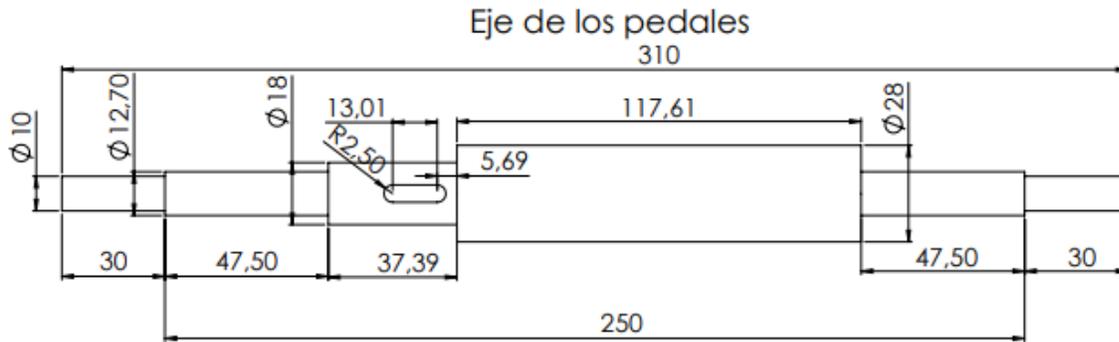
De acuerdo con la relación de transmisión en la cual se requiere generar una velocidad de giro de 2000 rpm, se modela el eje intermedio (ver Figura 11-1) y el eje de los pedales del sistema mecánico (ver Figura 11-2), en el software de diseño Solidworks.

Figura 11-1: Eje intermedio



Fuente: Autores

Figura 11-2: Eje de los pedales

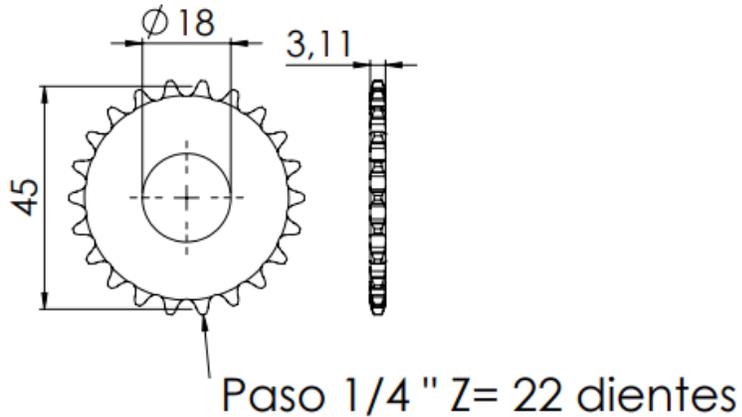


Fuente: Autores

11.2 Diseño de los piñones

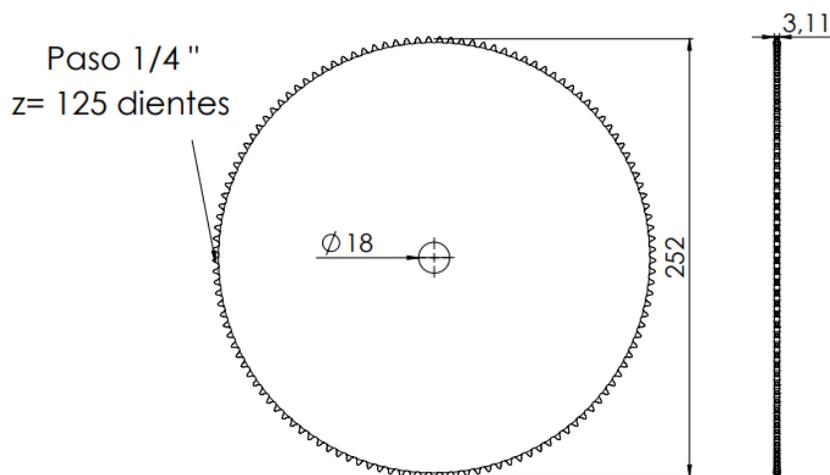
El diseño de los piñones se obtuvo a partir de los cálculos realizados previamente, con los cuales se logró la relación de transmisión capaz de entregar 2000 rpm aproximadamente a la salida del sistema, los piñones indicados se muestran en las Figuras 11-1 y 11-2.

Figura 11-3: Piñón 1/4, Z=22 dientes



Fuente: Autores

Figura 11-4: Piñón 1/4, Z=125 dientes

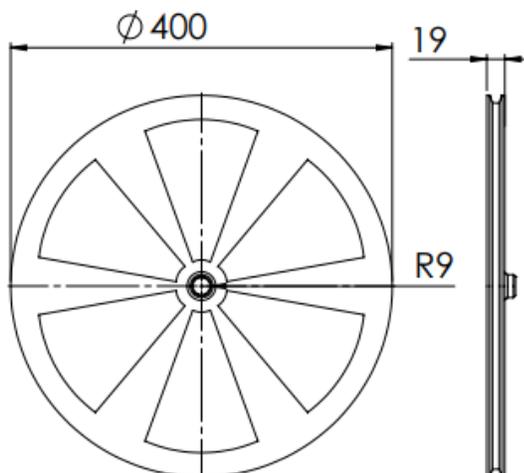


Fuente: Autores

11.3 Diseño de las poleas

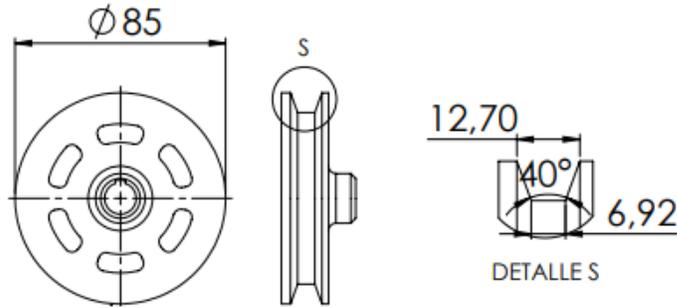
Las poleas se modelaron en material de aluminio, a partir de los cálculos matemáticos realizados, para entregar 2000 rpm a la salida, con lo cual se obtuvieron dos poleas, una de 400 mm y otra de 85 mm, tal como se ilustra en las Figuras 11-3 y 11-4 respectivamente.

Figura 11-5: Polea conductora 400mm



Fuente: Autores

Figura 11-6: Polea conducida 85mm

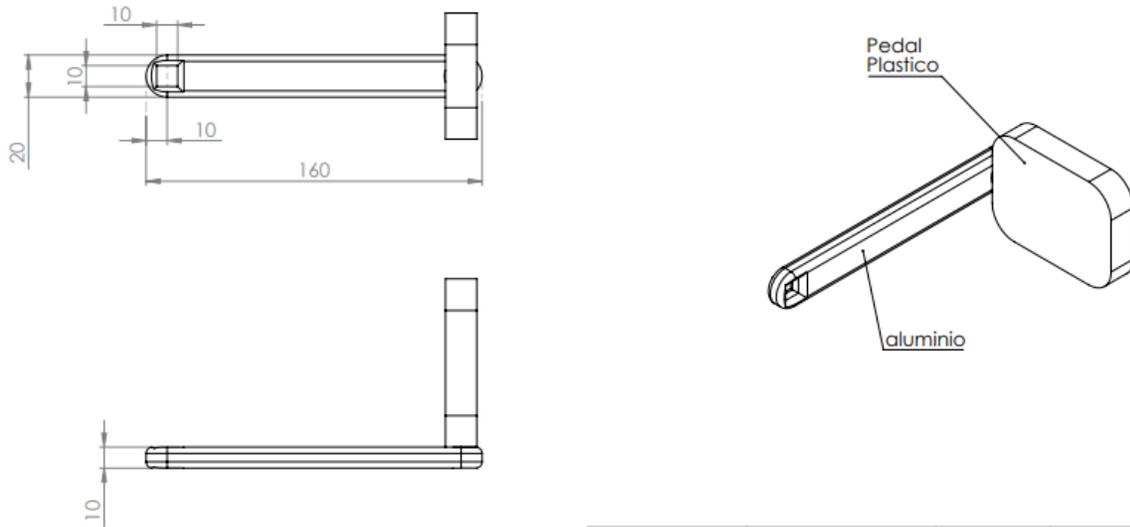


Fuente: Autores

11.4 Pedales

La biela se diseñó en aluminio y el pedal en plástico, para reducir el peso en el sistema mecánico de pedaleo, se puede ver el modelo en la Figura 10-9.

