

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIEROS
ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGIZACIÓN IMPULSADO
POR BICICLETAS ESTÁTICAS PARA EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE
DEL GIMNASIO DE LA UPS**

**AUTORES:
HUMBERTO ISRAEL BENAVIDEZ CARRERA
SERGIO ALEXANDER QUINTUÑA QUINALUIZA**

**TUTOR:
JAVIER ARTURO ROJAS URBANO**

Quito, marzo del 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Humberto Israel Benavidez Carrera y Sergio Alexander Quintuña Quinaluiza con documentos de identificación N° 172681843-6 y N° 180541968-4 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGIZACIÓN IMPULSADO POR BICICLETAS ESTÁTICAS PARA EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL GIMNASIO DE LA UPS, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIEROS ELECTRÓNICOS, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Humberto Israel Benavidez Carrera
Cedula: 172681843-6



Sergio Alexander Quintuña Quinaluiza
Cedula: 180541968-4

Quito, marzo 2021.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGIZACIÓN IMPULSADO POR BICICLETAS ESTÁTICAS PARA EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL GIMNASIO DE LA UPS, realizado por Humberto Israel Benavidez Carrera y Sergio Alexander Quintuña Quinaluiza, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como Trabajo Final de Titulación.

Quito, marzo 2021



Ing. Javier Rojas Urbano
C.C.: 0201898020

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios por que pese a las adversidades conjuntamente con mi familia han estado ahí presentes.

Dedico con mucho orgullo a mis padres Patricia y Tulio quienes me ayudaron a cumplir con esta meta y muchas más, siendo mi pilar fundamental y ejemplo a seguir de determinación, dando corazón por lo que uno hace en la vida, a mis hermanos Francisco y Salomé un agradecimiento inmenso por ser apoyo incondicional para mi persona, a mi novia Verónica quien estuvo al pie del cañón cuando más lo necesité y me impulso hacia adelante.

Finalmente agradezco y dedico a mis sobrinos quienes con tanta ilusión vieron mis proyectos de la carrera y me hicieron sentir su ejemplo a seguir dándome más motivación para seguir con mucho ahínco con mis metas.

Humberto Israel Benavidez Carrera

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres Jorge y Gladys que con su sacrificio diario nunca me han hecho faltar nada, también por darme ánimos para seguir avanzando a lo largo de mi vida cotidiana y universitaria.

A mi hermana Paola que siempre me ha brindado su ayuda en los momentos más críticos con su apoyo constante, ha sido la persona más humilde y acolitadora que conozco.

A mi hermana menor Monserrath por estar siempre a mi lado y compartir su tiempo, sus gustos y locuras conmigo, es la persona a quien le deposito toda mi confianza.

A mis mamitas Shule y Pila que siempre me han recibido con los brazos abiertos y por el apoyo ciego e incondicional que solo las abuelitas pueden dar.

Sergio Alexander Quintuña Quinaluiza

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios, por permitirnos culminar esta etapa de crecimiento profesional, al igual que a la Universidad Politécnica Salesiana por formarnos con principios, valores, y ganas de superación para obtener un mundo mejor. Agradecemos también a nuestras familias porque hemos formado parte de hogares cálidos, cuyos valores nos dan un gran ejemplo y una expectativa de ser mejores, tanto como ellos lo son.

Humberto Israel Benavidez Carrera

AGRADECIMIENTO

A mis padres por apoyarme incondicionalmente y estar presentes en todos los acontecimientos importantes de mi vida.

A mi familia y amigos que han estado siempre al pendiente de mí, con los cuales compartimos momentos inolvidables.

Al Ing. Javier Rojas por la paciencia y la guía durante cada etapa de la realización del trabajo

A mi sobrinito Alan que me ha hecho reír un sin número de veces con sus ocurrencias y en sí a todas las personas que me han animado para finalizar con éxito esta etapa.

Sergio Alexander Quintuña Quinaluiza

ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA EL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO 1.....	1
1. ANTECEDENTES	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2 TEMA.....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 OBJETIVOS.....	2
1.4.1 Objetivo general.....	2
1.4.2 Objetivos específicos	2
1.5 METODOLOGÍA	3
CAPÍTULO 2.....	4
2. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	4
2.1 GENERACIÓN AC	4
2.2 GENERADOR SÍNCRONO.....	8

2.2.1 Rotor	9
2.2.2 Estator	12
2.3 FUENTES DE ENERGÍA CINEMÁTICA	14
2.3.1 Tipos de Motor Primario	14
2.4 APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA AC	16
2.4.1 Transformadores	16
2.4.2 Arreglo rectificador-inversor	17
2.5 RECTIFICADORES	18
2.5.1 Rectificador de media onda	18
2.5.2 Rectificador de onda completa	19
2.6 INVERSORES	21
2.6.1 Inversor monofásico	21
2.6.2 Inversor trifásico	22
2.7 ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	23
2.7.1 Tipos de baterías	24
CAPÍTULO 3.....	26
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	26
3.1 ESQUEMA GENERAL DE LA SOLUCIÓN	26
3.2 LEVANTAMIENTO DE CARGA	28
3.3 DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE ENERGÍA	31
3.4 DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ..	33
3.5 DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ENERGÍA.....	35
3.5.1 Establecimiento de energía mecánica disponible en el gimnasio	36
3.5.2 Diseño del acople de transferencia mecánica	40
3.5.3 Diseño del Inversor	41
3.6 DISEÑO DEL CONTROLADOR 1	43

3.6.1 Lectura del movimiento de las bicicletas estáticas	44
3.6.2 Bloque Actuador	45
3.6.3 Diseño del control	46
3.6.4 Dimensionamiento del controlador 1	49
3.7 DISEÑO DEL CONTROLADOR 2	50
3.7.1 Lectura del nivel de tensión por el microcontrolador	51
3.7.2 Bloque de selector electrónico	52
3.7.3 Diseño del control	53
3.7.4 Dimensionamiento del controlador 2.....	55
3.8 IMPLEMENTACIÓN	57
3.8.1 Circuito eléctrico.....	57
3.8.2 Circuito mecánico	58
3.8.3 Circuito electrónico.....	59
CAPÍTULO 4.....	66
4. PRUEBAS Y RESULTADOS	66
4.1 PRUEBA DE DESCARGA EN EL SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO	66
4.2 PRUEBA DE CARGA EN EL SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO EN VACÍO	68
4.3 PRUEBA DE CONEXIÓN AL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	71
4.4 PRUEBA DE DESCONEXIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN	73
CAPÍTULO 5.....	76
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
CONCLUSIONES.....	76
RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80
ANEXOS	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 El disco de Faraday.....	5
Figura 2.2 Inducción de una bobina por un campo magnético variable	6
Figura 2.3 Espectro magnético de un imán recto bipolar y de tipo herradura	7
Figura 2.4 Circuito magnético.....	7
Figura 2.5 Partes de un generador síncrono	8
Figura 2.6. Rotores en un Máquina Síncrona.....	9
Figura 2.7 Componentes para suministrar corriente al rotor.....	11
Figura 2.8 Excitación piloto	11
Figura 2.9 Bobinado de inducido para un generador monofásico	12
Figura 2.10 Formas de onda del voltaje generado en un generador trifásico	13
Figura 2.11 Esquema de bloques de un arreglo rectificador-inversor	18
Figura 2.12 Circuitos rectificadores monofásico y trifásico de media onda.....	19
Figura 2.13 Circuitos rectificadores monofásico y trifásico de onda completa.....	20
Figura 2.14 Inversor monofásico tipo puente H.....	22
Figura 2.15 Inversor trifásico de tres ramas.....	23
Figura 3.1 Diagrama general de bloques del sistema implementado.....	26
Figura 3.2 Vista de luminarias y equipos eléctricos en el gimnasio de la UPS	28
Figura 3.3 Potencia de luminarias disponibles en el gimnasio	29
Figura 3.4 Configuración del equipo inversor vía bluetooth	33
Figura 3.5 Conexión serie-paralelo del banco acumulador.....	35
Figura 3.6 Diagrama de bloques para la extracción de energía	36
Figura 3.7 Bicicletas disponibles en el gimnasio de la UPS campus sur.....	37
Figura 3.8 Diseño de acople mecánico por rodillo de contacto directo o fricción.....	40
Figura 3.9 Curva típica del alternador estabilizado	42
Figura 3.10 Alternador KTC 24V-45A utilizado para la generación de energía eléctrica	43
Figura 3.11 Diagrama de bloques para el controlador 1	44
Figura 3.12 Pegatina bicolor para la rueda de la bicicleta estática	45
Figura 3.13 Circuito de activación de un relé controlado por transistor	46
Figura 3.14 Diagrama de flujo del controlador 1	47
Figura 3.15 Distribución de los pines en un módulo arduino nano	49

Figura 3.16 Diagrama de bloques para la conexión del controlador 2.....	51
Figura 3.17 Divisor de voltaje.....	52
Figura 3.18 Selector electrónico a base de conmutadores	53
Figura 3.19 Diagrama de flujo del controlador 2.....	54
Figura 3.20 Diodo utilizado en la protección del circuito electrónico.....	56
Figura 3.21 Plano eléctrico original del sistema de iluminación para el gimnasio de la UPS	57
Figura 3.22 Plano eléctrico modificado del sistema de iluminación del gimnasio de la UPS	58
Figura 3.23 Sistema de extracción de energía en una bicicleta estática.....	59
Figura 3.24 Esquema de conexión del controlador 1	60
Figura 3.25 Diseño, presentación e implementación del controlador 1	60
Figura 3.26 Caja protectora del sensor TCRT5000	61
Figura 3.27 Disposición del control 1 en la bicicleta estática.....	62
Figura 3.28 Esquema de conexión del controlador 2.....	63
Figura 3.29 Diseño, presentación e implementación del controlador 2.....	64
Figura 3.30 Disposición del controlador 2 en el gimnasio	64
Figura 4.1 Prueba de descarga del banco acumulador conectado al sistema de iluminación.....	67
Figura 4.2 Gráfica de descarga del banco acumulador	68
Figura 4.3 Prueba de carga del banco acumulador en vacío	70
Figura 4.4 Gráfica de comparación del voltaje generado en relación a las bicicletas utilizadas	71
Figura 4.5 Gráfica de carga y descarga medida en intervalos.....	72
Figura 4.6 Estados de funcionamiento del controlador 2.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Levantamiento de cargas del gimnasio de la UPS campus sur	29
Tabla 3.2 Carga para el dimensionamiento de los subsistemas del proyecto técnico	31
Tabla 3.5 Cuantificación de usuarios que usan el gimnasio de la UPS campus sur ..	38
Tabla 3.6 Revoluciones (Rev.) entregadas por usuarios de las bicicletas estáticas ...	39

RESUMEN

El presente proyecto describe el diseño e implementación de un sistema de generación de energía eléctrica impulsado por el movimiento cinemático de las bicicletas estáticas del gimnasio de la UPS campus sur para ser usada en la energización del circuito de iluminación.

El sistema realizado en este proyecto de titulación cuenta con cinco subsistemas: el primero es el subsistema de extracción de energía que se instala en cada bicicleta, incorpora un grupo de dispositivos mecánicos y eléctricos, realiza la generación de energía eléctrica AC en función del movimiento de la rueda delantera de la bicicleta, luego la convierte en DC mediante un convertidor de potencia; el segundo es el subsistema de almacenamiento compuesto de un banco de baterías que acumula la energía generada; el tercer subsistema es el subsistema de acondicionamiento de la energía, se trata de un inversor que entrega a su salida 120Vac a 60Hz; el cuarto subsistema realiza la excitación de un generador y presenta una interfaz al usuario sobre el estado de las bicicletas estáticas; el quinto subsistema verifica el estado general del sistema, controla la carga y la descarga, muestra con indicadores el estado del sistema y protege a los equipos en uso; permite la energización de la carga lumínica al Gimnasio de la UPS del campus sur. Se puede apreciar en este documento el dimensionamiento de cada uno de los elementos, los cálculos realizados para obtener los resultados, las pruebas de campo realizadas del funcionamiento del sistema y los resultados que se obtuvieron de este proyecto técnico.

ABSTRACT

This project describes the design and implementation of an electrical energy generation system driven by the kinematic movement of the static bicycles in the gymnasium of the UPS south campus to be used to energize the lighting circuit.

This system has five subsystems: the first is the energy extraction subsystem that is installed on each bicycle, it incorporates a group of mechanical and electrical devices, it generates AC electrical energy based on the movement of the front wheel of the bicycle, then converts it into DC through a power converter; the second is the storage subsystem composed of a battery bank that accumulates the energy generated; the third subsystem is the power conditioning subsystem, it is an inverter that delivers 120Vac at 60Hz to its output; the fourth subsystem performs the excitation of a generator and presents an interface to the user about the status of the static bicycles; the fifth subsystem verifies the general status of the system, controls the charge and discharge, shows with indicators the status of the system and protects the equipment in use; it allows the energization of the light load to the Gymnasium of the UPS of the south campus. This document shows the dimensioning of each of the elements, the calculations performed to obtain the results, the field tests performed on the operation of the system and the results obtained from this technical project.

INTRODUCCIÓN

El capítulo 1 contiene el planteamiento del problema, los objetivos planteados y una exposición de la metodología a utilizar para poder conseguirlos.

El capítulo 2 comprende la investigación realizada para el desarrollo del proyecto, incluyendo temas sobre de generación de energía eléctrica AC, generadores síncronos, fuentes de energía cinemática, aprovechamiento de la energía AC, rectificadores, inversores y tipos de acumuladores de energía.

El capítulo 3 detalla el diseño de cada subsistema que interviene en la generación de energía eléctrica, tanto para la etapa de extracción de energía, almacenamiento de energía DC, acondicionamiento AC y el control, mismos que se implementan en el gimnasio de la UPS campus sur,

El capítulo 4 presenta las pruebas de carga y descarga en el subsistema de almacenamiento para determinar el tiempo de energización del sistema de iluminación, verificar el funcionamiento de cada uno de los subsistemas y finalmente el funcionamiento del sistema conectado en conjunto con sus respectivos resultados.

El capítulo 5 presenta las conclusiones y recomendaciones deducidas a partir del desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mayor consumo de energía eléctrica por parte de la Universidad Politécnica Salesiana se destina a maquinarias de laboratorios, servicios higiénicos, administración y sistemas de iluminación, este último sobresale debido al uso desde las 7am a 9pm. Las facturas de la Empresa Eléctrica de Quito demuestran que en ese horario el total a pagar es de 2637.87 dólares solo en el mes de julio de 2019.

El sistema de iluminación de la UPS está conformado en mayor parte por lámparas fluorescentes e incandescentes, que tienen baja eficiencia energética en comparación con sistemas actuales como el LED, que ofrecen mayor rendimiento y aprovechamiento de la energía. (Sáez, 2018)

Entre las exigencias de la distinción DAM QS se contempla tener una zona de energización mediante el uso de recursos renovables, energizar aulas, oficinas y zonas administrativas resultaría en una inversión demasiado alta, por ello la carrera de Ingeniería Electrónica propuso implementar la energización para el sistema de iluminación del gimnasio.

1.2 TEMA

Implementación de un sistema de energización impulsado por bicicletas estáticas para el sistema de iluminación del gimnasio de la UPS

1.3 JUSTIFICACIÓN

La Universidad Politécnica Salesiana busca con la DAM QS el reconocimiento público del Distrito Metropolitano de Quito y a su vez la promoción de la Institución a través de los canales de comunicación de la Secretaría de ambiente, así como también el uso del logotipo de la DAM QS. Además, contribuiría a la reducción de la huella ambiental siendo amigable con el medio ambiente a comparación de otras Instituciones de Educación Superior, debido a que el cambio de sistema de energización mediante recursos renovables obtiene una mínima o nula huella de carbono e hidrógeno a diferencia de las grandes comercializadoras de electricidad, ya que estas dejan un impacto ambiental considerable.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de generación eléctrica impulsado por bicicletas estáticas para la energización del sistema de iluminación del gimnasio de la Universidad Politécnica Salesiana campus sur.

1.4.2 Objetivos específicos

- Investigar los sistemas de generación eléctrica impulsados por máquinas rotativas para el aprovechamiento de la energía cinética de las bicicletas estáticas.
- Realizar el levantamiento de la carga lumínica del gimnasio de la UPS para la determinación de la potencia eléctrica requerida.
- Realizar el estudio de la mecánica de las bicicletas estáticas y su uso para la determinación de la potencia mecánica disponible.
- Diseñar los sistemas mecánicos y eléctricos para la generación de electricidad mediante la energía cinética de las bicicletas estáticas.

- Construir el sistema de generación eléctrica diseñado para la energización del sistema de iluminación del gimnasio de la UPS.
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema implementado para la validación de su operación.

1.5 METODOLOGÍA

- Se utiliza la metodología científica inductiva para la obtención de información relacionada al tema, de fuentes bibliográficas tales como: artículos científicos publicados, trabajos de titulación, etc.
- Se requiere la metodología descriptiva bajo la cual permite realizar una caracterización con elementos que dispone la universidad, viendo desde tiempo de vida útil hasta formas de reutilizar estos equipos o infraestructuras.
- Se utiliza la metodología experimental para el diseño del sistema motriz mediante acoples mecánicos para incorporarse al sistema eléctrico.
- Con la metodología experimental se procede con la colocación de elementos para el control, entre los que se menciona los sensores, actuadores y el controlador.
- Con la metodología aplicada se realizarán las pruebas del sistema de transformación de energía mecánica a eléctrica.
- Además, se usará la metodología fundamental con la cual se prepara la validación del proyecto mediante un banco de pruebas donde se realizará un cuadro comparativo entre el sistema de la red eléctrica vs proceso de generación de energía por bicicletas estáticas analizando si los beneficios son los esperados.