Figura 11-7: Pedales del sistema mecánico de pedaleo

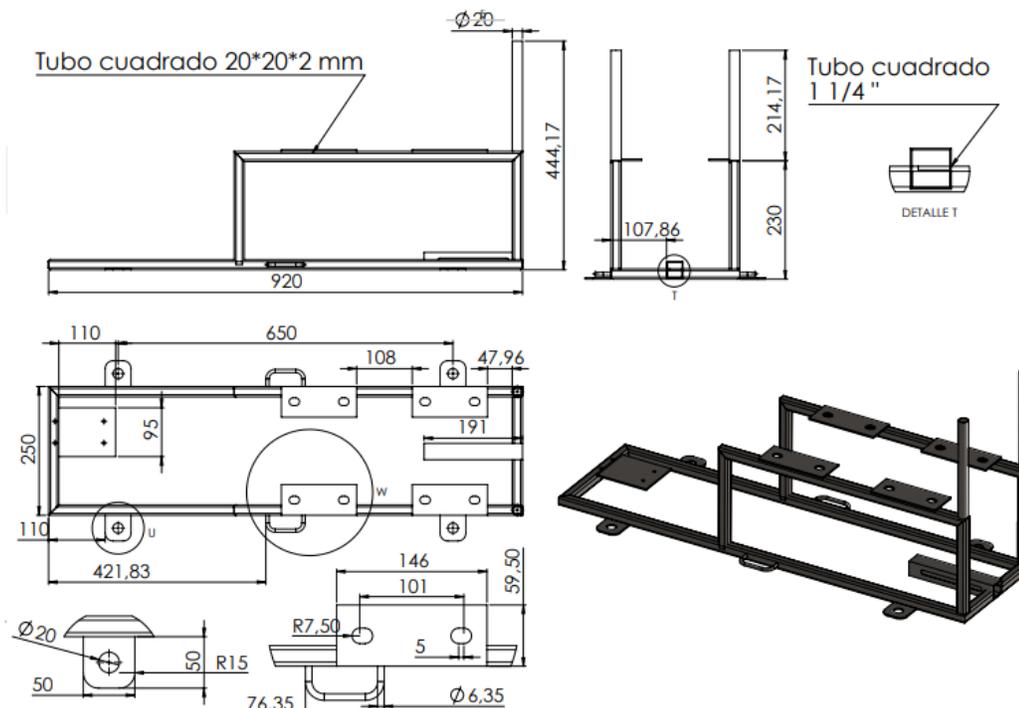


Fuente: Autores

11.5 Estructura metálica

En la Figura 11-5 se muestra la estructura metálica que está diseñada en acero estructural, debido a su combinación de alta resistencia, tensión, compresión gran rigidez y elasticidad, además es resistente a la corrosión,

Figura 11-8: Estructura metálica

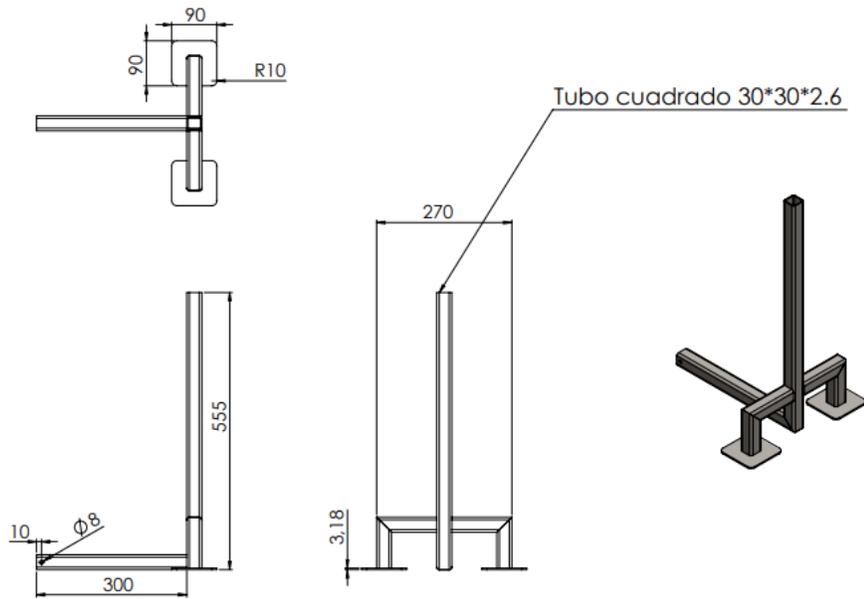


Fuente: Autores

11.6 Soporte para sillín

El soporte para el sillín, está diseñado en acero estructural, por su buena resistencia y por ser más ligero, este va ensamblado al sistema mecánico para que sea más estable al momento del pedaleo, el sillín acoplado al soporte es un sillín de bicicleta común, en la Figura 11-8 se puede evidenciar el modelado respectivo.

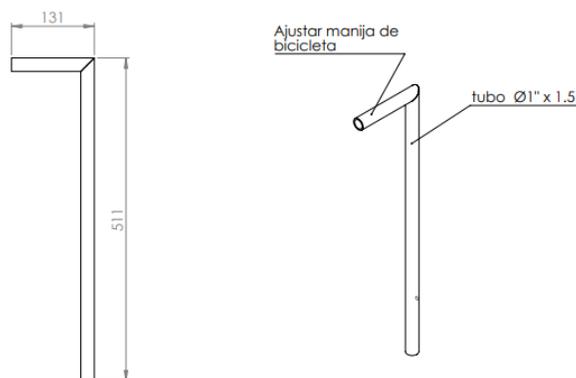
Figura 11-9: Soporte sillín



11.7 Manubrio como soporte para pedaleo

El manubrio está diseñado en acero estructural, está acoplado a la guarda externa del sistema mecánico para brindar estabilidad a la hora de pedalear, se muestra el modelo en la Figura 11-9.

Figura 11-10: Manubrio soporte mecánico de pedaleo

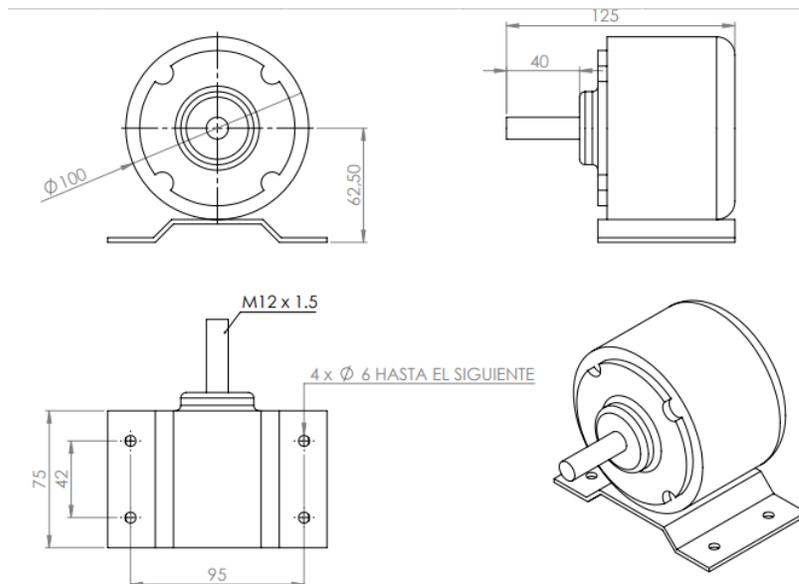


Fuente: Autores

11.8 Generador de imanes permanentes

Como elemento principal, se modeló un generador de imanes permanentes con las características indicadas al inicio del presente documento, con el cual se entregará un voltaje de 18.2 voltios a 2000 rpm, ver Figura 11-10.