CAPÍTULO 2

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

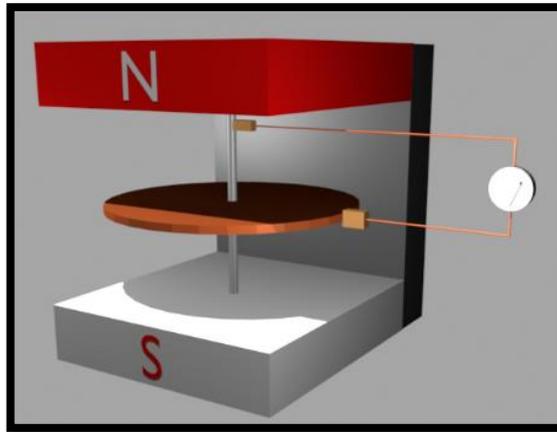
En el presente capítulo se detallan los conceptos teóricos más relevantes y necesarios para la generación de energía eléctrica y los procesos necesarios para ser enviada hacia la carga.

2.1 GENERACIÓN AC

La energía eléctrica alterna se basa en la disposición de una corriente alterna, AC por sus siglas en inglés, que se caracteriza por tener una magnitud que varía en función del tiempo, así como una variación en su sentido. Esta variación se repite de forma cíclica en un determinado tiempo, conocido como periodo, que también puede expresarse en ciclos por segundo, definiendo la frecuencia.

La forma de onda más común que tiene este tipo de corriente es una senoide, su generación se remonta a los años 1831 cuando se experimenta con el magnetismo. El primer prototipo para su generación fue el “disco de Faraday” como se muestra en la figura 2.1, que era un disco de cobre, situado entre los extremos de un imán con forma de herradura, que gira impulsado por una manivela (Martín Castillo, 2015).

Figura 2.1 El disco de Faraday



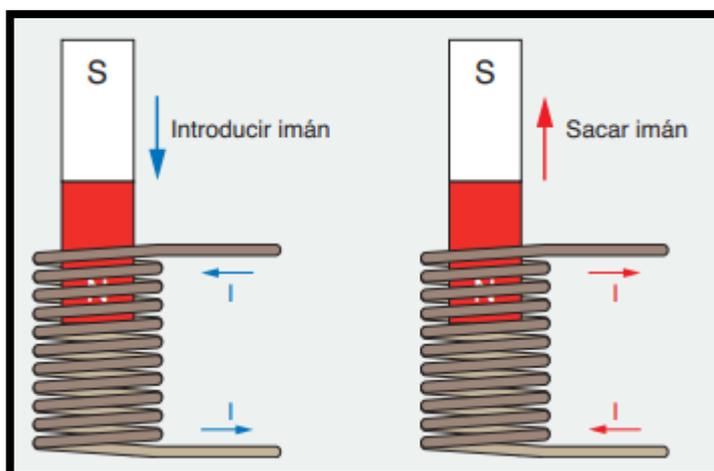
Primer prototipo de un generador eléctrico. Fuente: (Endesa, 2020)

La generación de energía eléctrica AC se basa en las leyes de electromagnetismo del físico Michael Faraday que dicen:

- “Un conductor eléctrico que se mueve en presencia de un campo magnético tendrá un voltaje inducido en él”.
- “Si un flujo magnético atraviesa una espira de alambre conductor, se inducirá en esta un voltaje directamente proporcional a la tasa de cambio del flujo con respecto al tiempo”.

Bajo estas leyes se puede deducir que para generar energía eléctrica AC se requiere de un campo magnético, un conductor y una fuente de energía cinética que permita que por el conductor atraviesen un número de líneas de campo magnético, por lo que esta energía se puede aplicar a uno de los componentes ya mencionados mientras que el otro permanece estático. En la figura.2.2 se observa como el alambre conductor permanece fijo y es el campo magnético el que presenta movimiento para inducir voltaje en sus terminales (Martín Castillo J. , 2015) (Castaño, 2018).

Figura 2.2 Inducción de una bobina por un campo magnético variable

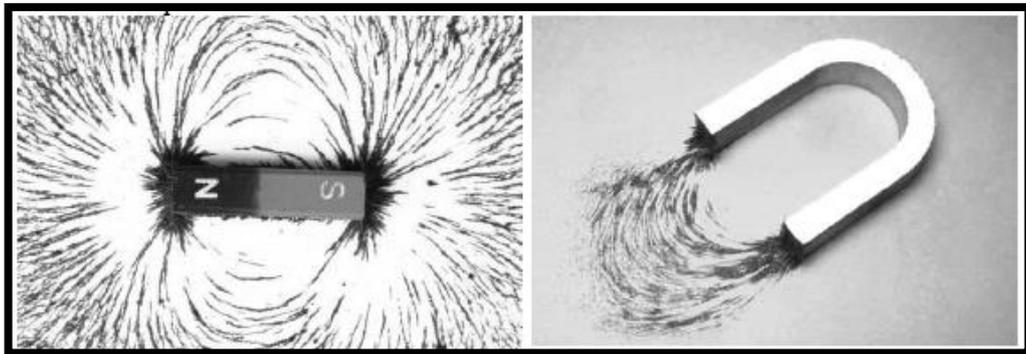


Si el campo magnético permanece inmóvil no existirá inducción en los terminales del alambre.

Fuente: (Martín Castillo J. , 2015)

El campo magnético se puede obtener mediante imanes permanentes, definido como un material imantado capaz de generar campo magnético persistente pueden estar compuestos de magnetita (material magnético natural) como el neodimio o materiales sintéticos como cobalto, níquel, alnico, ferrita, entre otros; que conservan los campos magnéticos adquiridos, cuentan con dos polos, norte y sur; mismos que presentan fuerzas de atracción o repulsión que generan líneas de acción entorno al imán, la separación entre ellas determina la intensidad del campo magnético. La forma de visualizar estas líneas consiste en espolvorear limaduras de hierro muy finas encima de una superficie donde se encuentre el imán, de esta forma, las limaduras se concentran en las líneas de acción que ejercen sus polos, formando lo que se conoce como espectros magnéticos. Nótese que en la figura 2.3 las limaduras de hierro ocupan un espacio determinado del imán sin presentar cambios, es decir que el campo magnético presente es constante (Serrano Iribarnegaray & Martínez Róman, 2017).

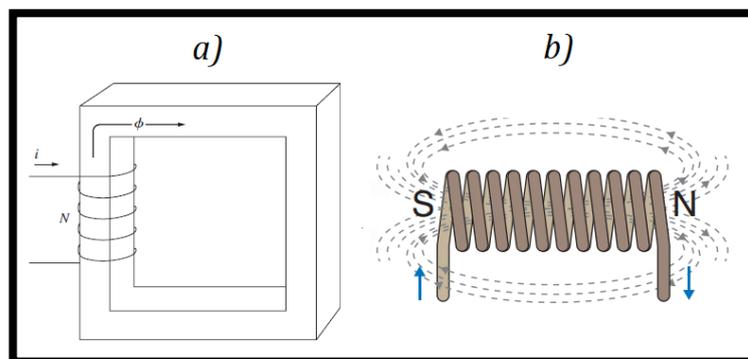
Figura 2.3 Espectro magnético de un imán recto bipolar y de tipo herradura



Líneas de acción del campo magnético en imanes. Fuente: (Serrano Iribarnegaray & Martínez Róman, 2017)

El campo magnético también puede ser producido utilizando la ley de Ampere, “la circulación del campo magnético a lo largo de una línea cerrada se debe a una corriente circulante”, generalmente se utiliza un conductor envuelto en un núcleo de hierro, bobina, para incrementar la intensidad del campo magnético, la misma que también depende de la corriente que circule por el conductor, así como de la forma y material del núcleo. En la figura 2.4a se puede observar el circuito magnético para generar el campo en un conductor bobinado sobre un núcleo ferromagnético, mientras que en el apartado la figura 2.4b se muestran las líneas de acción que se producen en la bobina enrollada en uno de los extremos del mismo núcleo (Chapman, 2015).

Figura 2.4 Circuito magnético



a) Circuito magnético que conforma un electroimán, b) Líneas de acción del campo en la bobina.

Fuente: (Chapman, 2015)

2.2 GENERADOR SÍNCRONO

Las máquinas eléctricas utilizadas para la generación de energía eléctrica se denominan generadores, en cuanto a energía AC se pueden clasificar en Síncrono y de Inducción.

Un generador síncrono es aquel donde la frecuencia eléctrica que se produce se sincroniza con la tasa mecánica de rotación del generador, es decir, la frecuencia depende de la velocidad de rotación, mientras que en el generador de inducción la velocidad con que gira es ligeramente inferior al campo magnético generado. Actualmente los generadores síncronos son la principal fuente de energía eléctrica que existe en los sistemas eléctricos de potencia (López Rosales J. W., 2017).

Un generador síncrono está formado por dos conductores, conocidos como devanado de campo y devanado de inducido. El devanado de campo se encuentra en la parte móvil de la máquina, conocida como rotor, y es el responsable de generar el campo magnético. Mientras que, el devanado de inducido se encuentra en la parte fija de la máquina, denominado estator, y es en el que se induce el voltaje. Se puede visualizar en la figura 2.5 tanto la parte móvil como la parte fija del generador (Chapman, 2015).

Figura 2.5 Partes de un generador síncrono

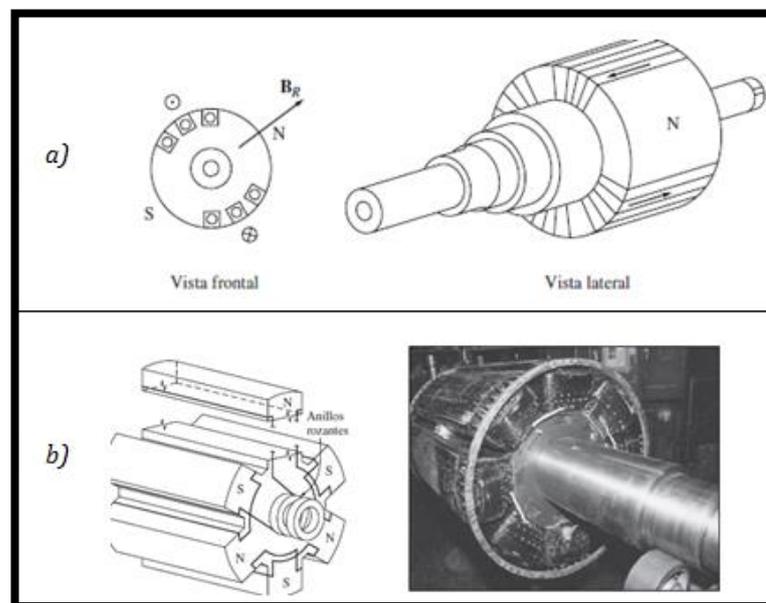


a) Rotor: corresponde a la parte móvil del generador b) Estator: corresponde a la parte fija del generador Fuente: (generadores, 2016)

2.2.1 Rotor

El rotor está constituido de aleaciones de acero al silicio, cuya función principal es proveer al generador con campo magnético al hacer circular una corriente continua por su devanado, razón por la cual el rotor se comporta como un electroimán, de acuerdo con la construcción de sus polos pueden ser de polos no salientes y polos salientes como se muestra en la figura 2.6. Un rotor de polos no salientes tiene forma cilíndrica con ranuras en su contorno en las cuáles se enrolla el devanado, generalmente se construyen de 2 a 4 polos; mientras que un rotor de polos salientes, tiene sus polos proyectados hacia fuera del rotor y con sus devanados enrollados alrededor de estos, se construyen de 4 polos en adelante por la razón de que, por cada par se tienen polos positivos y negativos, entre mayor número se asegura de mantener el campo magnético constante (Chapman, 2015).

Figura 2.6. Rotores en un Máquina Síncronica



a) Vistas de un rotor de dos polos no salientes, b) Modelado de un rotor con 6 polos salientes y el implementado de un rotor de 8 polos salientes. Fuente: (Chapman, 2015)

El número de polos en el rotor se determina a partir de la frecuencia que se desea obtener en el voltaje generado así como de la velocidad de su rotación; en centrales nucleares, de gas y térmicas se utilizan rotores de 2 a 4 polos no salientes que requieren velocidades de 1500rpm a 3000rpm para obtener frecuencias entre 50Hz Y 60Hz, en centrales hidroeléctricas los rotores que poseen polos salientes trabajan con velocidades entre 100rpm a 1500rpm, y necesitan mayor número de polos para alcanzar las mismas frecuencias. La frecuencia de giro del rotor esta descrita por la ecuación 2.1 (Enríquez, 2004).

$$f = \frac{p * n}{120} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde,

n = velocidad del rotor

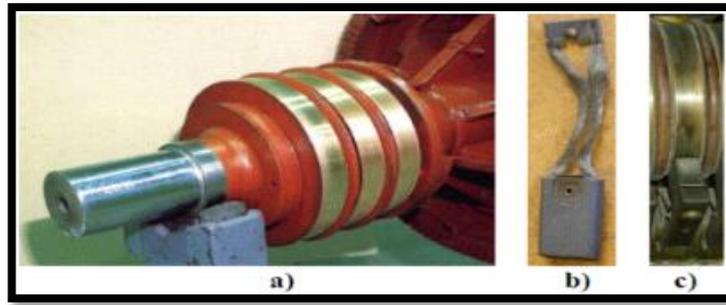
p = número de polos

f = frecuencia

Para aplicar una corriente continua en el devanado de campo del generador y considerando que este se encuentra en movimiento, existen dos formas de excitación, desde una fuente DC externa conectada por anillos rozantes y escobillas o mediante un excitador piloto (López Rosales J. W., 2017).

Los anillos rozantes son anillos de metal que circundan completamente el eje del generador, y están aislados de éste, unidos a cada anillo esta un extremo del devanado de campo, mediante una escobilla, conductor hecho de carbón con muy baja fricción, que se desplaza sobre cada uno de los anillos se suministra la corriente DC desde una fuente externa como se muestra en la figura 2.7. Este método presenta problemas de desgaste en las escobillas y anillos rozantes por lo que requiere mantenimiento periódico, especialmente en las escobillas (Rodríguez Pozueta, 2016).

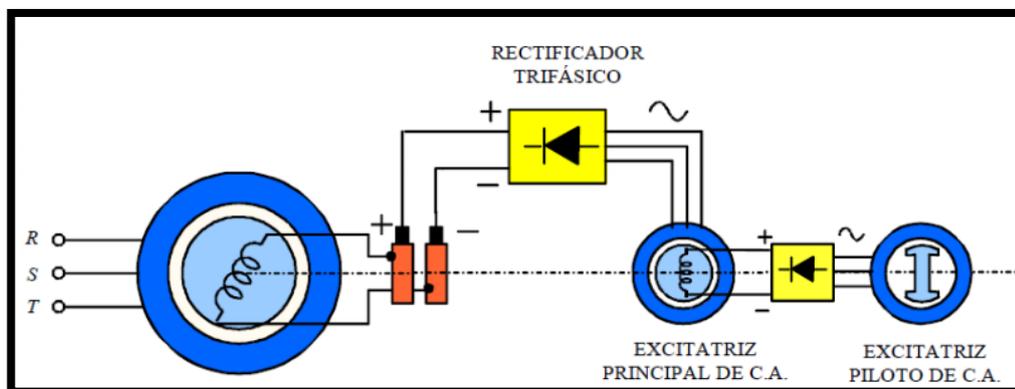
Figura 2.7 Componentes para suministrar corriente al rotor



a) Anillos rozantes que circundan al eje del rotor, b) Escobilla de carbón, c) Implementación de escobilla y anillos rozantes. Fuente: (Rodríguez Pozueta, 2016)

El excitador piloto es una fuente DC montada en el eje del generador síncrono, no hay necesidad de una fuente DC externa, sino que incluye un pequeño generador de AC con imanes permanentes montados en el eje del rotor y un devanado trifásico en el estator, cuando el rotor este en movimiento se inducen los devanados del inducido, que a su vez alimentan los devanados de campo del rotor, así consigue la corriente en el devanado del rotor para la generación de campo magnético. Muchos generadores con excitador piloto tienen anillos rozantes y escobillas como se muestra en la figura 2.8 para que puedan funcionar emergentemente con una fuente externa DC (Chapman, 2015).