Figura 11-11: Generador de imanes permanentes

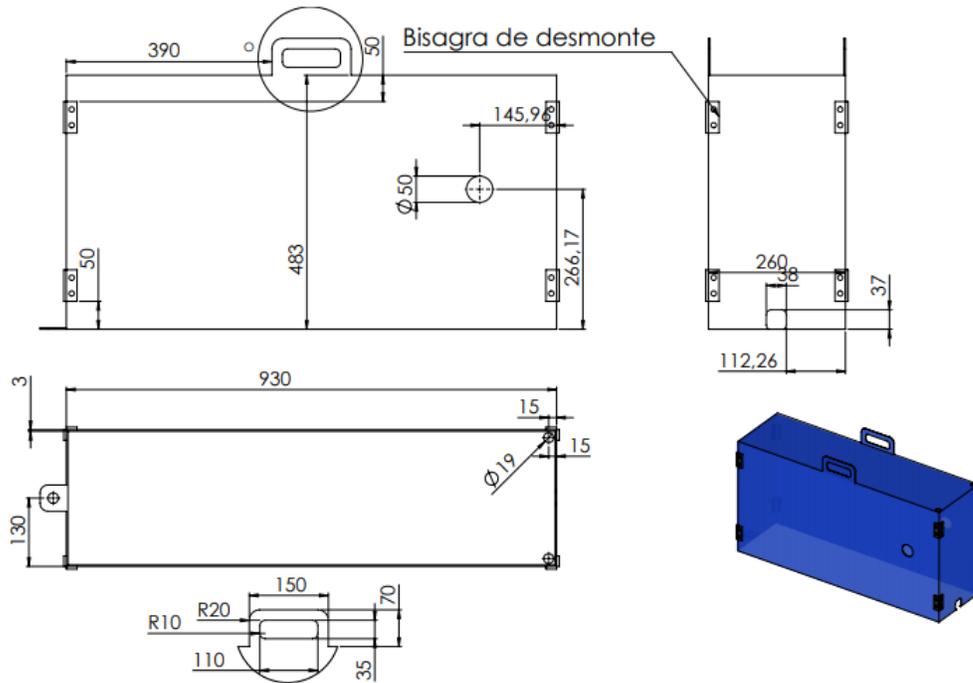


Fuente: Autores

11.9 Guarda externa

La guarda externa se usará como protección del sistema mecánico de pedaleo, está diseñada en acrílico, para protección de las personas y para los efectos de la lluvia, teniendo en cuenta que el sistema mecánico estará expuesto, la mayor parte del tiempo, a la intemperie, además será plegable para su fácil transporte, se puede evidenciar el modelo en la Figura 10-15.

Figura 11-12: Guarda desmontable externa

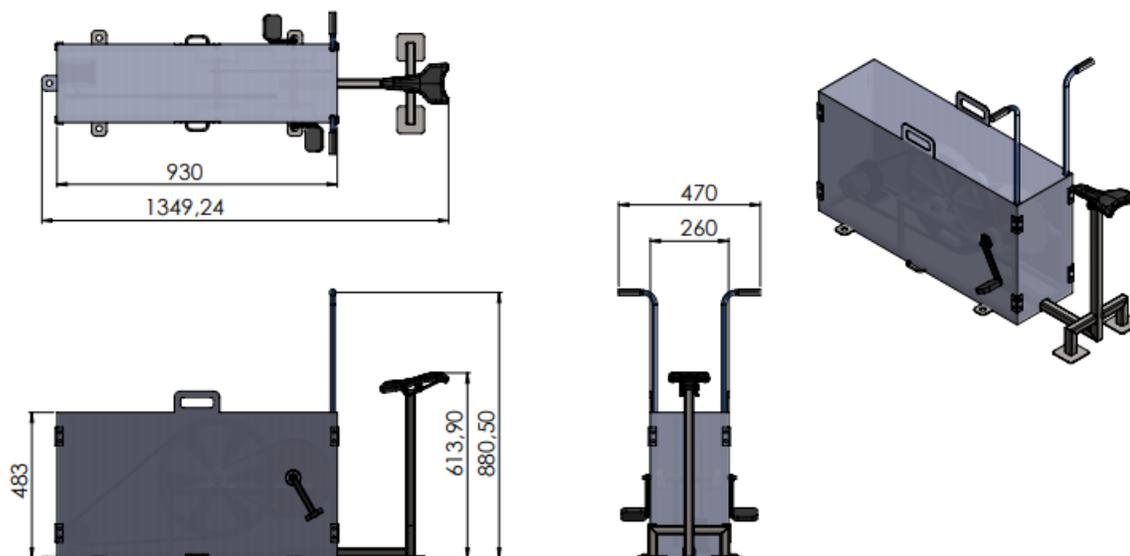


Fuente: Autores

Finalmente, el sistema mecánico de pedaleo, tendrá un peso aproximado de 17 Kg, está diseñado en acero estructural (la mayor parte de sus piezas), aluminio (las poleas), acero AISI 1020 (los ejes y los piñones), y acrílico la guarda externa, la cual será plegable, todo esto facilitará el transporte a campo. En la Figura 11-14 se puede evidenciar el modelado final del sistema mecánico de pedaleo.

Este sistema se podrá desensamblar completamente, separando el sistema de la silla de la base estructural, además las chumaceras se podrán separar (con sus ejes respectivos) de la estructura metálica, y la guarda externa será plegable para facilitar su transporte.

Figura 11-13: Sistema mecánico de pedaleo



Fuente: Autores

12. Sistema electrónico

Para efectuar la recarga de las baterías, el sistema mecánico de pedaleo entregará un voltaje de 18.2 voltios, a partir del pedaleo de una persona que es de 75 rpm, dicho voltaje será regulado con un circuito electrónico Regulador de tensión variable LM2596 DC-DC, el cual se ajustará para que entregue el voltaje requerido para la recarga de las baterías 12V/12AH.

Este tipo de Regulador se seleccionó teniendo en cuenta la regulación de voltaje que puede manejar, la cual oscila entre 3.2 y 40 Voltios para la entrada y entre 1.25 y 35 Voltios para la salida, y un máximo de 8 amperes, lo cual cumple con el rango de voltaje requerido para la recarga de baterías del sistema mecánico, además es de fácil consecución en el mercado y de bajo costo.

Adicionalmente, el computador portátil será cargado con el mismo circuito electrónico LM2596, la salida del circuito al ser variable, se puede ajustar para entregar el voltaje requerido por esta batería, que es de 18.5 V aproximadamente, permitiendo realizar su recarga mediante cable USB.