Figura 2.8 Excitación piloto

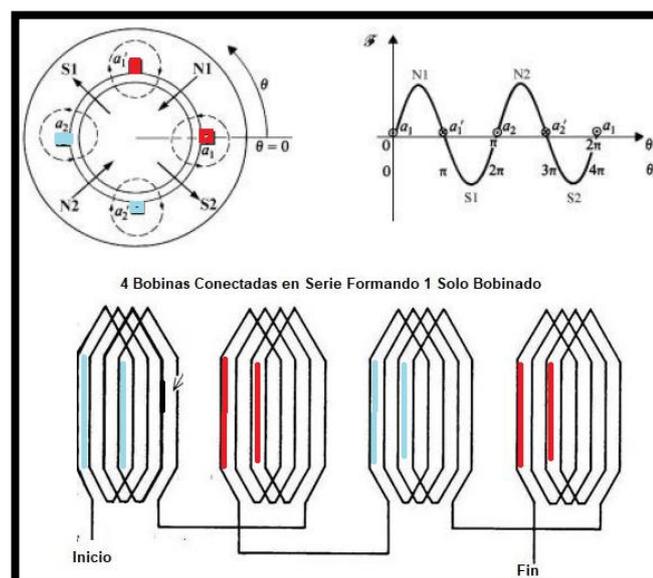


Sistema de excitación electrónica. Fuente: (Gómez, Gónzales, Fabiani, & Pereda, 2016)

2.2.2 Estator

El estator es la parte fija de la máquina que contiene devanados que son inducidos con voltajes en presencia de un campo magnético variable proveniente del rotor, su estructura asemeja a una corona circular, constituido de láminas barnizadas o chapas de acero al silicio, en el cual, existen ranuras en donde se encuentran los devanados de inducido, cada devanado se encuentra distribuido de tal manera que, a cada devanado de inducido le corresponde al menos un polo magnético del rotor. En el caso de un estator monofásico se tiene solo un devanado, permitiendo que la distribución de campo magnético suceda alternativamente en el inducido, al tener un campo magnético rotatorio alrededor de un estator al cual, se le induce voltaje en sus devanados se tiene una variación de magnitud, en donde, el punto máximo físicamente es cuando se alinea el polo del rotor con el devanado de inducido, este puede ser positivo o negativo. Al alejarse del polo su magnitud disminuye; de este modo se puede aseverar que su fluctuación entre polos positivos y negativos generan una onda sinusoidal como se observa en la figura 2.9 (Martín Castillo J. , 2015)

Figura 2.9 Bobinado de inducido para un generador monofásico

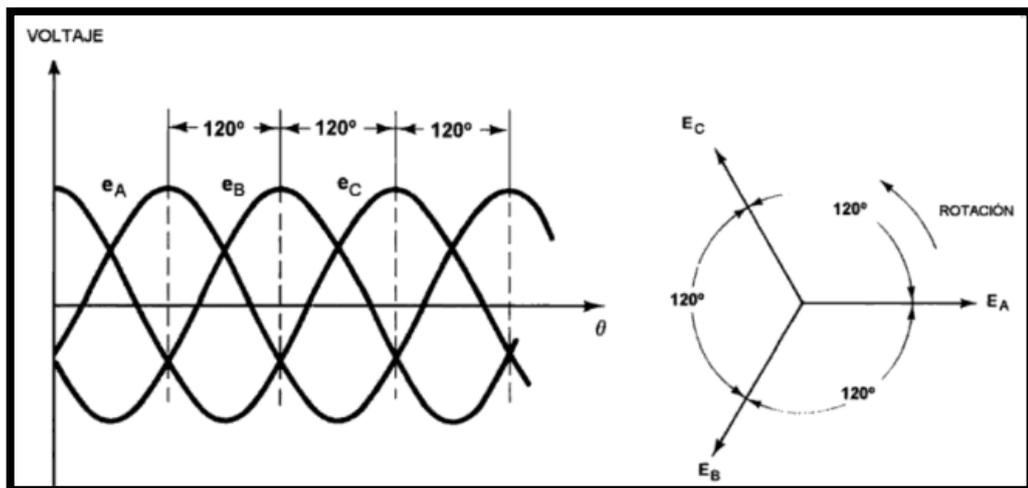


Las 4 bobinas que se muestran en el estator están conectadas en serie y forman un solo bobinado.

Fuente: (Martín Castillo J. , 2015)

En su defecto, un generador trifásico cuenta con tres pares de polos tanto para el positivo como para el negativo, además están separadas espacialmente 120 grados entre pares, 180 grados con sus respectivos opuestos. Las bobinas de inducido se encuentran alternadas dependiendo del número de polos del rotor y el número de fases a inducir. Los generadores trifásicos cuentan con tres generadores monofásicos, característicamente poseen voltajes iguales en la magnitud, sin embargo, tienen una diferencia en su ángulo de fase, cada uno de estos distan 120 grados fasoriales entre sí, de manera que se obtienen tres bobinados estáticos independientes. Estos sistemas tienen dos grandes ventajas como que se puede obtener mayor potencia por kilogramo de metal de una máquina trifásica y que la potencia entregada por los generadores trifásicos es constante, a diferencia de los sistemas monofásicos que oscilan, como se observa en la figura 2.10 (Wildi, 2007).

Figura 2.10 Formas de onda del voltaje generado en un generador trifásico



El voltaje inducido es sinusoidal debido a que está en presencia de un campo magnético variable, desplazadas entre si debido a la disposición de sus devanados. Fuente: (Enríquez, 2004)

2.3 FUENTES DE ENERGÍA CINEMÁTICA

En los generadores síncronos se requiere impulsar el giro del rotor a una determinada velocidad, el dispositivo encargado de esta tarea se conoce como motor primario. El motor primario debe tener la capacidad de producir rotación a velocidad constante para una frecuencia constante en el voltaje inducido, así como, rotación variable para ajustar la frecuencia del voltaje inducido ante presencia de perturbaciones (Chapman, 2015).

2.3.1 Tipos de Motor Primario

2.3.1.1 Energía térmica

Una de las formas más comunes de obtener energía cinemática es a partir de la energía térmica que se genera utilizando combustibles fósiles como son el petróleo, el gas y el carbón; siendo estos aprovechados en un motor de combustión interna en el cuál al quemar una mezcla de aire combustible se emite una fuerza de empuje hacia un pistón, el mismo que se conecta a un cigüeñal, que cambia la fuerza de empuje lineal del pistón en energía rotacional, o una caldera que produce vapor a presión que impulsa el cigüeñal, transformando finalmente en energía cinemática con el uso de acoples, poleas, bandas, piñones, entre otros; que permiten transmitir esta energía rotacional hacia los rotores. La principal ventaja de estos sistemas son los costos de construcción de sus centrales, especialmente las centrales de carbón. Por otra parte, estos sistemas no son muy eficientes ya que desprenden un exceso de calor que no es aprovechado (Pahuanquiza Guamantica, 2015).

2.3.1.2 Energía eólica

La energía eólica es la utilización de la fuerza del viento para generar movimiento. El medio principal para obtener esta energía son los aerogeneradores que, con sus álabes (paleta curva que desvía el flujo de corriente del viento), transforman la energía cinética del viento en energía mecánica. Una adecuada velocidad del viento permitirá

producir energía eléctrica. Estos sistemas requieren altas velocidades del viento para producir movimiento con los álabes del aerogenerador por lo que requieren estar colocados a grandes alturas donde las velocidades de viento son mayores. No existe un control de velocidad autónomo ya que dependerá de la naturaleza del viento, los cuales son limitantes a la hora de plantear su diseño. Entre los atributos más favorables destacan que son fuentes de energía renovable, no contaminante, siendo un recurso inagotable y contribuye al desarrollo sostenible (Oscar Doria, 2017).

2.3.1.3 Energía hidráulica

La energía hidráulica se obtiene del aprovechamiento del movimiento del agua presente en ríos y de embalses u océanos; se construyen represas para almacenar masas de agua aprovechando el lugar geográfico, se dispone de conductos que cumplen la función de conducir el agua a niveles inferiores, aumentando su velocidad y energía potencial, desembocándolo en la bocatoma de la turbina hidráulica, que al pasar agua a través de ellas golpea sus alabes y se produce un movimiento de rotación que es transferido hacia un eje. Esta energía depende del caudal del agua con el que impulsa la turbina que es controlada mediante una válvula mariposa o válvula esférica. La principal desventaja son los altos costos de construcción ya que se debe modificar una enorme área geográfica a fin de embalsar agua y en maquinaria necesaria. Por otra parte, es una fuente de energía limpia, sin residuos ideal para sitios donde exista variedad hidrográfica (Vargas, 2016).

2.3.1.4 Energía eléctrica

Un motor primario eléctrico es el que genera energía cinemática aprovechando la energía eléctrica de un suministro, ya sea esta fuente AC o DC induce sobre los bobinados del eje del rotor movimiento siempre que esté en presencia de un campo magnético constante. Su requerimiento principal es un suministro eléctrico previo, su mantenimiento es periódico debido al desgaste de los componentes que suministran energía. Principalmente no son contaminantes al medio ambiente pues no ocupan

combustibles fósiles, se puede realizar fácilmente el control de su velocidad, variando la tensión eléctrica de entrada y sentido de rotación, adicionalmente son económicos (Electrotecnia, 2015).

En los casos anteriormente expuestos se puede observar que existen movimientos rotacionales controlados, así como también no controlados, esto denota en que para la generación de energía eléctrica se requiere parámetros de control de rotación en el eje del rotor, en el caso contrario según la ecuación 2.1 del apartado 2.2.1 se tiene una variación de frecuencia, estas variaciones impiden el aprovechamiento directo de esta energía eléctrica generada.

2.4 APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA AC

Las cargas que requieren de energía AC necesitan valores específicos de voltaje y frecuencia, si se genera energía AC con estos valores basta con realizar una conexión directa entre la fuente y la carga para el aprovechamiento de la energía, en los casos en que la generación no coincide con los requerimientos de la carga es necesario utilizar dispositivos de procesamiento de energía para llevarla a niveles compatibles.

2.4.1 Transformadores

Los transformadores son máquinas estáticas de corriente alterna que poseen dos devanados, uno de ellos correspondiente al inductor al cual se lo llama primario y al otro que corresponde al inducido, este recibe el nombre de secundario. Estos devanados se encuentran arrollados sobre un núcleo ferromagnético el mismo que se encuentra constituido por chapas apiladas en donde circula el campo magnético. Al momento de introducir un diferencial en los terminales del devanado primario se produce un flujo magnético que en virtud de la ley de Faraday se induce una fuerza electromotriz (f.e.m) en el secundario y este genera un diferencial de potencial en los devanados del mismo el cual depende de la relación del número de vueltas arrolladas

entre el devanado primario y el devanado secundario, la ecuación para la relación de transformación es:

$$m = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Donde,

m = relación de transformación

V_1 = diferencial de potencial en el devanado primario

V_2 = diferencial de potencial en el devanado secundario

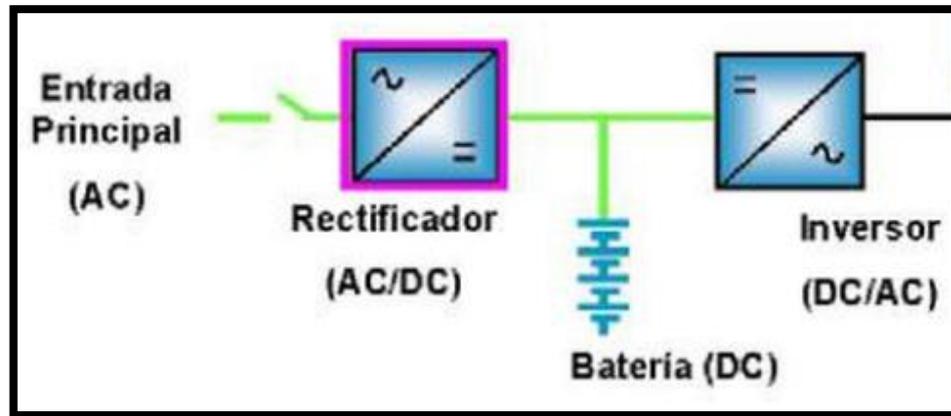
I_1 = corriente en el devanado primario

I_2 = corriente en el devanado secundario

2.4.2 Arreglo rectificador-inversor

Un arreglo rectificador-inversor sirve para la utilización de una fuente de energía AC no regulada, ya que el uso de esta energía podría tener fallos como micro cortes, variaciones de frecuencia, caídas y elevaciones de tensión, ruido de radio frecuencia, picos de tensión, entre otras anomalías que podrían dar lugar a daños temporales o también el envejecimiento prematuro de la carga e incluso el deterioro completo de la misma. Utiliza bloques de funciones que corresponden a la rectificación de la corriente AC no regulada que será almacenada en un banco de baterías en forma de DC, para posteriormente convertirla en AC mediante un inversor con valores estandarizados. En la figura 2.11 se puede visualizar la secuencia de bloques a utilizar en estos sistemas.

Figura 2.11 Esquema de bloques de un arreglo rectificador-inversor



Ingreso de AC no regulada, rectificación DC, almacenamiento e inversión AC. Fuente: (Pardell, 2020)

2.5 RECTIFICADORES

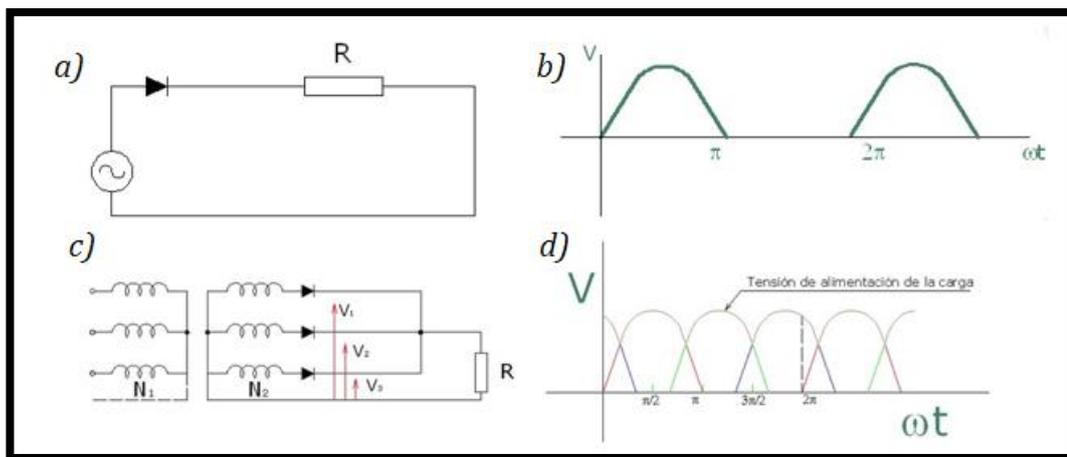
Son dispositivos que convierten la corriente AC en DC y se utiliza para controlar o modificar tensiones o corrientes por medio de circuitos electrónicos de potencia conmutados en los que se utilizan elementos semiconductores que actúan como interruptores, dependiendo la fuente AC que se utilice se pueden clasificar en monofásicos y trifásicos, siendo la principal diferencia que el segundo es capaz de manejar mayores cantidades de potencia. También se clasifican dependiendo de la porción de onda que se aprovecha en el procesamiento de energía, pudiendo ser de media onda u onda completa (Hernández Labañino, 2011).

2.5.1 Rectificador de media onda

El rectificador de media onda aprovecha únicamente un semiciclo de la onda AC para energizar a la carga. Su operación se basa en la activación de un semiconductor de potencia únicamente con el semiciclo positivo de la onda AC, permitiendo el paso de energía hacia la carga, mientras que bloquea el paso de energía con el semiciclo negativo. Como semiconductores se utilizan diodos aprovechando que se activan y desactivan automáticamente con las señales del circuito. Para los rectificadores

trifásicos de media onda se activan cada una de las fases del generador cuando una es mayor a las demás, pudiendo decirse que se componen por tres rectificadores monofásicos de media onda conectados en paralelo. En la figura 2.12a se observa el circuito rectificador monofásico de media onda, la forma de onda que entrega a la carga se observa en la figura 2.12b, las figuras 2.12c y 2.12d presentan la misma información para circuitos trifásicos.

Figura 2.12 Circuitos rectificadores monofásico y trifásico de media onda



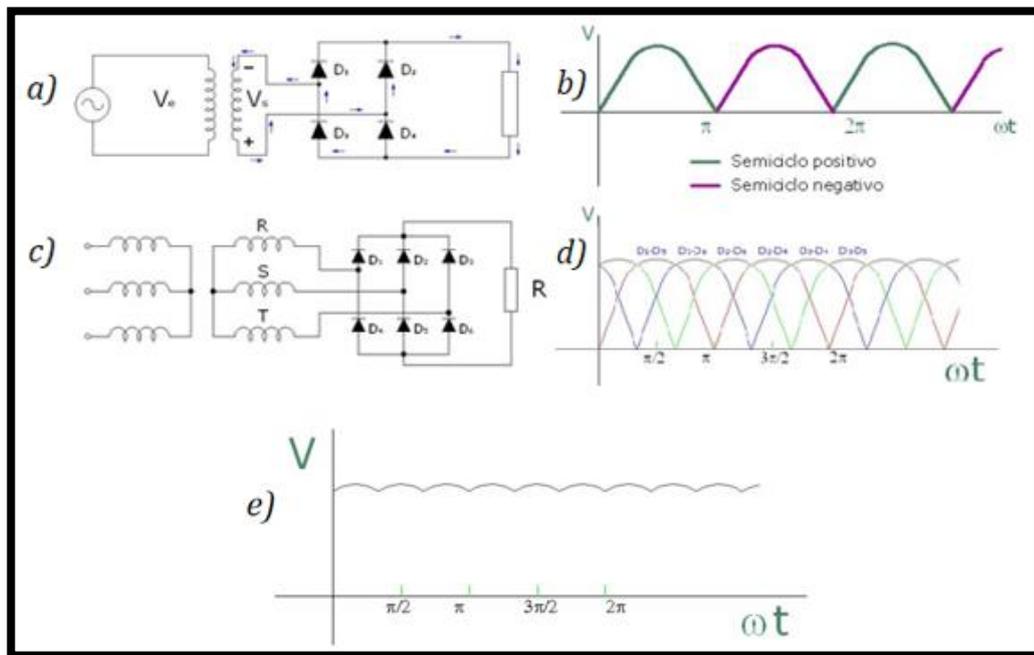
a) Circuito rectificador monofásico de media onda, b) Forma de onda monofásica entregada a la carga por el rectificador, c) Circuito rectificador trifásico de media onda, d) Forma de onda trifásica entregada a la carga por el rectificador. Fuente: (Plataforma educativa Aragonesa, 2016)

2.5.2 Rectificador de onda completa

El rectificador de onda completa utiliza arreglos de semiconductores en forma de puentes, que funcionan en pares para cada medio ciclo de la onda AC, un par de semiconductores permitirán el paso de energía a la carga en el semiciclo positivo, mientras que, la posición de los semiconductores en el semiciclo negativo intercambian la polaridad de la entrada AC provocando que la onda del semiciclo negativo que se alimenta a la carga cambie su sentido y también resulte positiva, en otras palabras, la carga siempre será alimentada con niveles positivos de corriente. El tipo de circuito para un rectificador de onda completa se aprecia en la figura 2.13a, al

igual que la forma de onda que alimenta la carga en la figura 2.13b. En un rectificador trifásico se tiene las fases de entrada R, S y T, las cuales atraviesan un arreglo de puente hexadiodo como se muestra en el apartado figura 2.13c, la secuencia de activación de los diodos corresponden a la suma lineal de cada fase en un punto determinado de tiempo, si este supera el umbral del diodo, es decir, que si esta suma resulta ser positiva entre R, S y T, y supera los valores umbrales del diodo, permitirá el paso de la corriente para los diodos D1, D2 y D3 y en caso de ser negativa en los diodos D4, D5, y D6, obtenido la gráfica resultante de la figura 2.13d, finalmente se observa la forma de onda resultante de la rectificación trifásica de puente completo en el apartado de la figura 2.13e, incluso se visualiza que en esta señal DC presenta un pequeño rizo con una frecuencia 6 veces mayor a la frecuencia de entrada (Hernández Labañino, 2011).

Figura 2.13 Circuitos rectificadores monofásico y trifásico de onda completa



a) Circuito rectificador monofásico de onda completa, b) Forma de onda de un rectificador Monofásico de onda completa, c) Circuito rectificador trifásico de onda completa, d) Forma de onda de un rectificador trifásico de onda completa, e) Forma de onda resultante de un rectificador trifásico.

Fuente: (Plataforma educativa Aragonesa, 2016)

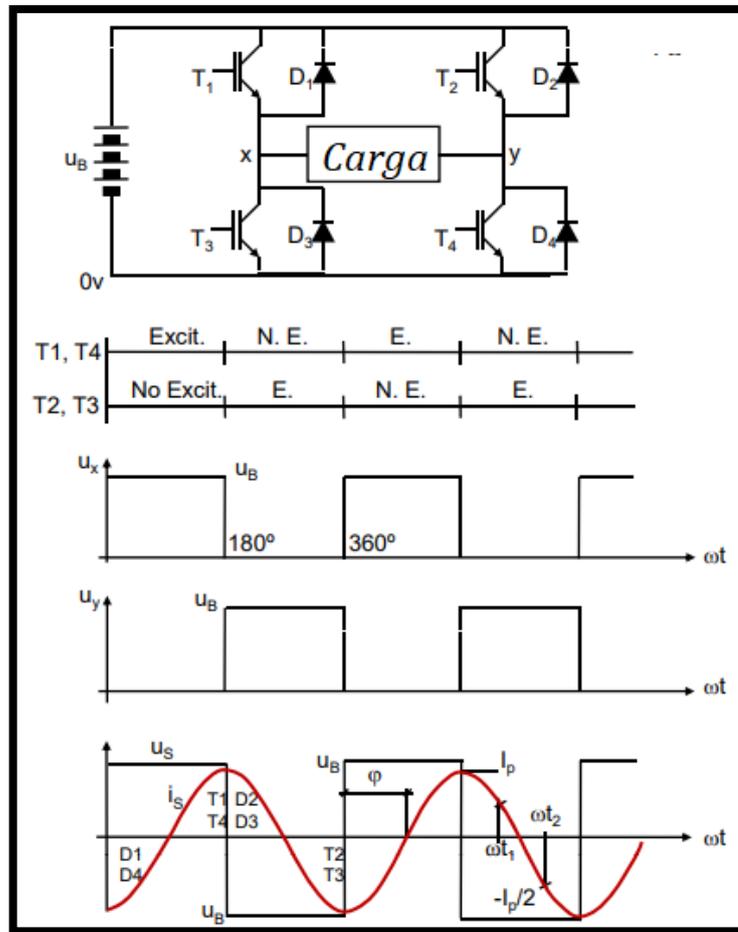
2.6 INVERSORES

Los convertidores DC-AC también conocidos como inversores tienen la capacidad de convertir la energía eléctrica de un generador o un acumulador DC a AC con los parámetros de corriente específicos o estandarizados de frecuencia y amplitud de voltaje. Existen inversores autónomos los cuales se conectan directamente a los consumidores o cargas eléctricas, también se puede encontrar inversores que suministran energía a una red eléctrica preexistente. El uso de los inversores en el área industrial se los encuentra como aplicativos para el control de velocidad de motores y en el área residencial para suministro de red eléctrica proveniente de paneles solares, entre otros. Estos inversores pueden ser monofásicos o trifásicos dependiendo del requerimiento de la carga (Castejon Olivia & Santamaria Herranz, 2018).

2.6.1 Inversor monofásico

El funcionamiento de un inversor monofásico se basa en controlar una corriente continua DC mediante un circuito electrónico de potencia que al alternar la activación de interruptores semiconductores controlados, cambian el sentido de la corriente en la carga obteniendo así una corriente AC como se muestra en la figura 2.14, donde se visualiza el diagrama de inversor monofásico de tipo puente H, en el que la activación del T1 y T4 ocurre para el semiciclo positivo y la activación de T2 y T4 para el semiciclo negativo (Ortega, Carranza, Sosa, García, & Hernández, 2016).

Figura 2.14 Inversor monofásico tipo puente H

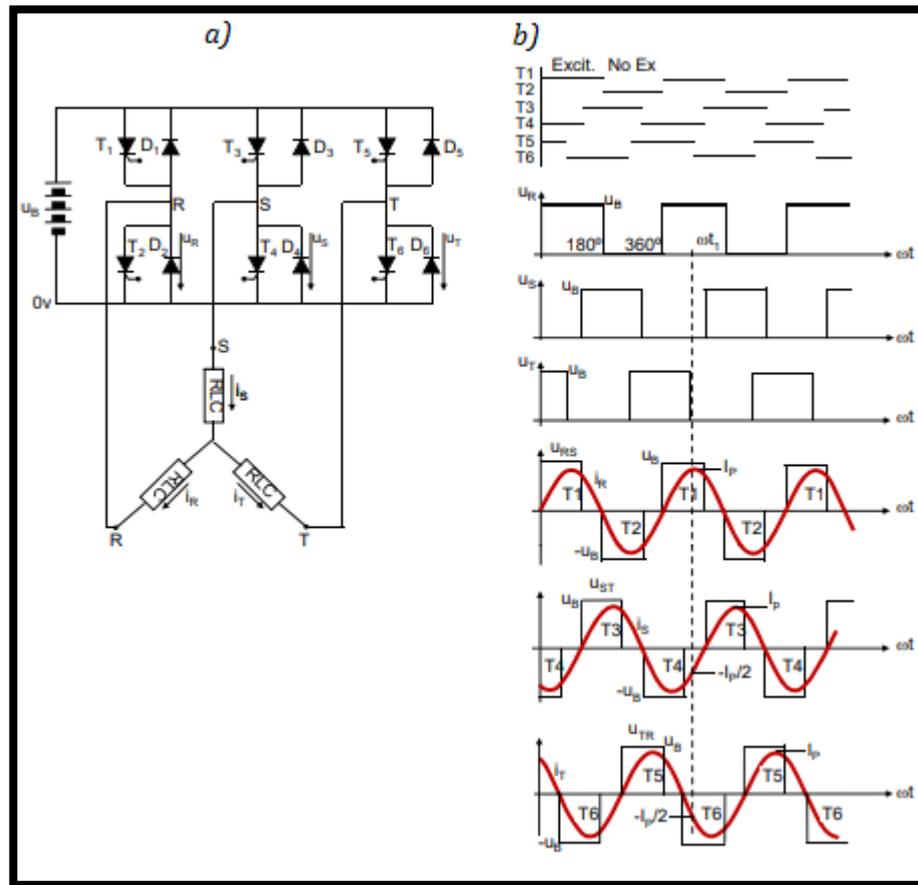


Circuito inversor monofásico con su respectiva grafica de control y salida invertida Fuente: (UCM, 2018)

2.6.2 Inversor trifásico

En un inversor trifásico se controla una fuente DC con el uso de semiconductores en donde se tiene una configuración de estos, de tal manera que se obtenga tres salidas, la configuración existente en estos inversores trifásicos es la unión de tres inversores de medio puente, su activación va a ser desfasada en 120 grados con la finalidad de obtener tres fases independientes (R, S, T). para el control de la fase R se dispone el T1 y el T2, la fase S estará controlada por el T3 y T4 y la fase T estará controlada por el T5 y T6, la secuencia de encendido será T1-T4-T5, T1-T4-T6, T1-T3-T6, T2-T3-T6, T2-T3-T5, T2-T4-T5, como se muestra en el aparatado a) y b) de la figura 2.15 (Reyes Pérez & Moya Velasco, 2018).

Figura 2.15 Inversor trifásico de tres ramas



a) Circuito inversor trifásico, b) Forma de onda de un inversor trifásico. Fuente: (UCM, 2018)

2.7 ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Cuando existen dispositivos de generación no controlados existen momentos en los cuales la carga no consume lo que se genera, o en su defecto, la generación es menor al consumo de la carga. Por esta razón existen dispositivos de almacenamiento que permiten que el excedente generado o también llamado surplus, sea almacenado en otro tipo de energía para ser utilizado en cuanto la generación no sea suficiente, dentro de estos dispositivos se tiene a las baterías.

Las baterías o también llamadas “acumuladores”, tienen la propiedad de transformar y almacenar energía eléctrica en forma de energía química. Son utilizadas como energía de reserva limitada para arranques de motores y alimentación para dispositivos DC es decir de corriente continua. En el mercado existen varios tipos de estos acumuladores que se diferencian principalmente en su material de construcción (López Sánchez, 2019).

2.7.1 Tipos de baterías

Baterías de plomo-ácido. - Estas baterías están conformadas por dos electrodos de plomo, entre sus celdas existe un material electrolito que se encuentra en forma de ácido sulfúrico (H_2SO_4) cuando la batería esta descargada, al tener la reacción química de la cual se desprenden electrones, se tiene en forma de sulfato de plomo ($PbSO_4$), esto cuando la batería se encuentra cargada. Las ventajas correspondientes a este tipo de batería descritas por una fácil fabricación y bajo costo. No obstante, presenta desventajas, al ser fabricadas de plomo son altamente contaminantes, no admiten sobrecargas ni descargas profundas puesto que disminuyen su vida útil; su peso es excesivo y presenta una baja densidad de carga (Ordoñez Placencia & Paidá Tenemaza, 2015).

Baterías de níquel-hierro (Ni-Fe). - Estas baterías disponen de materiales activos que se mantienen internamente en tubos de acero niquelado o bolsas perforadas, su cátodo de óxido Níquel-Hidróxido con un ánodo de hierro, internamente el electrolito de hidróxido de potasio. Estos dispositivos son recargables y presentan como ventajas que su construcción es de bajo costo, fácil fabricación, es no contaminante y tienen una larga vida útil ya que admite las sobrecargas y descargas profundas, su desventaja principal es que tiene una eficiencia de solo el 65% (Carmona Zerecero, Ortega Calzada, & Sanchez Violante, 2012).

Baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd). - Las baterías de níquel-cadmio tienen como electrolito entre sus celdas el hidróxido de potasio con un cátodo de hidróxido de

níquel y un ánodo de cadmio, estas baterías son recargables y son usadas para propósitos domésticos e industriales. En favor al uso de estos materiales, se puede recargar la batería una vez agotada para su reutilización, sin embargo, la densidad de energía es de solo 50Wh/kg esto ocasiona que tenga poca capacidad, su ventaja principal es que soportan un gran rango de temperatura en funcionamiento y admiten sobrecargas (Muños, Correa, & Bedoya, 2016).

Baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH). - Estas baterías de uso común domestico se las puede encontrar en encapsulados de simple transportación, utilizan un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de aleación de hidruro metálico se las puede encontrar con valores de voltaje de 1.2V, disponen de una capacidad de 0.5 a 2.8A. Sus ventajas principales mencionan una extrema durabilidad, admiten sobrecarga y descargas profundas, como principales desventajas presentan alta variabilidad y una densidad de potencia específica baja adicional a esto presenta alta auto descarga (Ordoñez Placencia & Paidá Tenemaza, 2015).

Baterías de iones de Litio (li-ion). - El desarrollo de estas baterías es uno de los más recientes, su ánodo de grafito y su cátodo de óxido de cobalto, trifilina (LiFePO_4) u óxido de manganeso proporcionan altas densidades de capacidad, sin embargo, no admiten descargas profundas ya que sufren mucho cuando suceden, este tipo de baterías por lo general dispone de circuitería de control para evitar el exceso de carga y el exceso de descarga. Estas baterías presentan un ciclo largo de vida útil, adicional a esto, son de libre mantenimiento y poseen una baja auto descarga. Sus limitantes son que requieren un circuito de protección para evitar el desbordamiento térmico en caso de estrés, no es posible realizar carga rápida a temperatura de congelación y requieren normas de transporte cuando se envían grandes cantidades (Carmona Zerecero, Ortega Calzada, & Sanchez Violante, 2012).

CAPITULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

En este capítulo se describe el diseño e implementación de cada una de las etapas que componen al sistema de energización impulsado por bicicletas estáticas para el sistema de iluminación del gimnasio de la UPS, se exponen los criterios utilizados para la selección de cada componente y su interconexión.

3.1 ESQUEMA GENERAL DE LA SOLUCIÓN

La solución desarrollada en este proyecto, para el aprovechamiento de la energía cinemática y posterior uso como alimentación del sistema de iluminación en el gimnasio de la UPS, se describe en el esquema de proceso que se muestra en la figura 3.1. La interacción de cada uno de los subsistemas permite aprovechar el uso de energías renovables presentes en las bicicletas estáticas, por lo cual, es necesario un sistema de extracción de energía cinemática, convertirla en energía eléctrica, la misma que es almacenada para luego ser acondicionada de acuerdo con el requerimiento de la carga.

Figura 3.1 Diagrama general de bloques del sistema implementado

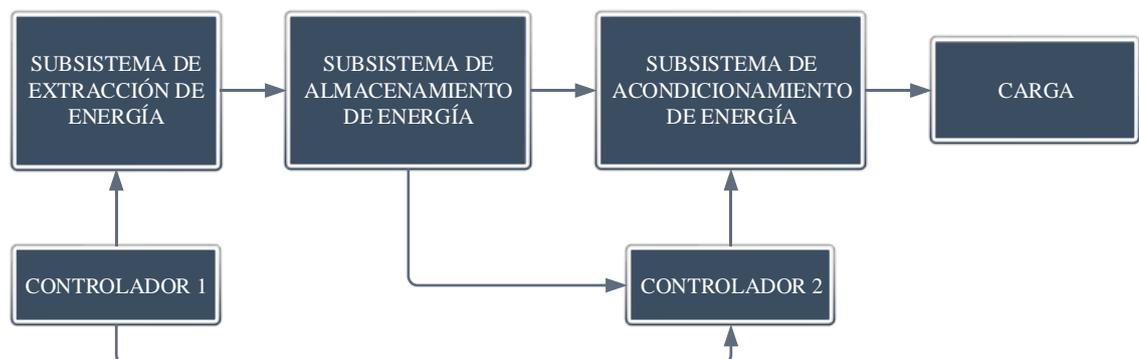


Diagrama de bloques general del sistema utilizado para la alimentación de sistema de iluminación utilizando las bicicletas estáticas. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

- **Subsistema de extracción de energía**

Esta parte del sistema se encarga de la extracción de la energía cinemática presente en las bicicletas estáticas y la transforma en energía eléctrica AC, después la energía eléctrica es rectificadora para obtener energía eléctrica DC.

- **Subsistema de almacenamiento de energía**

Se encarga de almacenar energía DC, y al mismo tiempo permite energizar el sistema de acondicionamiento de energía para la carga.

- **Subsistema de acondicionamiento de energía**

Se encarga de generar una salida de voltaje AC a partir del voltaje DC del subsistema de almacenamiento de energía, y permite cumplir con los requerimientos de amplitud y frecuencia de la carga.

- **Controlador 1**

Este subsistema controla el encendido del generador eléctrico en función del movimiento giratorio que ofrece la bicicleta estática, es decir, cuando la rueda de la bicicleta estática está en movimiento el controlador permite suministrar corriente DC del subsistema de almacenamiento de energía hacia el rotor del generador eléctrico para generar campo magnético y conseguir corriente alterna en su salida. Se opta por la desconexión en estado de no operación del generador porque representa consumo de energía en el subsistema de almacenamiento. También se incluye una interfaz de visualización para el usuario en la que se muestra las revoluciones por minuto (rpm) que entrega la bicicleta en uso y se envía una señal al controlador 2 cuando sucede.

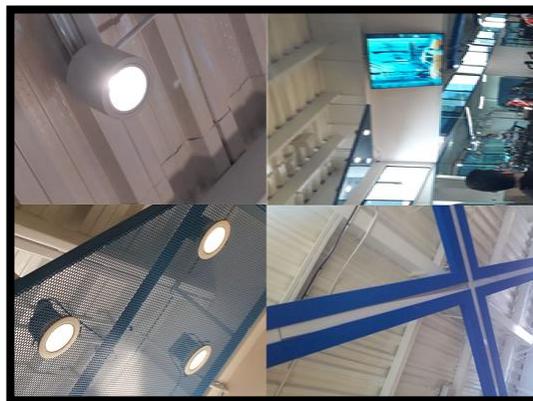
- **Controlador 2**

Este subsistema se encarga de mantener continuamente la alimentación eléctrica del sistema de iluminación del gimnasio en función del nivel de tensión del subsistema de almacenamiento de energía, es decir, el controlador realiza mediciones en tiempo real del nivel de tensión en los acumuladores y permite la desconexión del sistema implementado cuando los acumuladores se encuentre por debajo del nivel óptimo de funcionamiento hasta que la energía sea repuesta por el generador eléctrico dispuesto en las bicicletas estáticas. El almacenamiento de energía por parte del generador eléctrico hacia los acumuladores se consigue por la señal recibida por el controlador 1.