El convertidor LM2596 es un convertidor Buck-Boost DC-DC que tiene la posibilidad de recibir y entregar diferentes rangos de voltaje (3.2 y 40 V para la entrada y 1.25 y 35 V para la salida), además contiene un display el cual funciona como voltímetro ya que esta muestra el voltaje de salida que se está entregando a las baterías, (ver Figura 11-1). [56]

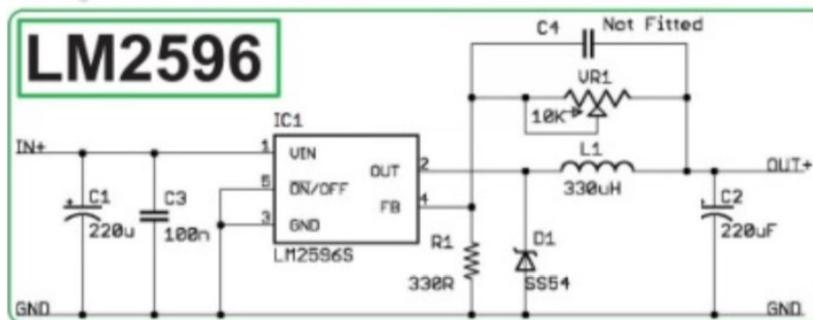
Figura 12-1: LM2596 (Regulador de voltaje variable)



Fuente: <https://www.shoptronica.com/reguladores-de-tension-y-corriente/>

El presente proyecto requiere que a la salida del generador exista un dispositivo eléctrico que entregue un voltaje determinado de manera constante para efectuar la recarga de baterías, lo cual se consigue con la tarjeta electrónica reguladora de voltaje variable LM2596 y con la cual se espera las baterías se carguen adecuadamente, se puede ver en la Figura 11-2 el plano electrónico que compone la tarjeta. [57]

Figura 12-2: Plano electrónico LM2596



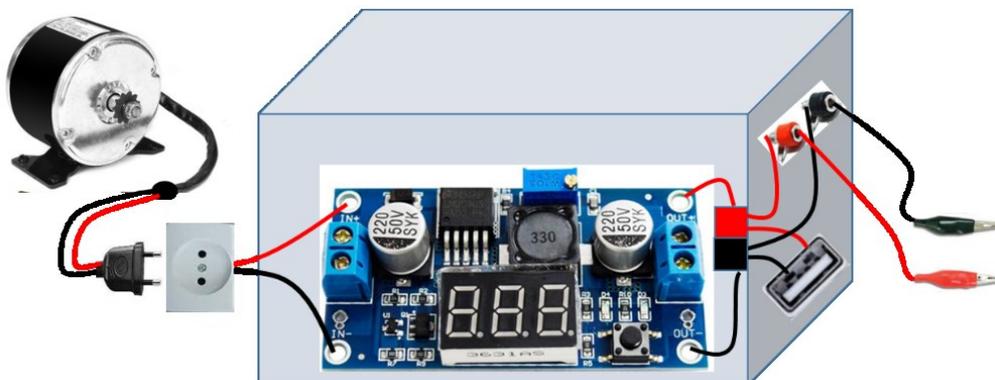
Fuente: <https://www.google.com/search?q=lm2596+plano+con+display+datasheet&source>

13. Descripción de los resultados

El presente documento pretende mostrar todos los parámetros técnicos que se deben tener en cuenta para la fabricación de un sistema mecánico de pedaleo, que al ser accionado por una persona adulta (sin importar el sexo), la cual deberá pedalear a 75 rpm, podrá recargar las baterías dos baterías de 12V/12AH (de manera individual) que pertenecen al equipo TRE y la batería del computador portátil en el cual se registran los datos de las prospecciones del subsuelo que se realizan en campo, de acuerdo a los cálculos realizados, y por ende hacer más eficiente el registro de dichas prospecciones y así obtener el mayor número de resultados posibles en cada visita a sitio.

El circuito electrónico estará alojado en una caja de 100mmx40mmx60mm (Largo-Ancho-Alto), la cual se transportará de manera individual y se conectará al generador en cable #14 y mediante una toma eléctrica, el generador tendrá una clavija que se conectará al circuito electrónico, a la salida de la caja habrá dos conexiones, una de tipo USB para la conexión del computador portátil y otra para la conexión de la batería, de acuerdo a la Figura 13-1. El voltaje de salida será visible mediante el display de la tarjeta LM2596.

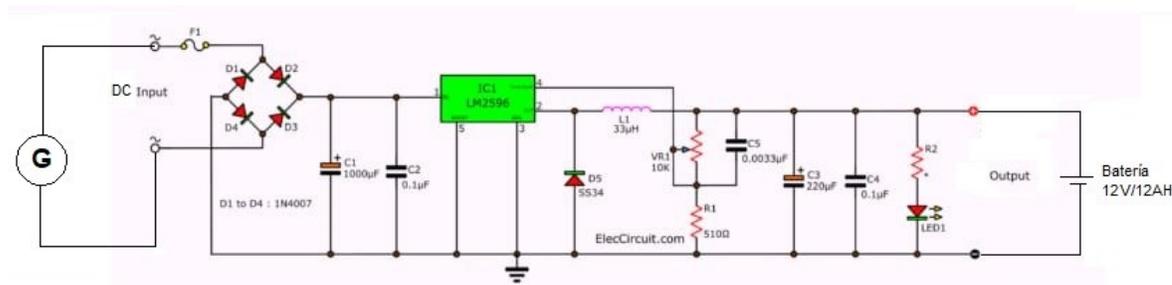
Figura 13-1: Mecanismo Electrónico con tarjeta LM2596



Fuente: Autores

En la Figura se evidencia el plano electrónico del sistema de recarga LM2596

Figura 13-2: Circuito electrónico de recarga



Fuente: Autores

Se determinó que el tiempo de recarga de la batería del equipo TRE será de 50 minutos aproximadamente, teniendo en cuenta que el generador entregara una corriente de 13.5 A y la batería es de 12AH, efectuando la siguiente operación

$$\frac{12AH}{13.5A} = \frac{0.88H * 60min}{1H} = 52min$$

Se obtiene un tiempo aproximado de 50 minutos, sin embargo, este tiempo puede disminuir, teniendo en cuenta que la batería no esté completamente descargada; para la recarga de la batería del computador portátil el tiempo puede ser máximo de 1 hora y 10 minutos si se encuentra totalmente descargada.

El sistema mecánico de pedaleo, será desmontable, (Ver Figura 13.2), es decir, se podrá separar el sistema de la silla de la estructura base, las chumaceras se pueden desmontar con sus ejes poleas y piñones, los pedales también se retiran, el bastidor o estructura es desarmable de acuerdo a la Figura 10-13, y se asegura mediante tornillos, y adicionalmente, la guarda que estará fabricada en acrílico se podrá plegar para su fácil transporte.

El sistema mecánico tendrá una eficiencia teórica de funcionamiento del 97%, aproximadamente, teniendo en cuenta que la eficiencia de la transmisión por bandas está en el orden del 96%, y la eficiencia de la transmisión por cadena está en el orden del 98%.