3.2 LEVANTAMIENTO DE CARGA

Para establecer las especificaciones de diseño del sistema es necesario conocer la carga eléctrica total del gimnasio de la UPS, ya que la energía eléctrica que debe suministrar el sistema debe estar acorde con la energía que requiere cada una de las cargas. El gimnasio cuenta con lámparas, equipos electrónicos multimedia y máquinas de ejercitación; estos se energizan desde puntos de corriente para luminarias y tomacorrientes de 110Vac y 220Vac.

Figura 3.2 Vista de luminarias y equipos eléctricos en el gimnasio de la UPS



Se observa un espacio del gimnasio iluminado por lámparas y un aparato electrónico conectado al tomacorriente. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

Para determinar la potencia en los equipos eléctricos y electrónicos disponibles en el gimnasio se recurre a la etiqueta dada por el fabricante en cada componente como se muestra en la figura 3.3, los valores obtenidos se resumen en la tabla 3.1

Figura 3.3 Potencia de luminarias disponibles en el gimnasio



En la parte izquierda se muestra el interior y exterior de la luminaria tira led, en la derecha se muestra el balastro electrónico que limita su intensidad. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

Tabla 3.1 Levantamiento de cargas del gimnasio de la UPS campus sur

DESCRIPCIÓN		Potencia. [W]	Cantidad.	Potencia Total [W]	Tiempo de uso [h]	Demanda promedio [Wh/día]
LUMINARIAS	LED spot negro	10	13	130	11	1430
	LED ojo de buey	15	10	150	11	1650
	Luminaria sobrepuesta	7	9	63	11	693
	Tira led	210	4	840	11	9240
	SUBTOTAL 1			1183		13013

T 220V	Cintas para correr	528	2	1056	3.50	3696
	SUBTOTAL 2			1056		3696
T 110V	Amplificador de sonido	15	1	150	3	450
	Televisor	40	1	40	11	440
	Computadora de escritorio	380	1	380	6	2280
	Expendedor de agua	40	1	40	7	280
	SUBTOTAL 3			610		3450
	TOTAL			2849		20159

Tabla seccionada de acuerdo al tipo de carga, los valores corresponden a la potencia instantánea obtenida. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

La tabla 3.1 permite evidenciar la potencia instantánea requerida por carga y su demanda de uso diario; se observa que el circuito que más consumo eléctrico representa es el circuito de luminarias porque se encuentra en mayor uso durante todo el día.

Considerando que se dispone de recursos limitados para el desarrollo del proyecto, este se limita a energizar los elementos que se muestran en la tabla 3.2, ya que son los de mayor uso en las instalaciones y representan una disminución en el consumo de energía eléctrica desde la red. Los demás elementos de iluminación, así como el circuito de tomas 110Vac y 200Vac se deja para futuras implementaciones en trabajos similares, y este proyecto puede tomarse como referencia para incrementar la capacidad de potencia o utilizar nuevas estrategias de energía renovable. De acuerdo con la tabla 3.2, para el sistema, se requiere una salida de 115Vac con una frecuencia de 60Hz y una potencia mínima de 350W.

Tabla 3.2 Carga para el dimensionamiento de los subsistemas del proyecto técnico

DESCRIPCIÓN		Potencia. [W]	Cantidad.	Potencia Total [W]	Tiempo de uso [h]	Demanda promedio [Wh/día]
LUMINARIAS	LED spot negro	10	13	130	11	1430
	LED ojo de buey	15	10	150	11	1650
	Luminaria sobrepuesta	7	9	63	11	693
	SUBTOTAL 1			343		3773

Potencia instantánea es usada para el dimensionamiento de los demás subsistemas. Elaborado por:
Israel Benavidez & Sergio Quintuña

3.3 DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE ENERGÍA

Considerando que el sistema requiere manejar en su entrada un voltaje DC y entregar en su salida un voltaje AC, se utiliza un inversor, el cual está dimensionado para entregar la potencia requerida por las luminarias, de acuerdo con la ecuación 3.1.

$$S_{INV} \approx P_{REQ} * \frac{1}{f_u} * \frac{1}{f_p} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Donde:

S_{INV} = Potencia del inversor

P_{REQ} = Potencia requerida por el sistema

f_u = Factor de utilización, 0.7 (fabricante)

f_p = Factor de potencia estándar, 0.7

El factor de potencia se utiliza para describir la cantidad de energía que se convierte en trabajo útil, el valor ideal es 1, menor a la unidad significa un mayor consumo de energía para realizar el trabajo. En cargas resistivas como es el caso, el factor de

potencias es ideal, sin embargo, se toma el valor de 0.7 teniendo en cuenta que las luminarias LED tienen balastos para su arranque rápido; la reducción del factor de potencia se debe a los elementos capacitivos e inductivos que se encuentran en los balastos debido que parte de energía queda almacenada en estos componentes. Además, el valor de 0.7 permite sobredimensionar el equipo inversor a fin de evitar el calentamiento del mismo.

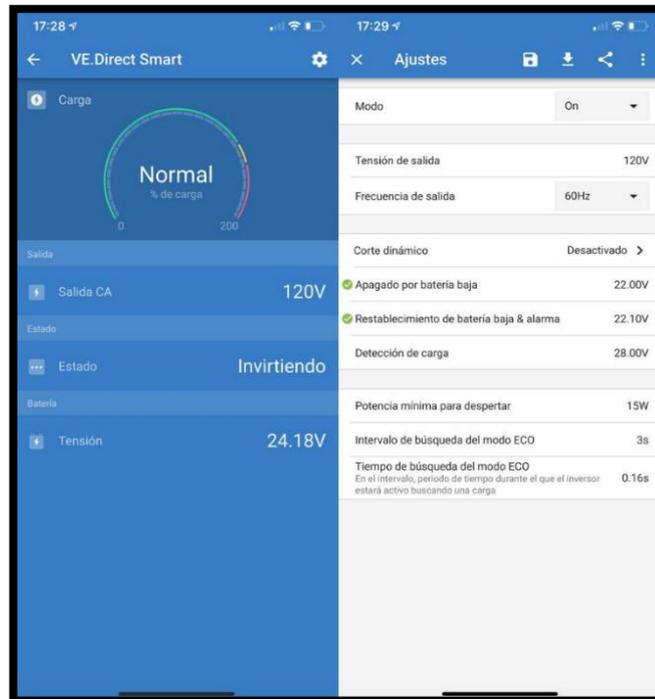
Según la ecuación 3.1 se requiere que S_{INV} sea de 714.28 VA, en el mercado local se pueden encontrar inversores de sistemas aislados estándar de 350VA, 500VA, 800VA y 1200 VA; por lo que se opta utilizar uno de 800VA, ya que satisface el requerimiento y brinda un pequeño sobredimensionamiento de seguridad para evitar que el sistema se sobrecargue. Además, el inversor posee protecciones contra los cortocircuitos y el sobrecalentamiento, con capacidad de funcionamiento prolongado, además, que la desconexión y reinicio por tensión de entrada baja es instantánea.

Se utiliza un INVERSOR PHOENIX 24/800 VE. Direct, este inversor es capaz de manejar 800VA y posee un puerto VE. Direct para conectarse con un ordenador y configurar sus parámetros de salida, también es posible configurarlo vía bluetooth, además, permite establecer una alarma cuando la tensión de alimentación de entrada es baja, esto es útil para desconectar el equipo de la carga que alimenta.

Los inversores que se pueden adquirir en el mercado son de 12Vdc, 24Vdc y 48Vdc de acuerdo con su empleo, para sistemas de energización mediante fuentes renovables se recomienda usar inversores de 24Vdc y 48Vdc; mientras más potencia requiera la carga a alimentar el inversor debe entregar más corriente, en ese caso, usar un inversor de 12Vdc conlleva a un sobrecalentamiento del mismo y del tamaño del conductor en su entrada de alimentación, para evitar este problema se decide por usar en el proyecto técnico el inversor de 24Vdc. Sus características principales se resumen en la tabla 3.3 del anexo 1.

La figura 3.4 muestra la configuración del equipo que se realizó por bluetooth para que en su salida entregue voltaje de 120Vac a 60Hz.

Figura 3.4 Configuración del equipo inversor vía bluetooth



Se observa a la izquierda el estado de funcionamiento del inversor y a la derecha la configuración de sus parámetros. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

3.4 DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Este subsistema está formado por un banco de baterías que alimenta directamente al inversor por lo que requiere tener una salida de 24Vdc, y manejar a su entrada el mismo valor de tensión, así mismo es necesario fijar los tiempos de carga y descarga de manera que se disponga de la energía necesaria para las luminarias durante el tiempo estimado de operación en un día.

El dimensionamiento del banco de baterías se realiza con la ecuación 3.2, donde, de acuerdo con la tabla 3.2, $t_{DESCARGA}$ es de 11 horas y t_{CARGA} se estima a 2.5 horas (este valor corresponde al tiempo que disponen de uso las bicicletas, 15 minutos por cada hora de atención del gimnasio), η es de 0.95 y se obtiene del fabricante del inversor Phoenix, P_{REQ} es de 350W, a fin de mantener el banco acumulador funcionando por más tiempo se añade f_{SD} de 1.5 (valor dado por el diseñador). El resultado de la capacidad requerida es de 195.72Ah.

$$C = P_{REQ} * \left(\frac{(t_{DESCARGA} - t_{CARGA})}{\eta * V_{BAT}} \right) * f_{SD} \quad \text{Ec. (3.2)}$$

Donde,

C = capacidad requerida por el banco acumulador

P_{REQ} = potencia requerida por la carga a alimentar

$t_{DESCARGA}$ = tiempo de descarga

t_{CARGA} = tiempo de carga

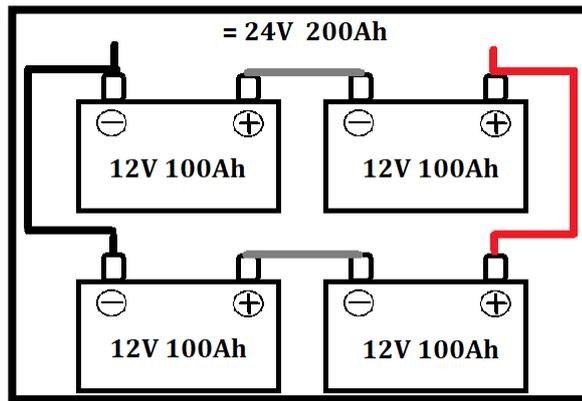
η = eficiencia del equipo inversor

V_{BAT} = voltaje en el banco acumulador

f_{SD} = factor de sobredimensionamiento

El banco de baterías está formado por 4 baterías de 12Vdc y 100Ah, 2 arreglos conectados en serie y estos arreglos conectados en paralelo para obtener el valor de tensión de salida de 24Vdc y 200Ah que equivale a la capacidad requerida por el sistema, como se muestra en la figura 3.5.

Figura 3.5 Conexión serie-paralelo del banco acumulador



Se consigue elevar la capacidad de los acumuladores a 200Ah con un valor de tensión de 24Vdc.

Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

Se utilizan ACUMULADORES ENERGY POWER 12V-100AH, son acumuladores de ciclo profundo que se caracterizan por su gran capacidad de descarga completa, su tasa de auto descarga es del 3% por mes, la pureza del material con que están hechos corresponde al 99.99%, no requiere de mantenimiento y resultan ideales para los sistemas de generación eléctrica con fuentes renovables. Las características técnicas de estos acumuladores se muestran en la tabla 3.4 del anexo 2.

3.5 DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ENERGÍA

Este subsistema consta de tres etapas, que se muestran en la figura 3.6, para obtener energía eléctrica que se recibe desde las bicicletas del gimnasio para posteriormente entregarla al banco acumulador.

Figura 3.6 Diagrama de bloques para la extracción de energía



Etapas que conforman el subsistema de extracción de energía. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

- **Energía mecánica**

Esta etapa se encarga de establecer la potencia generada en las bicicletas estáticas y la velocidad de giro de la rueda, para ser considerada como fuente de energía cinemática.

- **Acople de transferencia mecánica**

Se encarga de transferir la energía cinemática de un sistema a otro.

- **Generador Eléctrico**

Esta etapa se encarga de transformar la energía mecánica disponible en las bicicletas estáticas en energía eléctrica destinada para ser almacenada en los acumuladores.

3.5.1 Establecimiento de energía mecánica disponible en el gimnasio

Para aprovechar la energía cinemática que se produce en el movimiento de la rueda de la bicicleta es necesario conocer la cantidad de energía cinemática que se puede extraer de cada una de las bicicletas y determinar la velocidad angular promedio de la rueda en movimiento. Las bicicletas que dispone el gimnasio se muestra en la figura 3.7.

Figura 3.7 Bicicletas disponibles en el gimnasio de la UPS campus sur



Disposición de 3 bicicletas estáticas. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

En la tabla 3.5 se presenta el registro de usuarios que ingresan al gimnasio con el cuál se determina la potencia que se puede obtener en un tiempo determinado (ver anexo 3). La columna promedio (PROM) refleja la cantidad de usuarios existentes en cada hora que el gimnasio está abierto por cada día de atención, sin embargo, no todos usan las bicicletas estáticas. De estos usuarios se extrae la cantidad de aquellos que si utilizan las bicicletas estáticas y se presenta en la última columna de la tabla pudiendo decirse que cada día se tiene un total de 42 usuarios que dedican energía mecánica.

Tabla 3.3 Cuantificación de usuarios que usan el gimnasio de la UPS campus sur

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLE	JUEVES	VIERNES	PROM	USUARIOS
7:00 a 8:00	3	3	4	4	2	3	3
8:00 a 9:00	8	9	10	8	10	9	4
9:00 a 10:00	12	14	15	13	15	14	5
10:00 a 11:00	11	12	15	13	12	12	5
11:00 a 12:00	13	14	14	13	14	13	5
14:00 a 15:00	11	13	15	9	8	11	5
15:00 a 16:00	9	9	11	11	8	10	5
16:00 a 17:00	12	10	11	10	6	10	5
17:00 a 18:00	7	7	6	4	4	6	2
18:00 a 19:00	5	3	2	3	3	3	3
Total							42

Los datos corresponden al registro tomado desde el 24 de septiembre de 2018 hasta el 22 de febrero de 2019. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

La potencia que los usuarios de las bicicletas pueden generar se determina con las ecuaciones 3.3 y 3.4:

$$T_U = \frac{\bar{W}_{peso}}{2} \cdot r \quad \text{Ec. (3.3)}$$

$$P_U = T \cdot \omega \quad \text{Ec. (3.4)}$$

Donde,

T_U = Torque ejercido por el usuario

\bar{W}_{peso} = Peso promedio de un usuario

r = radio de la rueda de la bicicleta estática

P_U = potencia entregada por el usuario

ω = velocidad angular de 1rpm

El peso de una persona varía en función de su estatura y edad, considerando estos factores se estima que el peso de una persona joven-adulta varía entre 43kg y 58kg, según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016) teniendo como promedio 50kg. De acuerdo con la ecuación 3.3 se obtiene un T_U de 61.25Nm, fijando los valores de \bar{W}_{peso} en 50kg y r de 0.25m, el radio de la rueda se muestra en la figura 3.8. Mediante la ecuación 3.4 se determina P_U que resulta ser de 385W, esta potencia es la entregada por el usuario para hacer girar la rueda de la bicicleta.

Para obtener la velocidad de giro de la rueda se procede a medir las rpm mediante un sensor óptico y la colaboración de usuarios disponibles en el gimnasio, los datos recogidos en una bicicleta estática durante un minuto de prueba se resumen en la tabla 3.6.

Tabla 3.4 Revoluciones (Rev.) entregadas por usuarios de las bicicletas estáticas

Muestras	θ (Rev.)
Usuario 1	203
Usuario 2	315
Usuario 3	241
Usuario 4	223
Usuario 5	230
Usuario 6	287
Usuario 7	262

Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

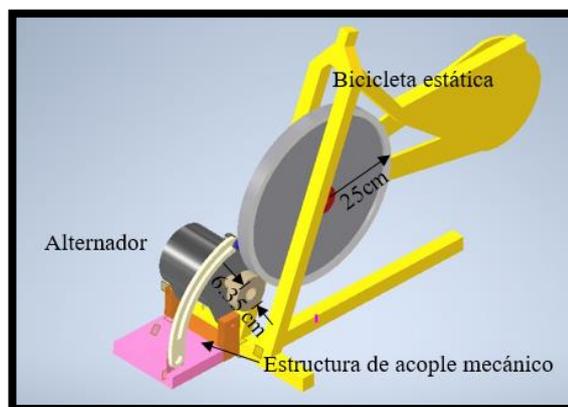
Tomando en cuenta los datos presentados en la tabla 3.6, la velocidad de pedaleo de un usuario oscila entre 203rpm y 315rpm con un promedio aproximado de 252rpm. La potencia generada por el usuario y la cantidad de rpm que entrega en la bicicleta se utiliza posteriormente para el dimensionamiento del acople mecánico y el generador respectivamente.

3.5.2 Diseño del acople de transferencia mecánica

Se requiere un acople mecánico que permita elevar las revoluciones generadas por la bicicleta, de tal forma que, sirva para hacer funcionar un generador. Es necesario que sea compacto, de fácil acoplamiento y desacoplamiento, que no resulte invasivo para la máquina de ejercitación y que sea de fácil mantenimiento.

Para la selección de mejor método de acople mecánico en la bicicleta se realiza un análisis de alternativas desde los puntos de vista técnico y económico (ver anexo 4). Se decide por usar un acoplamiento de transferencia cinética o fricción por rodillo porque se ajusta a los criterios de decisión. La estructura del acople se observa en la figura 3.8 desarrollada en INVENTOR.

Figura 3.8 Diseño de acople mecánico por rodillo de contacto directo o fricción



Las velocidades de la rueda de la bicicleta y el generador están relacionadas a partir de sus diámetros.

Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

La velocidad promedio de la rueda de la bicicleta de 50cm de diámetro es de 252rpm, cuando se trasmite al rodillo de 6.35cm de diámetro que se instala en el eje del rotor del generador la velocidad en su eje es de aproximadamente 1984rpm por la razón

entre sus radios, la expresión matemática que permite calcular esta velocidad de funcionamiento se presenta en la ecuación 3.5:

$$\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2 \quad \text{Ec. (3.5)}$$

Donde,

ω_1 = velocidad angular en la rueda de la bicicleta

r_1 = radio de la rueda de la bicicleta

ω_2 = velocidad angular del rodillo acoplado

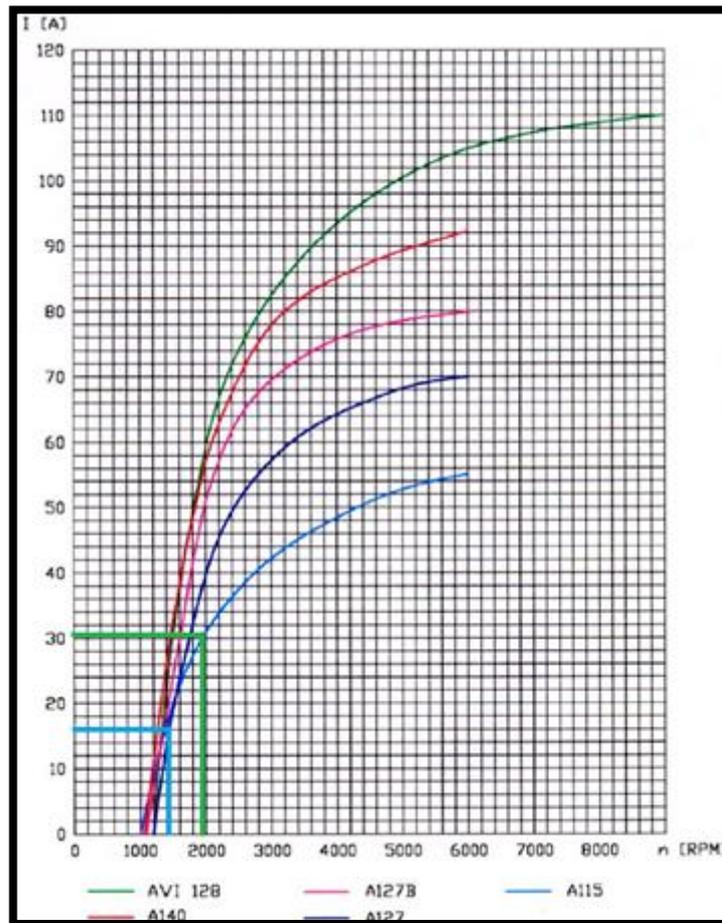
r_2 = radio del rodillo acoplado

Usando la misma ecuación para el peor de los casos, con una velocidad de giro de la rueda de 200rpm, resulta en 1575rpm del rodillo, el rango de revoluciones que entrega cada una de las bicicletas se establece entre 1575rpm a 2500rpm.

3.5.3 Diseño del Inversor

Para la conversión de la energía mecánica a energía eléctrica se utiliza un alternador, que entregue una salida rectificadora a 24Vdc a su salida. Posteriormente la energía se destina al banco acumulador para su almacenamiento. El rango de funcionamiento del alternador se observa en la figura 3.9.

Figura 3.9 Curva típica del alternador estabilizado



Grafica del alternador, entrega corriente en función del número de revoluciones del rotor. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña (MUÑOS SANCHEZ, CORREA LONDOÑO, & BEDOYA MONSALVE, 2016)

Con relación a la gráfica del alternador de la figura 3.9 se requiere determinar la corriente que es capaz de entregar a los acumuladores mediante la ecuación 3.6.

$$i_{sA} = \frac{P_U}{V_{sA}} \quad \text{Ec. (3.6)}$$

Donde,

i_{sA} = Corriente de salida del alternador

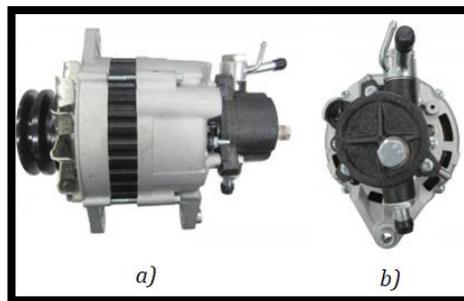
P_U = potencia entregada por el usuario

V_{sA} = Tensión de salida del alternador

Por medio de la ecuación 3.6, Se obtiene una i_{sA} de 16A, siendo P_U el valor de potencia que entrega un usuario de la bicicleta de 385W y V_{sA} de 24Vdc. Esto indica según la figura 3.9 el giro del rotor corresponde aproximadamente 1400rpm. Al comparar con el rpm que ofrece el sistema de acoplamiento mecánico resulta ser más que suficiente para generar corriente de salida para ser almacenada en el banco acumulador.

Se utiliza un alternador KTC 24V-45A por cada bicicleta, debido que permite un rango de operación entre 800rpm y 6000rpm, lo cual, se ajusta al rango de revoluciones que ofrece el acople mecánico. En su interior dispone de un circuito rectificador trifásico de onda completa y un regulador que entrega a su salida tensión de 24Vdc. En la figura 3.10 se muestra el alternador KTC.

Figura 3.10 Alternador KTC 24V-45A utilizado para la generación de energía eléctrica

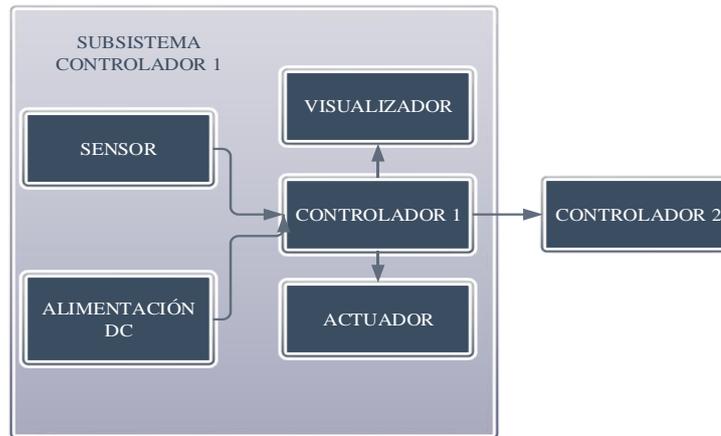


a) Vista lateral del alternador, b) Vista posterior del alternador. Fuente: (Importantes Ltda, 2015)

3.6 DISEÑO DEL CONTROLADOR 1

El subsistema requiere extraer información del movimiento de las bicicletas estáticas e interpretar los resultados de manera digital, para luego, presentar los datos mediante una interfaz amigable con el usuario. También se encarga de la excitación del alternador, por lo que, requiere que su activación se produzca de manera automática. Las funciones que realiza el subsistema se presenta mediante un diagrama de bloques en la figura 3.11.

Figura 3.11 Diagrama de bloques para el controlador 1



Acciones que maneja el controlador 1. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

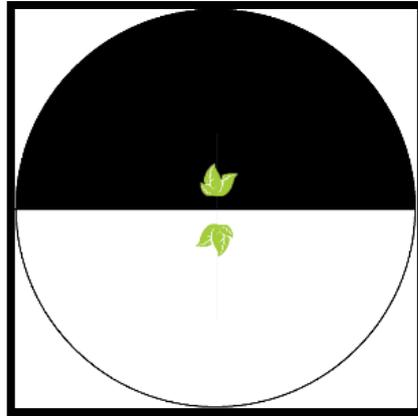
De acuerdo con la figura 3.11 el controlador 1 como subsistema requiere un microcontrolador, un visualizador, un sensor y un actuador. El microcontrolador requiere ser compacto, en dimensionamiento menor a los 50mm, mínimo 10 canales digitales, una velocidad de 16MHz; el visualizador requiere de una pantalla LCD de 16x2 como interfaz de visualización; el sensor requiere recopilar la información del movimiento de la bicicleta y no ser invasivo en el proceso; el actuador requiere de un circuito electrónico que permita la excitación del rotor en el alternador.

Adicionalmente, se requiere de una protección tipo caja para el subsistema controlador 1, que sea resistente, que permita que los dispositivos dentro se mantengan a resguardo de líquidos y posibles golpes.

3.6.1 Lectura del movimiento de las bicicletas estáticas

Para la lectura del movimiento de la rueda de la bicicleta estática se usa un sensor óptico, este ofrece una buena sensibilidad al cambio de reflexión en una superficie, por lo que, se adapta la rueda de la bicicleta a los requerimientos del sensor. Se crea una pegatina bicolor como se muestra en la figura 3.12 que permite asegurar una revolución mientras la rueda de la bicicleta gira a altas velocidades.

Figura 3.12 Pegatina bicolor para la rueda de la bicicleta estática



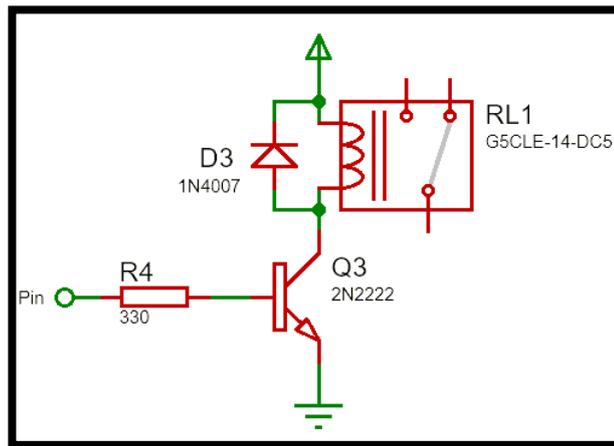
El material de la pegatina se ajusta a la refracción del sensor. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

Cada cambio de estado del sensor es registrado por el microcontrolador, luego los datos son transformados en velocidad y posteriormente publicados en una LCD. De acuerdo a la velocidad medida en la bicicleta estática se realiza las acciones de control.

3.6.2 Bloque Actuador

El banco acumulador provee de corriente de excitación al alternador para que éste funcione como generador de energía eléctrica, pero no es necesario mantener el circuito porque implica consumo eléctrico por parte del generador, por lo que se usa un actuador para su activación y desactivación. El actuador está compuesto por un conmutador tipo relé, el cual permite conmutar grandes tensiones mediante una señal de poca intensidad en su bobina, ideal para un microcontrolador. La ventaja principal del uso del relé es que permite aislar completamente el circuito de potencia del circuito de control. La conexión hacia un microcontrolador se muestra en la figura 3.13.

Figura 3.13 Circuito de activación de un relé controlado por transistor



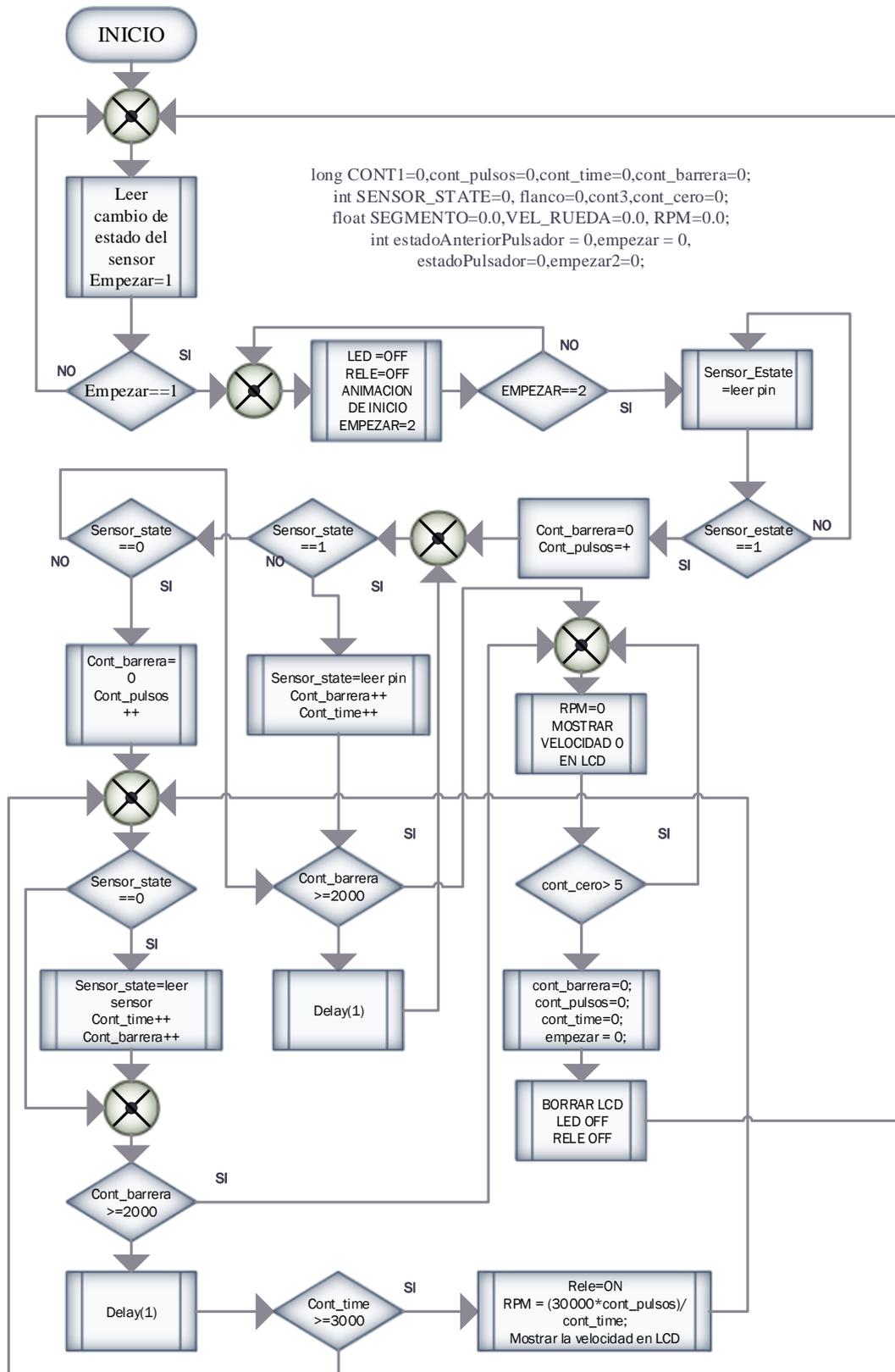
Bobina del relé energizada directamente desde una fuente externa. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

De acuerdo con la figura 3.13 cuando existe un valor alto de 5Vdc por el pin del microcontrolador, el transistor pasa a saturación y la corriente entre el colector y emisor permite que se existe la bobina del relé, haciendo que cambie la posición de contacto. Cuando el valor del pin es 0V el transistor entra en corte lo que impide el flujo de corriente por la bobina y el contacto vuelva a la posición de reposo. Para proteger el microcontrolador se coloca un diodo en antiparalelo a la bobina del relé a fin de evitar la auto inductancia.

3.6.3 Diseño del control

Su función principal de automatizar el almacenamiento de energía en el banco acumulador, controlando la activación y desactivación del excitador del generador, para esto se recepta la señal de un sensor, este sensor envía una señal digital que se procesa en el microcontrolador, para el usuario se requiere una interfaz la misma que permita visualizar el trabajo que realiza cuando se ejercita, adicionalmente enviar la información de cuando el sistema entre en funcionamiento hacia el controlador 2. La figura 3.14 muestra los requerimientos planteados mediante un diagrama de flujo.

Figura 3.14 Diagrama de flujo del controlador 1



Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

De acuerdo con el diagrama de flujo expuesto en la figura 3.14 se denota la lógica de programación utilizada en el controlador 1 de este proyecto que se verifica en el anexo 5, se explica de mejor manera a continuación:

- Se tiene de principio la inicialización de las variables a utilizar a lo largo del programa.
- La primera verificación que corresponde, determina si existe o no actividad de movimiento en la rueda de la bicicleta estática; tomando ese dato con la entrada del sensor. En caso de no mostrar variación se vuelve a verificar, mientras tanto el sistema se encuentra en ahorro de energía, es decir, el LCD apagado, el relé de excitación apagado, solo entra en acción la verificación del sensor.
- Si el sensor determina un cambio de estado cuando hay movimiento en la rueda empieza una rutina de inicio, en donde se muestra una animación en la LCD para ser visualizada por el usuario y se cambia el valor de la variable EMPEZAR con valor igual a 2 después de concluir la animación.
- Valida una vez más el movimiento en la rueda y empieza a contar los cambios de estado del sensor en un tiempo específico, si no hay cambio de estado en un periodo de 2000ms se envía a mostrar la velocidad igual a 0.
- En caso de tener movimiento se cuenta los cambios de estado en un lapso de 3000ms del mismo que se calcula las rpm escalando en función del tiempo, una vez enviado este dato a visualizar en la LCD, se envía la señal al controlador 2, se enciende el relé de excitación y se mantiene encendido el led de la LCD, se reinician las variables y se vuelve a realizar esta función mientras exista cambios en la entrada del sensor.
- En el caso de que no exista movimiento se tiene un lapso de tiempo de alrededor de 10 segundos en donde se verifica la falta de actividad, en caso de sobrepasar este tiempo se borra la pantalla en la LCD con una animación, se apaga el led de la LCD, el relé de excitación y se retorna al modo de ahorro de energía para validar nuevamente la actividad en el sensor. Se resetean todas las variables del controlador 1.