[48]

Figura 13-3: Sistema mecánico desmontado para fácil transporte

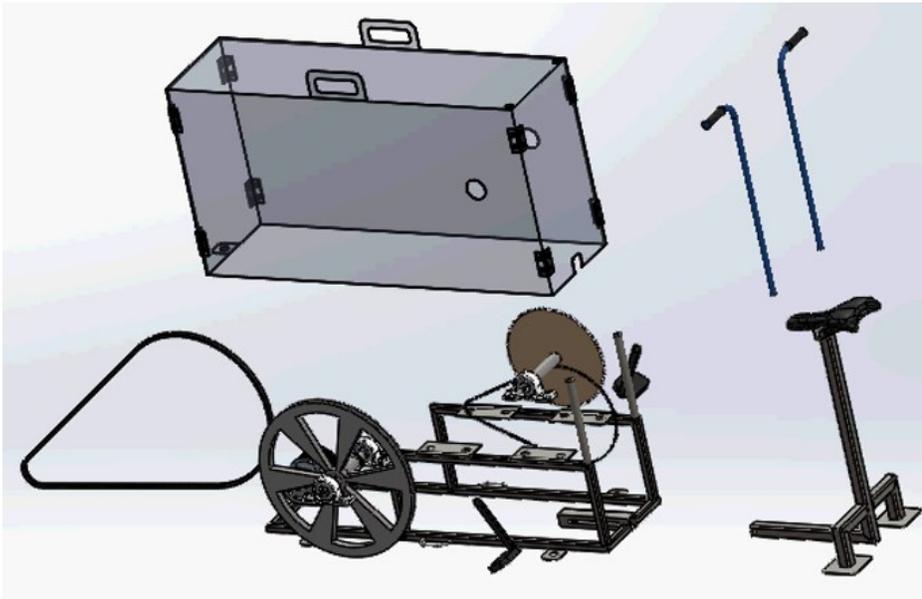
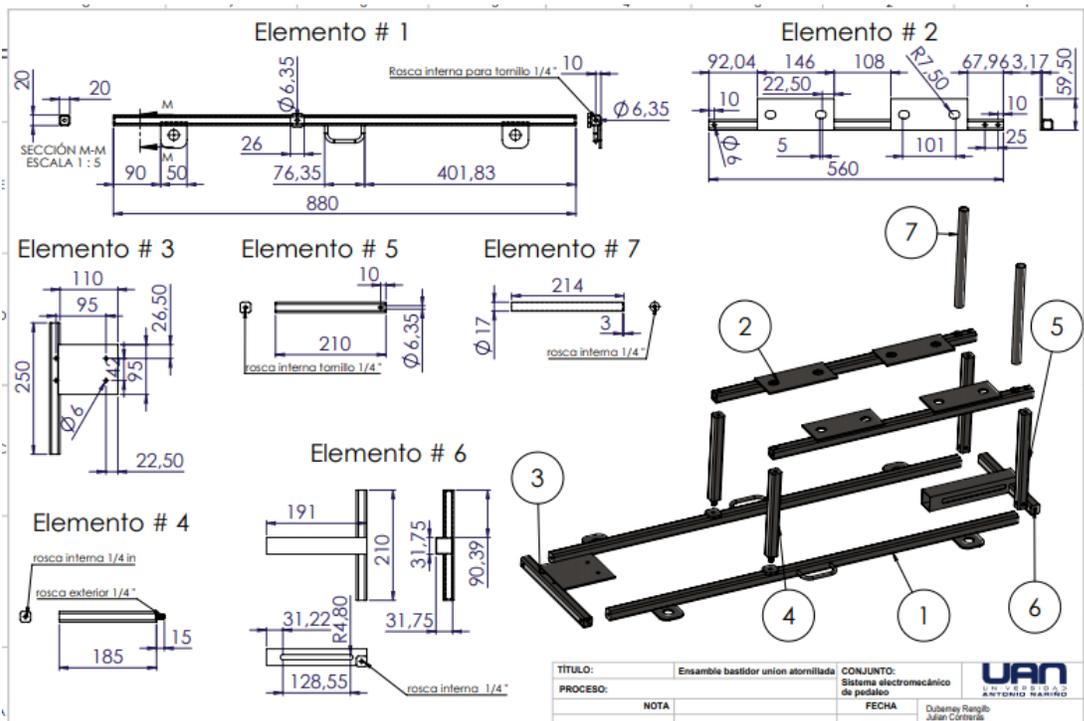


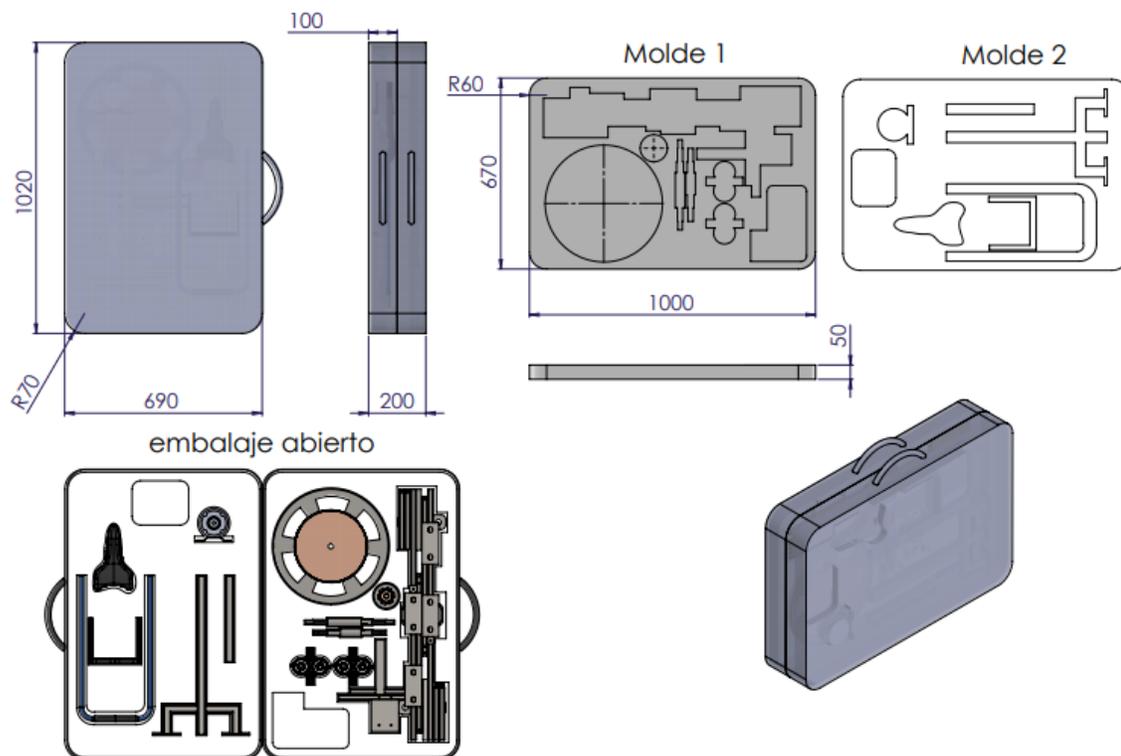
Figura 13-4: Plano del bastidor desarmable



Fuente: Autores

Para efectuar el transporte del sistema mecánico, se diseñó un maletín en donde se pueden guardar todas las piezas desarmadas, (ver Figura 13-4), esto con el fin de facilitar su transporte a campo. El mecanismo tendrá un peso aproximado de 17 Kg armado y podrá ser anclado al suelo para mayor estabilidad

Figura 13-5: Sistema de embalaje y transporte



Fuente: Autores

14. Conclusiones y recomendaciones

- El diseño del sistema electromecánico de pedaleo, de acuerdo a los cálculos efectuados, logra entregar 18.2 voltios de energía eléctrica a partir de una velocidad de giro de 75 rpm, para recargar las baterías pertenecientes al equipo TRE y la batería de un computador portátil, en un tiempo aproximado entre 30 y 60 minutos.
- El sistema se diseñó con base en las características técnicas mínimas permisibles con las cuales podrá funcionar, sin presentar ningún inconveniente durante su funcionamiento, brindando la seguridad necesaria al personal que hará uso de él.
- Se realiza la selección del generador de imanes permanentes de 350 w, el cual es acorde al sistema mecánico de pedaleo, para lograr efectuar la recarga de baterías de manera adecuada.
- De acuerdo a la selección del generador de 350 w, y con el torque inicial de salida de este, se logra determinar una potencia de 250 w, la cual se usó para efectuar los cálculos de todo el sistema electromecánico.
- El sistema electromecánico de pedaleo será portátil, tendrá un peso aproximado de 17 Kg, está diseñado en acero estructural la mayor parte de sus piezas, en aluminio las poleas, acero AISI 1020 los ejes y los piñones, y en acrílico la guarda externa, la cual será plegable, todo esto facilitará el transporte a campo.
- Se diseñó un módulo de embalaje, en el cual se guardarán las piezas que componen el sistema electromecánico de pedaleo, ya que dicho sistema se podrá desensamblar completamente, separando el sistema de la silla de la base estructural, las chumaceras se separan, con sus ejes, de la estructura metálica, y

la guarda externa será plegable para facilitar su transporte, la estructura cuenta con dos manijas de agarre para su fácil manipulación.