3.6.4 Dimensionamiento del controlador 1

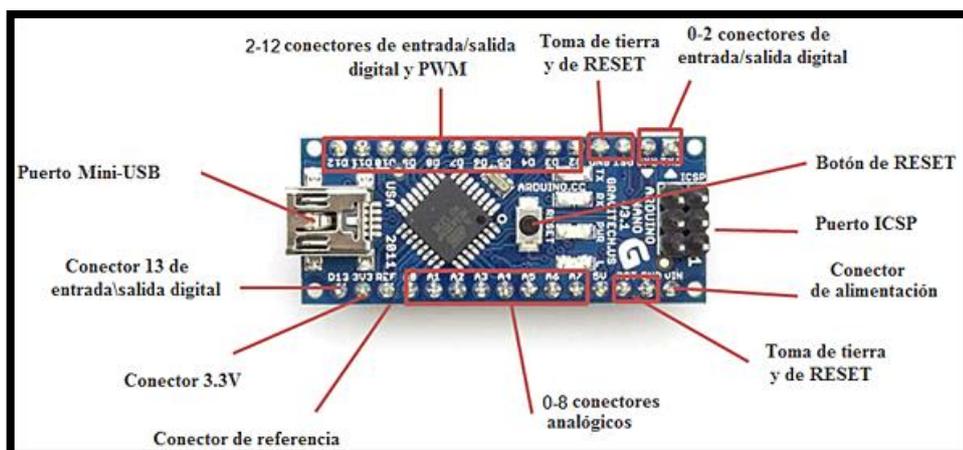
- **Fuente de alimentación para los controladores**

El convertidor de voltaje DC-DC Step-Down 3A LM2596 tiene como función entregar un voltaje de salida constante, en este caso 5Vdc, proveniente del subsistema de almacenamiento de energía 24Vdc y 200Ah. Permite un rango de entrada de 4.5Vdc a 40Vdc y una salida de entre 1.23Vdc a 37Vdc, el cual se ajusta para alimentar el circuito electrónico del control 1 y 2. El voltaje de salida se selecciona mediante un potenciómetro de precisión. Las características del convertidor se pueden observar en la tabla del anexo 6.

- **Microcontrolador**

Se usa la tarjeta arduino nano porque facilita el uso de la electrónica en el proyecto, es de software libre y código abierto. Tanto los pines de conexión de la tarjeta como sus características se ajustan al requerimiento del subsistema controlador 1. En la figura 3.15 se observa la distribución de sus pines y en la tabla del anexo 7 sus características principales.

Figura 3.15 Distribución de los pines en un módulo arduino nano



El módulo de arduino nano es un controlador listo para su programación y conexión. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

- **Sensor óptico**

El sensor que se utiliza en este proyecto, es un módulo TCRT5000 que es un módulo que entrega una señal digital y analógica dependiendo el requerimiento del sistema, en este caso se utiliza la señal digital, la sensibilidad se ajusta de acuerdo al regulador instalado en el módulo. Las características del módulo sensor se presentan en el anexo 8.

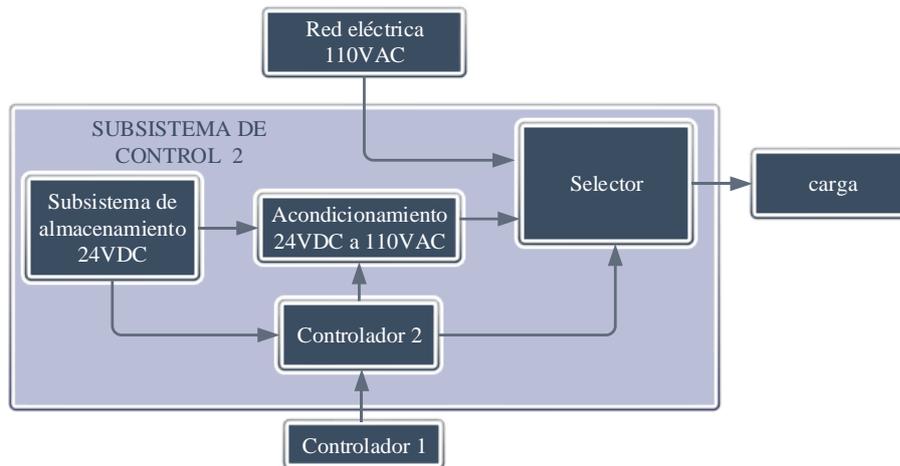
- **LCD (Liquid Crystal Display)**

En cuanto a la visualización del usuario, se utiliza una pantalla LCD 16X2 como se muestra en la tabla del anexo 9; esta pantalla se encarga de mostrar el estado en el que se encuentra el subsistema controlador 1 y la velocidad en que gira la rueda de la bicicleta estática, para ahorro de energía se optó por apagar la pantalla mientras no se encuentra en uso. Para el control de esta LCD se utiliza de 7 pines digitales del microcontrolador (D4, D5, D6, D7, RS, E, RW) para ponerla en funcionamiento.

3.7 DISEÑO DEL CONTROLADOR 2

Este subsistema requiere establecer dos ciclos de trabajo para el correcto funcionamiento del proyecto técnico, por un lado, permitir el almacenamiento de energía en los acumuladores de 24Vdc por parte de las bicicletas estáticas en movimiento (señal recibida por el controlador 1). Por otro lado, permitir la energización del sistema de iluminación mediante la energía almacenada en el banco acumulador. En la figura 3.16 se observa las conexiones del controlador 2 en un diagrama de bloques.

Figura 3.16 Diagrama de bloques para la conexión del controlador 2



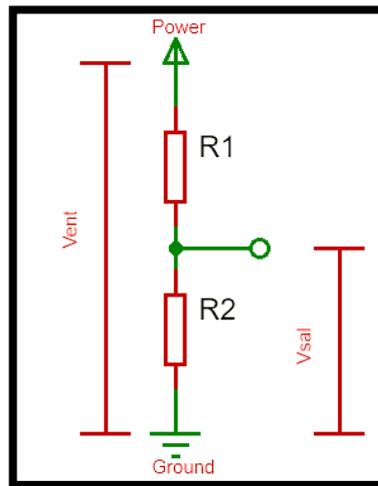
Sistema eléctrico y electrónico en el que interviene el controlador 2. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

De acuerdo a la figura 3.16, el controlador 2 como subsistema requiere de un microcontrolador y un selector. El microcontrolador requiere tener; mínimo 10 canales digitales y 4 analógicos, resolución de 10bits en el convertidor análogo-digital (ADC), bajo costo, bajo consumo de energía cuando no está en funcionamiento. El canal analógico está destinado para la lectura del nivel de tensión del subsistema de almacenamiento de energía, mientras que, los canales digitales se destinan para el control del selector y para indicadores. En cuanto al selector se requiere rapidez de conmutación de un estado a otro.

3.7.1 Lectura del nivel de tensión por el microcontrolador

Para adaptar el nivel de carga del banco acumulador que sea reconocible para un microcontrolador, se realiza un divisor de tensión con dos resistencias como se muestra en la figura 3.17, con ello se consigue disminuir la carga del banco en un rango de 2Vdc a 5Vdc, posteriormente esta tensión es leída por el canal analógico del microcontrolador que mediante un ADC permite medir el nivel de carga en los acumuladores. El valor medido será más cercano al valor real dependiendo de la resolución del convertidor ADC del microcontrolador y el valor de las resistencias.

Figura 3.17 Divisor de voltaje



Divisor de voltaje, se utiliza para obtener diferentes niveles de voltajes en función de la carga resistiva que se coloque. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

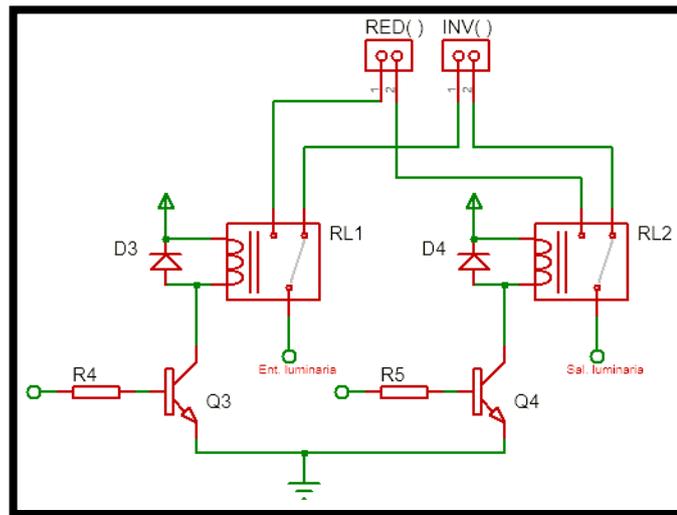
El cálculo del valor de las resistencias se realiza mediante la ecuación del divisor de voltaje:

$$V_{sal} = V_{ent} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad \text{Ec. (3.7)}$$

3.7.2 Bloque de selector electrónico

El bloque selector está compuesto por conmutadores tipo relé, por las características de conexión expuestas en la figura 3.13, la conexión del selector electrónico se presenta en la figura 3.18.

Figura 3.18 Selector electrónico a base de conmutadores

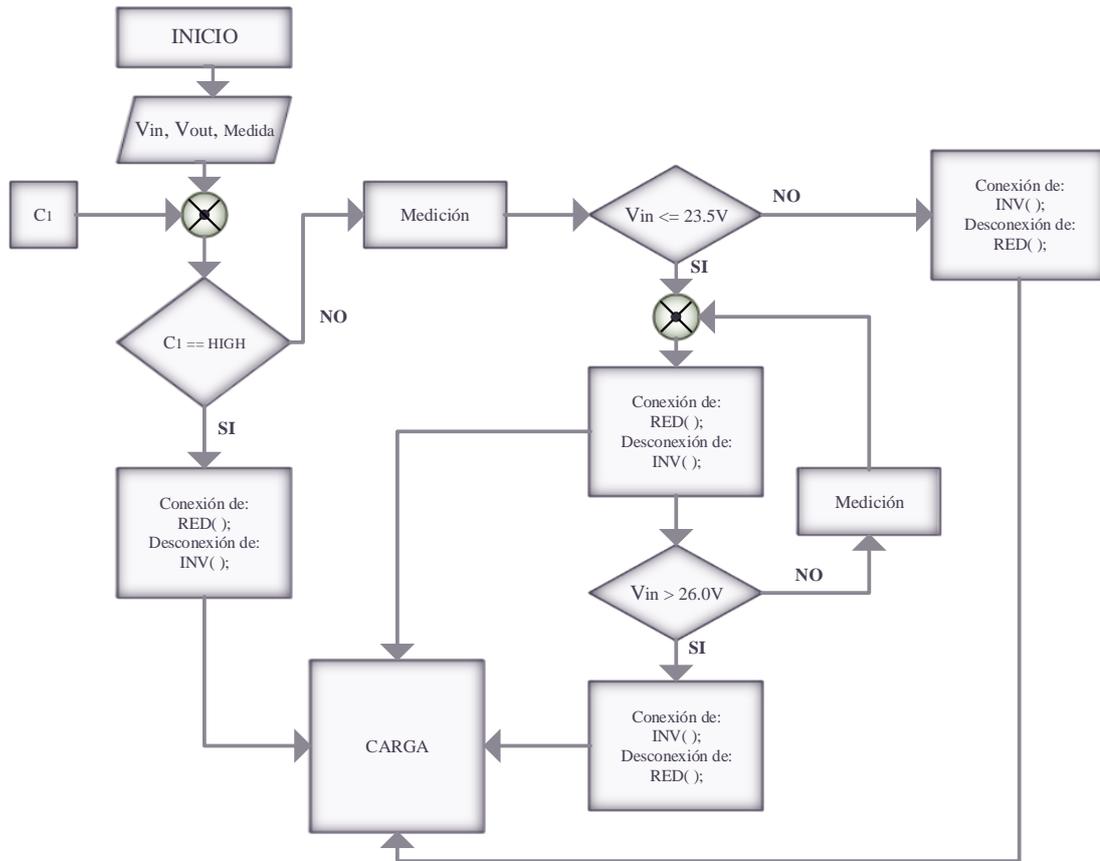


Dependiendo del requerimiento el microcontrolador activa la alimentación a la carga. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

3.7.3 Diseño del control

La principal función del controlador es mantener la carga lumínica continuamente en el gimnasio de la UPS, para ello, primero se define que pines del microcontrolador son asignados como entradas y salidas para los sensores y actuadores respectivamente. Luego se crea el diagrama de flujo que resume la lógica de programación, se ejecuta y se implementa un PCB (Printed Circuit Board) en conjunto con los demás dispositivos electrónicos que controla. A continuación, se detalla la rutina del diagrama de flujo del controlador mediante la figura 3.19 y cuyo código de programación se describe en el anexo 10.

Figura 3.19 Diagrama de flujo del controlador 2



Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

De acuerdo a la figura 3.19 las variables principales utilizadas son:

- $Medida \rightarrow$ es el valor medido por el canal analógico del microcontrolador
- $V_{out} \rightarrow$ es el resultado de la conversión ADC de la variable $medida$
- $V_{in} \rightarrow$ es el resultado de aplicar un divisor de tensión a la variable V_{out} , esta variable presenta el valor medido en del acumulador
- $C_1 \rightarrow$ es la señal que proviene del controlador 1
- $RED(); \rightarrow$ es una función creada para la primera posición del selector.
- $INV(); \rightarrow$ es la función de la segunda posición del selector.

Las funciones que realiza el controlador 2 se detallan a continuación:

- Inicia el registro de las variables *Medida*, V_{out} , V_{in} con valores iniciales 0, para que el programa pueda asignar valores medidos al ejecutarse cada vez. La variable que se lleva registrando constantemente es V_{in} , porque permite realizar acciones de acuerdo a su valor actual.
- El bloque medición del diagrama de flujo entrega el valor V_{in} que se utiliza para establecer un rango de trabajo entre 23Vdc a 26Vdc, para evitar la descarga profunda y las sobrecargas.
- Las funciones RED() e INV() permiten la alimentación de la carga lumínica por medio del uso de la red eléctrica comercial y el uso de la energía almacenada en los acumuladores respectivamente. Cuando una función esta activada la otra permanecerá desactivada. Por defecto, el sistema conectado en todo momento es INV(), debido a que es un sistema que se sustenta del movimiento de las bicicletas estáticas y generar energía limpia. La función RED() se activa para dos casos en especial; el primer caso es cuando el nivel de tensión en los acumuladores esta debajo del nivel establecido y el segundo caso, ocurre cuando las bicicletas destinan energía para su almacenamiento. En adición, las funciones cuentan con indicadores para visualizar el estado de funcionamiento del sistema.

3.7.4 Dimensionamiento del controlador 2

- **Resistencias**

Mediante la ecuación 3.7 se obtiene un valor de voltaje de 2.18Vdc a partir de valores de resistencias de 100k Ω y 10k Ω teniendo en la entrada 24Vdc, el valor obtenido se encuentra dentro del rango de lectura del canal analógico del microcontrolador de arduino. Las características de las resistencias que se utiliza se presenta en la tabla del anexo 11.

- **Circuito relé, diodo, transistor**

Dos relés son usados como selector del sistema eléctrico, destinado a alimentar la carga. Y se añade uno más para el control remoto del subsistema de acondicionamiento de energía (inversor). Todos los relés son activados por el microcontrolador de arduino mediante la conexión que se presenta en la figura 3.13. Las características del relé se describen en la tabla del anexo 12.

El diodo conectado en antiparalelo a la bobina del relé sirve de protección, con el fin de mantener la corriente en la bobina circulando en un solo sentido, se elige al diodo 1N4007 que se muestra en la figura 3.20, por presentar características como; soportar corrientes de 1A de forma continua y voltajes inversos de 700V con picos de 1000V.

Figura 3.20 Diodo utilizado en la protección del circuito electrónico



Diodo que se conecta en paralelo a la bobina del relé. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

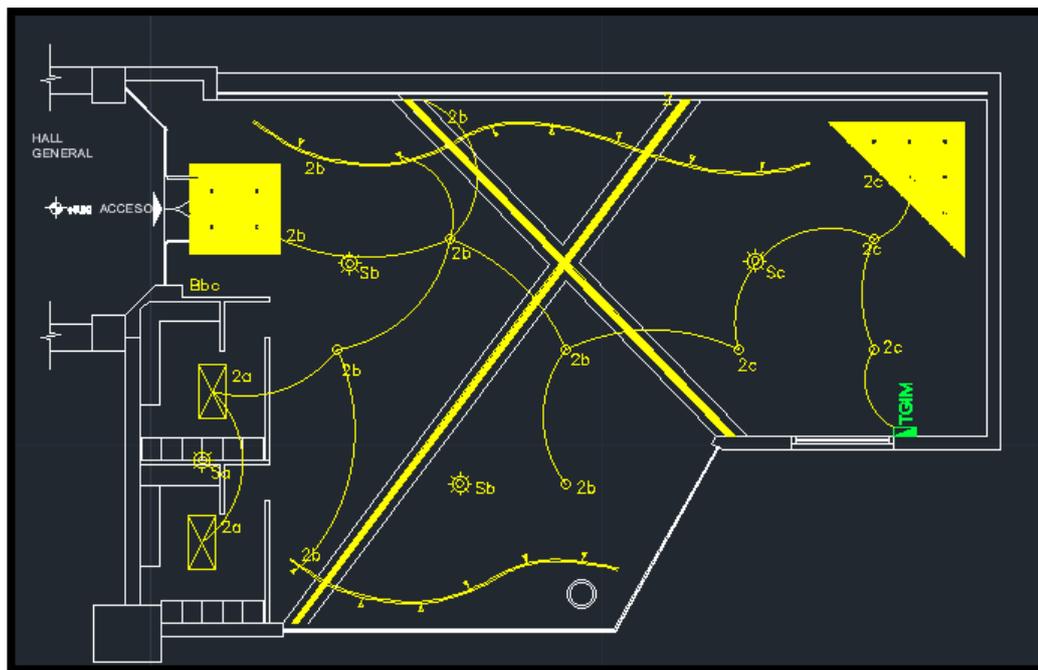
En cuanto al interruptor electrónico se decide por usar un transistor bipolar NPN de 3 terminales, modelo 2n2222a. Este transistor es de baja potencia, capaz de disipar 625mW, controlar dispositivos que requieran 40Vdc, siempre y cuando no se sobrepase su potencia de disipación máxima. Los datos técnicos se resumen en la tabla del anexo 13.