- Se realiza la selección de un regulador de voltaje para el circuito eléctrico, acorde al voltaje que entrega el sistema electromecánico de pedaleo, el cual es de 18.2 V, dicho regulador está compuesto por una tarjeta electrónica LM2596, la cual cumple con los requerimientos mínimos para la recarga de las baterías.
- Se realizan los planos mecánicos y eléctricos del sistema portátil de recarga, apoyados en el software de diseño Solidworks.
- Se elaboró un manual de operación el cual facilita la manipulación y mantenimiento del sistema electromecánico de pedaleo.
- Los elementos que componen en sistema mecánico de pedaleo, son de fácil consecución en el mercado colombiano, además están hechos con materiales que son comerciales en la industria, como lo es al acero AISI 1020, el acero estructural y los elementos como poleas y piñones que se encuentran ya fabricados de acuerdo a los cálculos realizados en el presente documento que son de 252 mm y 45 mm para los piñones, 400 mm y 85 mm para las poleas.

Bibliografía

- [1] H. García et al., “Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia”. Bogotá, D.C.: Fedesarrollo, octubre de 2013.
- [2] T. Perales, Guía Del Instalador De Energías Renovables, México: Limusa, 2010.
- [3] Denny, E. y O’malley, M., Cuantificando la red total Beneficios de la red integrada de viento. IEEE Transactions on Power Systems, Volumen 22, Número 2, págs. 605 - 615. 2007.
- [4] Jen-Hao T. y Chin-Ling Y., Evaluaciones de los impactos y beneficios de la colocación de parques eólicos; TENCON 2005, IEEE Región 10 págs. 1– 6. 2005.
- [5] Colectivo de Autores, G. E. N. Diez Preguntas sobre Energía Eólica, CUBASOLAR. p 335 p. ISBN 978-959- 7113-34-8.
- [6] P. Díez, Energía Eólica. Universidad De Cantabria, 2008.
- [7] M. A. Gonzalez-Salazar, M. Morini, M. Pinelli, P. Ruggero Spina, M. Venturini, M. Finkenrath, and W. Roger Poganietz, “Methodology for biomass energy potential estimation: Projections of future potential in Colombia”, Renewable Energy, vol. 69, pp. 488-505, 2014. doi: 10.1016/j.renene.2014.03.056.
- [8] H. Rodríguez et al., “Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia”, vol. 1. Bogotá, D.C.: Corpoema UPME, diciembre de 2010.

[9] Duarte Camilo, Güiza Sergio. programa de Ingeniería Electromecánica Implementación de un sistema eólico de 500 w y acondicionamiento del sistema de generación fotovoltaico existente, para energizar un circuito de carga auxiliar en el laboratorio de energías renovables bloque 6 piso 5 de la UAN sede circunvalar. (Trabajo de grado) Bogotá D.C, Colombia UAN 2019.

[10] https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitaes/9675/599-formato-articulos-iman.es.pdf

[11] Castillo Carlos, Iguaran Hernán. Facultad de ingeniería Mecánica. “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN GENERADOR DE MAGNETOS PERMANETES”. Trabajo de grado, Bucaramanga, Colombia 2012.
http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital_22264.pdf

[12] Molina, C.M. 2016. “Metodología para la búsqueda de fosas a partir de la interpretación de anomalías en los datos obtenidos mediante la aplicación geofísica de alta resolución” (Tesis doctoral) Universidad Nacional Bogotá Colombia.

[13] Sagripanti, G.L., Villalba, D., Aguilera, D., y Giaccardi, A. 2017. “Avances de la geología forense en Argentina: Búsqueda con métodos no invasivos de personas víctimas de desaparición forzada”. Boletín de Geología, 39(3): 55-69

[14] Suarez Huertas Andrés Fabián, Molina Carlos Martin, Baena Alejandra, 2018 noviembre 06. “La UAN tras los pasos de los desaparecidos”; Recuperado de <http://www.uan.edu.co/component/k2/item/3477-la-uan-tras-los-pasos-de-los-desaparecidos>.

[15] Sagripanti, G., Villalba, D., Aguilera, D., y Giaccardi, A. 2013. Geología forense: “Métodos aplicados en la búsqueda de desaparecidos en la región central de Argentina”. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 70(1): 150-160.

[16] Javier Rey, Julián Martínez López, José Dueñas, Daniel Campos, Francisco Arias, José Benavente; 2010 mayo 28. “La tomografía eléctrica aplicada a la investigación del

yacimiento arqueológico de Cástulo (Linares, Jaén)". Recuperado de <http://www.sociedadgeologica.es/archivos/geogacetas/geo48/art55.pdf>.

[17] Proyecto desaparecidos, 2007 abril 28; "Hallan fosa con 57 osamentas de desaparecidos en Colombia"; Recuperado <http://www.desaparecidos.org/colombia/>.

[18] Quiñones Baltodano Aldo Juan, 2015. "Caracterización del generador de imanes permanentes". (Especialización energía solar). Universidad nacional de ingeniería Lima-Perú

[19] González Chávez, S., & Baldera Teodoro, J. (2006). "Diseño y construcción de un aerogenerador de 500w con imanes permanentes para pequeñas demandas eléctricas de zonas rurales". TECNIA, 16(2). <https://doi.org/10.21754/tecnica.v16i2.394>

[20]https://www.academia.edu/38367647/TRABAJO_DE_ELECTRICIDAD_FINAL?email_work_card=view-paper

[21] Gussow, M. (1988). Fundamentos de Electricidad Schaum. Mc Graw Hill

[22] José Garrigós, 2011, Ciclo Formativo de grado superior: Técnico Superior en Industria Alimentaria-Introducción a La electricidad, I.E.S. Andrés De Vandelvira España

[23] Floyd, T. L., Salas, R. N., González, L. M. O., & López, G. P. (2007). Principios de circuitos eléctricos. Pearson Educación.

[24] Kosow, I. L. (1993). Máquinas eléctricas y transformadores. Pearson Educación.

[25] Domínguez, A. B. (2008). Generadores eólicos de baja potencia. ANI-Academia Nacional de Ingeniería.

[26] Benito, A. B. (2002). Máquinas eléctricas.

[27] <https://www.etsist.upm.es/estaticos/ingeniatic/index.php/tecnologias/item/431-d%C3%ADnamo%3Ftmpl=component&print=1.html>

[28] [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Dinamo_\(generador_el%C3%A9ctrico\)&oldid=126706870](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Dinamo_(generador_el%C3%A9ctrico)&oldid=126706870).

[29] <http://www.webscolar.com>

[30] http://docentes.uto.edu.bo/ablancob/wp-content/uploads/maquina_electrica.pdf

[31] López, J., & Franco, C. (2012). Análisis del caso ideal para el almacenamiento de electricidad en bancos de baterías en el mercado eléctrico mayorista de Colombia usando dinámica de sistemas. X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, 1 - 10.

[32] Corporación Ruta N (2016). Observatorio CT+i: Informe No. 1 Área de oportunidad Almacenamiento de energía: Baterías de Flujo, Baterías Plomo-Ácido y Volantes de Inercia.

[33] <https://www.talleresyrepuestos.com>

[34] Iñigo Diez Olleros Julio de 2018 “Tecnología de los volantes de inercia”, Universidad politécnica de Madrid.

[35] <http://www.activepower.com/es-ES/5019/tecnologia-de-volante>

[36] Abbey, C., & Joos, G. (2007). Supercapacitor Energy Storage for Wind Energy Applications. IEEE Transactions on Industry Applications, 43(3), 769–776. <https://doi.org/10.1109/TIA.2007.895768>

[37] Bosch – NT- DC002- Manual de baterías junio 2014

[38] Corporación Ruta N (2015). Observatorio CT+i: Informe No. 1 Área de oportunidad en Almacenamiento de energía eléctrica. Recuperado desde www.brainbookn.com

[39] <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Rectificador&oldid=124622094>

[40] Subsuelo3d – Manual de usuario - ASM001 y GeoAmp303 – V1.2, 2018

[41] (Eunice Álvarez Barrientos, Universidad Nacional Autónoma de México “Tomografía eléctrica resistiva 3d en la caracterización del subsuelo bajo estructuras civiles”. ciudad universitaria, México D.F., 2015.)

[42] Carlos Alberto Lastra Zapata, Universidad Nacional Autónoma de México “Determinación de una pluma contaminante por hidrocarburo mediante tomografía eléctrica en el municipio de Texihtepec, Veracruz”. MÉXICO, D.F. AGOSTO DE 2013.

[43] (de la Riva, J., Ibarra, P., Montorio, R., Rodríguez, M. “La tomografía eléctrica como técnica de apoyo para la identificación y reconocimiento de meandros abandonados: caso de estudio de La Vega Media del Segura (Murcia)” España 2015)

[44] https://secureservercdn.net/45.40.149.34/d94.f9d.myftpupload.com/wp-content/uploads/2019/07/casos_estudio_rev1-2.pdf

[45] http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/3_anio/mecanica_electrica/CADENAS_DE_TRANSMISION.pdf

[46] M. Cortes Cherta (1994 España) Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas, Ed. Editores técnicos asociados S.A. p. 1-150

[47] https://irp-cdn.multiscreensite.com/81612fc9/files/uploaded/cadena_transmision.pdf

[48] Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley” Octava edición, Mc Graw Hill.]

[49] Robert L. Mott, P. (2006). Diseño de elementos de máquinas, cuarta edición. México: Pearson

[50] https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/42_sistemas_de_polea_y_correa.html

[51] Julián Pérez Porto y María Merino. Publicado: 2013. Actualizado: 2015. Definición de potencia mecánica (<https://definicion.de/potencia-mecanica/>)

[52] <https://www.academia.edu/12656449/Torsi%C3%B3n>

[53] <https://www.ciclismoyrendimiento.com/a-vueltas-con-la-cadencia/>

[54] <https://www.intermec.com.co/>

[55] <https://www.skf.com/co>

[56] <https://www.shoptronica.com/reguladores-de-tension-y-corriente/>

[57] <https://www.google.com/search?q=lm2596+plano+con+display+datasheet&source>

15. Manual de operación y mantenimiento

CONTENIDO

Este documento proporciona la información necesaria y verídica para el correcto uso y funcionamiento de nuestro generador.

Los siguientes temas serán los cuales encuentre a lo largo del documento:

1. Funcionamiento
2. Ajuste
3. Limpieza
4. Mantenimiento

Nota: al final del documento se presentan los planos de diseño mecánico y eléctrico del equipo para así dar el mejor ajuste y control durante toda su vida útil.

INTRODUCCION

El presente manual contiene las instrucciones de operación del equipo, junto con sus modos de uso y respectivas maneras de mantenimiento y limpieza del mismo, recordar que toda prueba en campo o laboratorio debe estar de la mano de personal que haya leído previamente este manual.

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

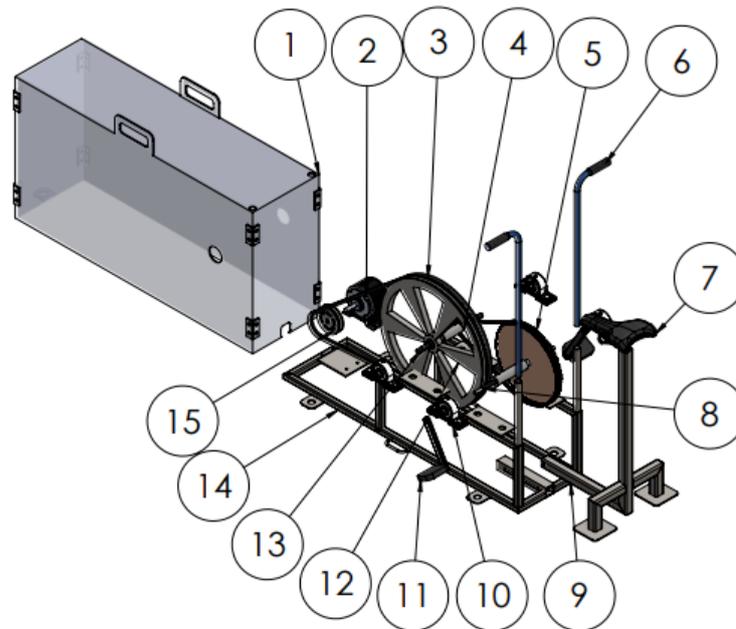
INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

- ✓ Revisar que la estructura este en un lugar firme y posiblemente nivelado, de tal manera que el operador se sienta cómodo para utilizarla.
- ✓ Revisar que la estructura cuente con todos sus tornillos y estos a su vez estén completamente ajustados.
- ✓ Revisar que las terminales de cables de la parte eléctrica estén debidamente conectadas (no debe haber cables sueltos).
- ✓ Se debe tener precaución a la hora de manipular cualquier componente mecánico de la máquina, ya que puede haber atrapamientos y causar lesiones graves.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

FICHA TECNICA SISTEMA MECANICO DE PEDALEO	
Voltaje principal	12/24 VDC
Corriente máxima	13.5 A
Dimensiones generales del equipo	930 largo x 260 ancho x 483 alto (mm)
Peso aproximado del equipo	17 Kg
Material del equipo	Acero estructural/Acero 1020

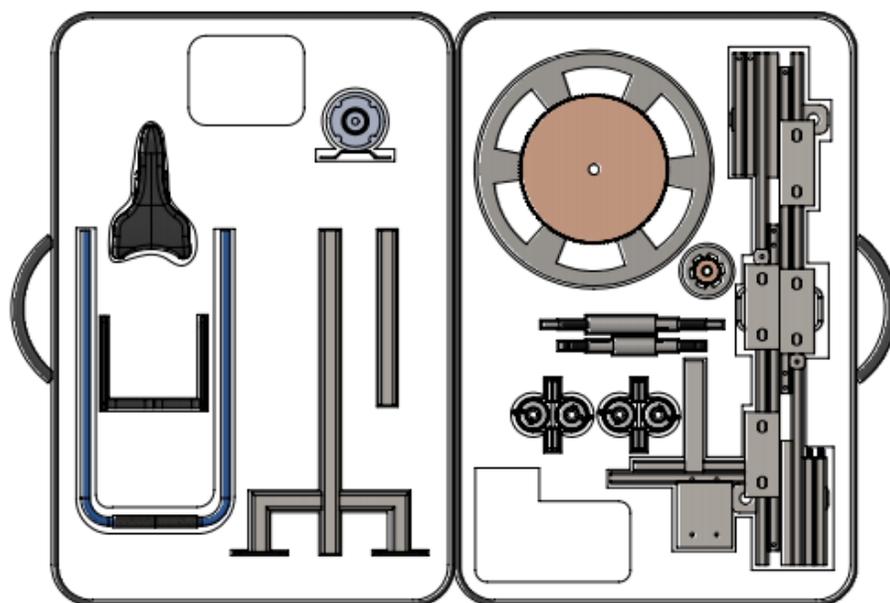
COMPONENTES



1. Cubierta
2. Generador de imanes permanentes
3. Banda
4. Catarina
5. Engrane
6. Manubrio
7. Asiento
8. Eje de pedal
9. Soporte asiento
10. Chumacera
11. Pedal
12. Polea 400 mm
13. Eje intermedio
14. Bastidor
15. Polea 85 mm

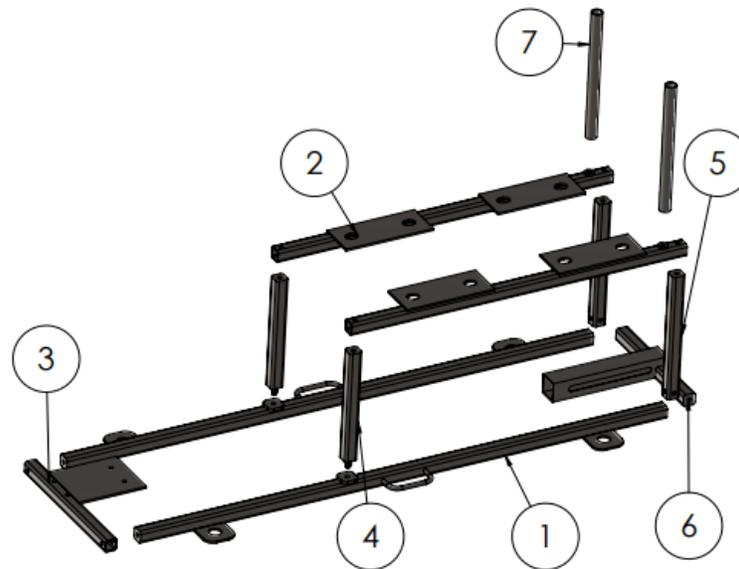
MODO DE USO

La disposición inicial del equipo parte desde el embalaje de transporte donde se encuentra cada uno de los elementos constitutivos del generador tal como se observa en la siguiente figura.

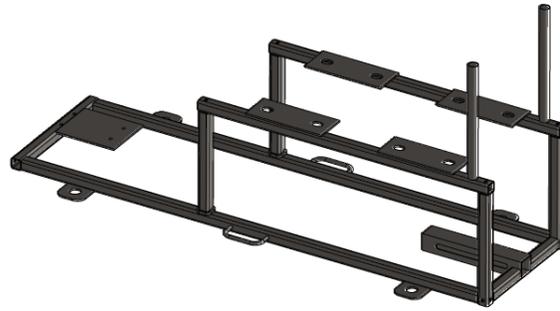


Ensamble del bastidor

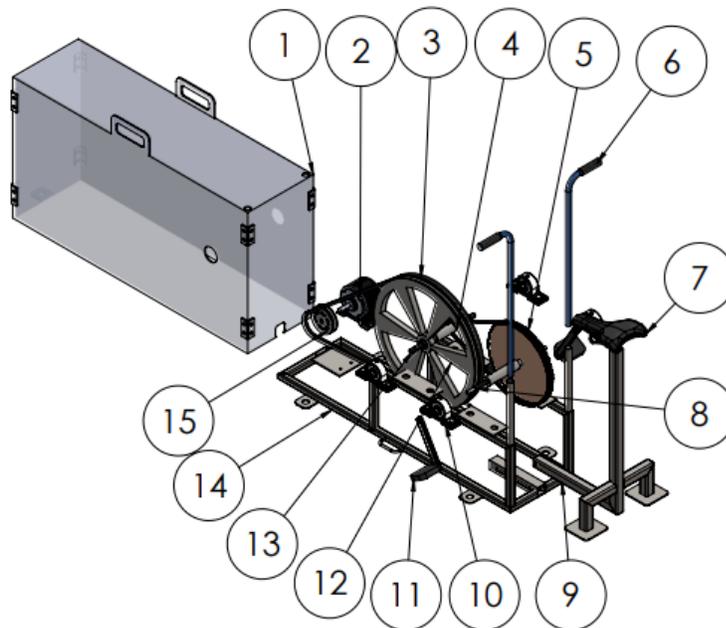
Para una articulación de la estructura soporte se debe realizar el ensamble como se indica a continuación.



- Inicialmente tome las piezas 1 [X2] y atornille a estas las piezas 3 [X2] Y 6 [X2] en cada uno de los extremos como se ve en la figura.
- De igual manera fije las piezas número 4 [X2] y 5 [X2] a la base obtenida en el paso anterior como se ilustra.
- Sobre las piezas verticales previamente atornilladas (4 y 5), asegure las piezas 2 [X2]; luego al extremo de la misma atornille las piezas 7 [X2].
- Finalmente se obtiene el bastidor tal y como se presenta en la siguiente figura.



Montaje de componentes



Con base en el bastidor ensamblado se procede a fijar cada uno de los elementos que conforman la transmisión mecánica y la generación eléctrica, para ello se listan los siguientes pasos.

- Se atornilla el generador de imanes permanentes (2) a la base mediante cuatro tornillos de fijación con tuerca de seguridad.
- Acople la polea de 85mm (15) al eje del generador (2) y ajústela a lo largo de este hasta que el tope del cuñero lo permita.
- En el eje intermedio (13) acople la polea de 400mm (12) y la catarina (4) mediante el uso de cuñeros.

- Instale la cadena de transmisión en la catarina.
- A cada uno de los extremos del eje intermedio con los ensambles anteriormente ejecutados fije un cojinete (10),
- Disponga la banda (3) entre la polea del generador y la polea de 400mm, dele ajuste mediante los tornillos de fijación de los cojinetes a las platinas del bastidor.
- En el eje del pedal acople el engrane de 125 dientes (5) ajustándolo mediante cuñero.
- Sobreponga el otro extremo de la cadena de transmisión proveniente de la catarina en el engrane.
- Fije en cada uno de los extremos del eje del pedal un cojinete.
- Mediante los tornillos de fijación de los cojinetes (10) a las platinas del bastidor de ajuste y tensión a la cadena.
- Articule los brazos del manubrio (6) a las dos piezas verticales del bastidor.
- Ensamble el sillín al bastidor y asegúrelo.
- Instale la cubierta protectora sobre los mecanismos y asegure.

Para iniciar actividad con el generador se debe verificar su estabilidad en sitio, ajuste de la estructura, conexiones eléctricas en buen estado y además revisar y poner el sillín a una altura adecuada esto para darle una confiabilidad y buena ergonomía al operador del equipo.

1. Conecte la batería a cargar y cerciórese de una buena conexión en los bornes positivo (+) y negativo (-).
2. Ascienda al equipo y ubique sus pies en cada uno de los pedales y soporte las manos en el manubrio para una mejor estabilidad.
3. Pedalee, en lo posible de una manera cadenciada de tal modo que no sienta que su físico se agota muy rápido y tenga un sobreesfuerzo que pueda causar algún malestar físico.

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

4. De esta manera manténgase pedaleando hasta evidenciar que nuestro sistema indique una carga total o parcial de la batería.
5. Descienda del equipo y verifique que la batería lleve a la carga deseada; De ser así desconecte cuidadosamente sin halar y causar daños a los cables de conexión.