3.8 IMPLEMENTACIÓN

3.8.1 Circuito eléctrico

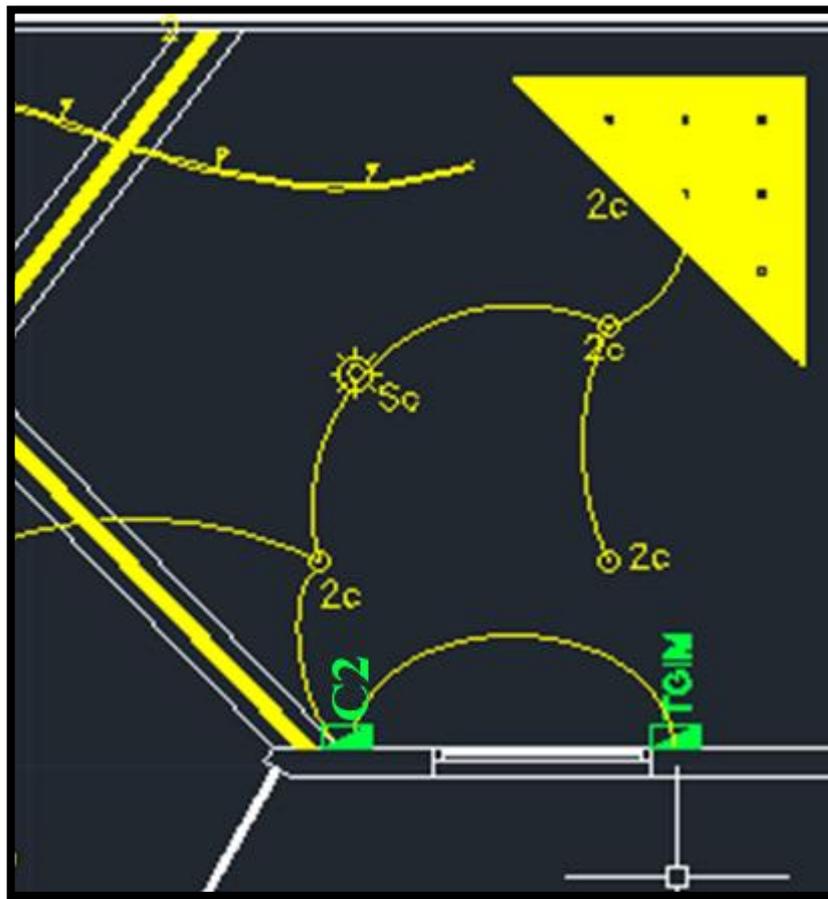
Se realiza la desconexión del sistema de iluminación de la red eléctrica comercial y se conducen los terminales hacia el tablero donde se ubica el subsistema controlador 2. Los terminales de la red eléctrica se conectan en una de las entradas del selector, mientras que, los terminales de la iluminación hacia la salida del selector. La figura 3.21 muestra el plano eléctrico original del gimnasio y la figura 3.22 muestra las respectivas modificaciones.

Figura 3.21 Plano eléctrico original del sistema de iluminación para el gimnasio de la UPS



Todo el circuito de iluminación procede de la caja termina TGM. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

Figura 3.22 Plano eléctrico modificado del sistema de iluminación del gimnasio de la UPS

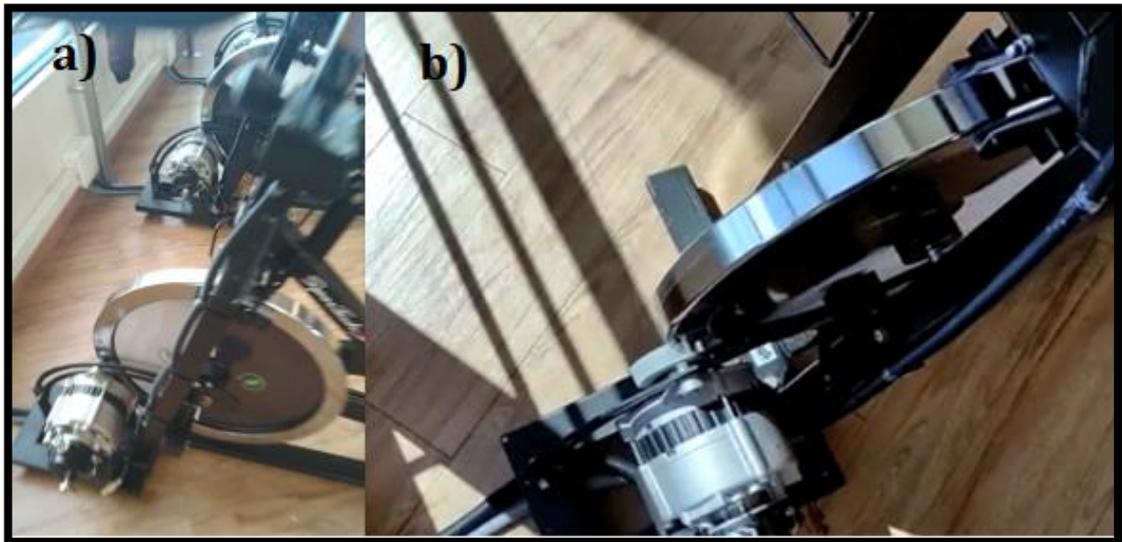


Tanto la red eléctrica como el circuito de iluminación convergen en un solo punto, C2, aquí es donde se toman acciones que permiten iluminar el gimnasio. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

3.8.2 Circuito mecánico

En cuanto a extracción de energía el circuito mecánico consta de la bicicleta estática con el acoplamiento mecánico diseñado y el alternador conectados entre sí. La figura 3.23 la conexión mecánica por bicicleta.

Figura 3.23 Sistema de extracción de energía en una bicicleta estática



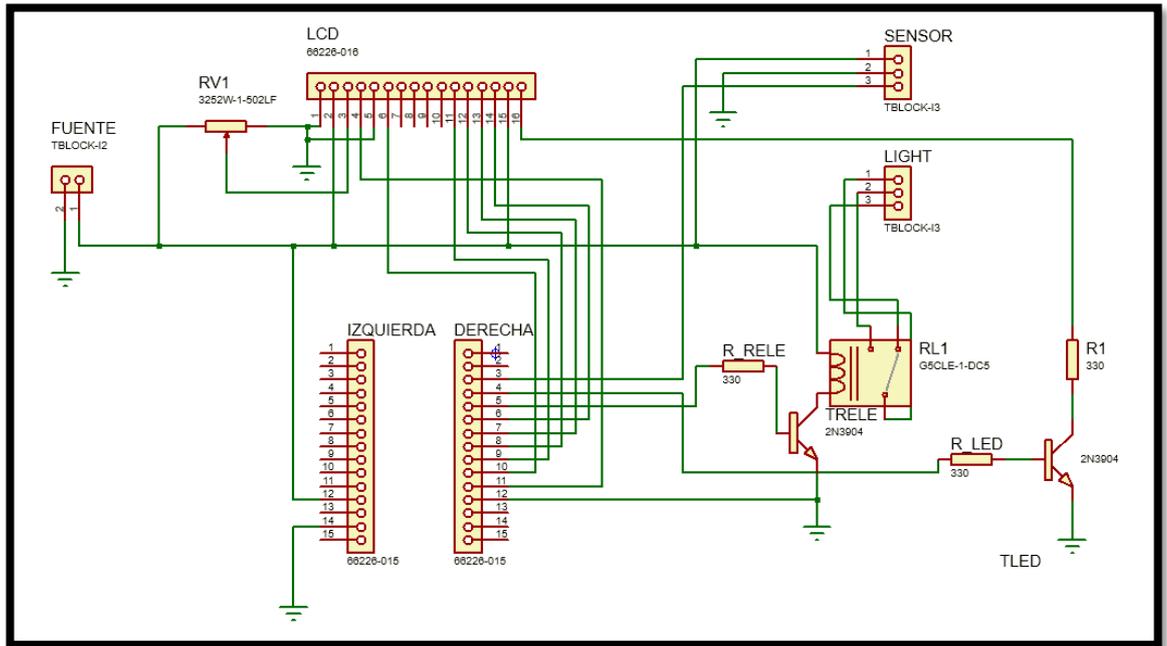
a) Vista lateral de la conexión del acople mecánico en las bicicletas estáticas, b) Vista superior de la misma conexión. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

3.8.3 Circuito electrónico

3.8.3.1 Control 1

Para el montaje se desarrolla un circuito impreso que concentre los dispositivos seleccionados de manera compacta y eficiente, de tal manera que se realiza utilizando el software Proteus como se muestra en la figura 3.24, en donde se observa el circuito eléctrico en ISIS, se puede observar los diferentes dispositivos interconectados como son Arduino Nano, modulo Relé con activación transistorizada con su salida independiente, entrada de fuente de energía, entrada del sensor módulo TCRT5000, LCD 16X2.

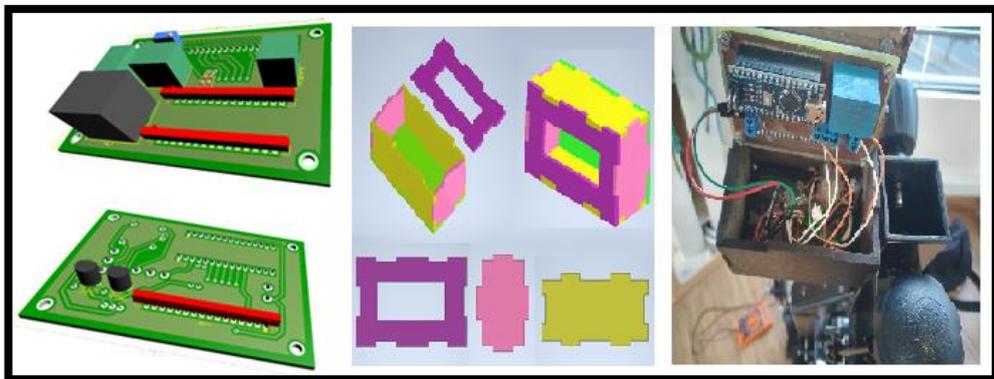
Figura 3.24 Esquema de conexión del controlador 1



Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

En cuanto al circuito impreso se realiza un armado multicapa que permite disminuir el espacio de conexión entre componentes, después es colocada en la caja de protección que muestra la figura 3.25 creada en AutoCAD.

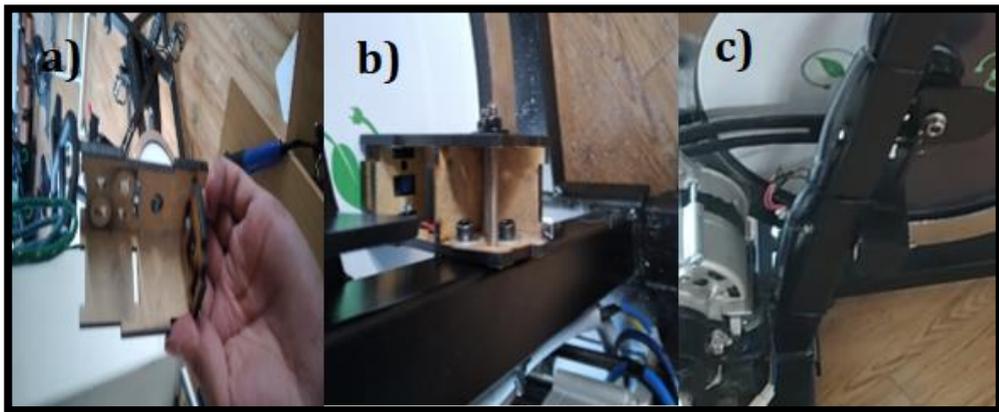
Figura 3.25 Diseño, presentación e implementación del controlador 1



Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

Para la ubicación del sensor en la rueda delantera de la bicicleta estática se utiliza un diseño a la medida realizado en AutoCAD para la sujeción y fijación, el diseño tiene la finalidad de proteger el sensor de golpes, de líquidos y aislar la luz ambiente, esta caja es cortada en MDF para su ensamblaje, posteriormente se utiliza un armado de múltiples piezas como se muestra en la figura 3.26.

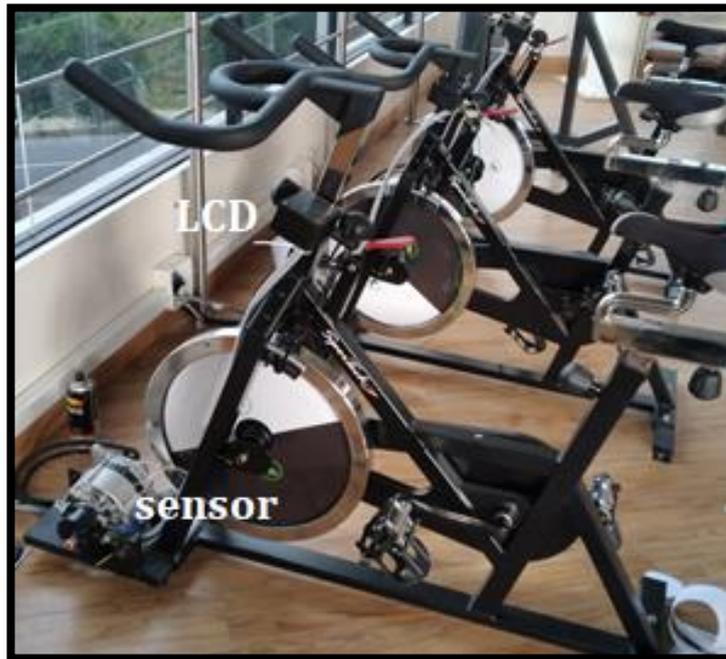
Figura 3.26 Caja protectora del sensor TCRT5000



a) Piezas de la caja protectora, b) Instalación en la rueda delantera de la bicicleta estática, c) Resultado de instalación. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

La disposición tanto de la caja de visualización como el sensor no deben ser invasivas, tampoco obstaculizar el movimiento de las bicicletas estáticas, por ello, se decide colocarlas en las posiciones donde indica la figura 3.27.

Figura 3.27 Disposición del control 1 en la bicicleta estática

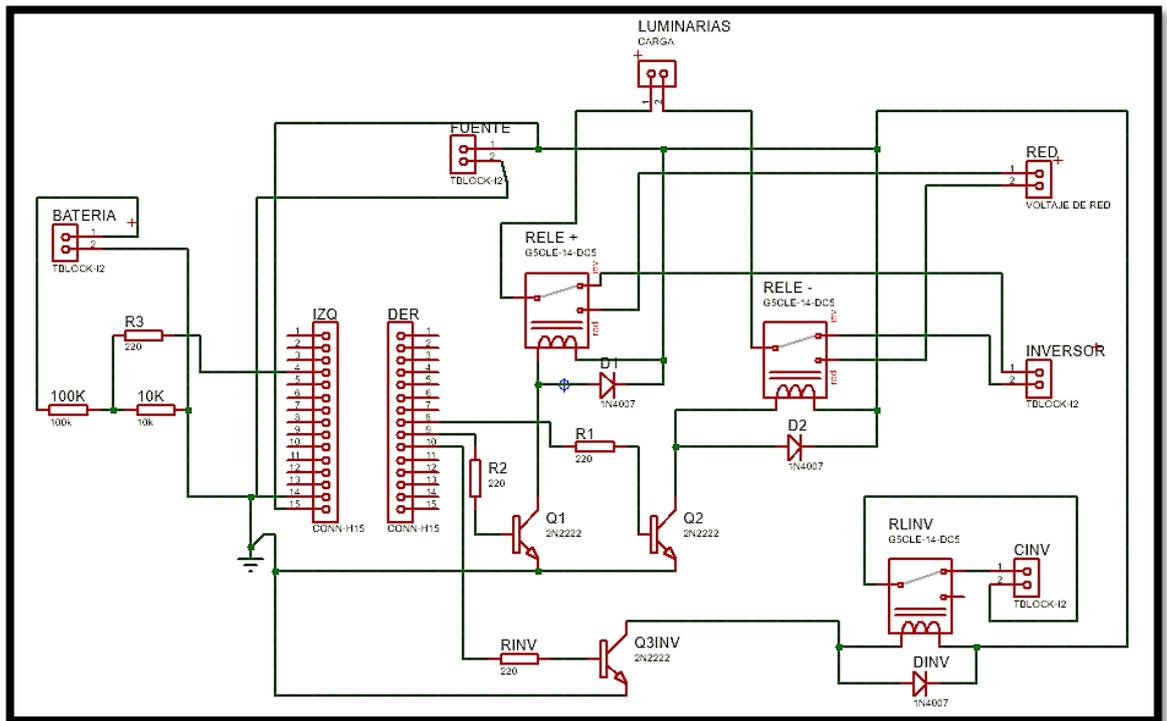


Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

3.8.3.2 Control 2

Los componentes eléctricos y electrónicos que intervienen en el controlador 2 se integran en una placa de circuito impreso. El diseño en ISIS se muestra en la figura 3.28.

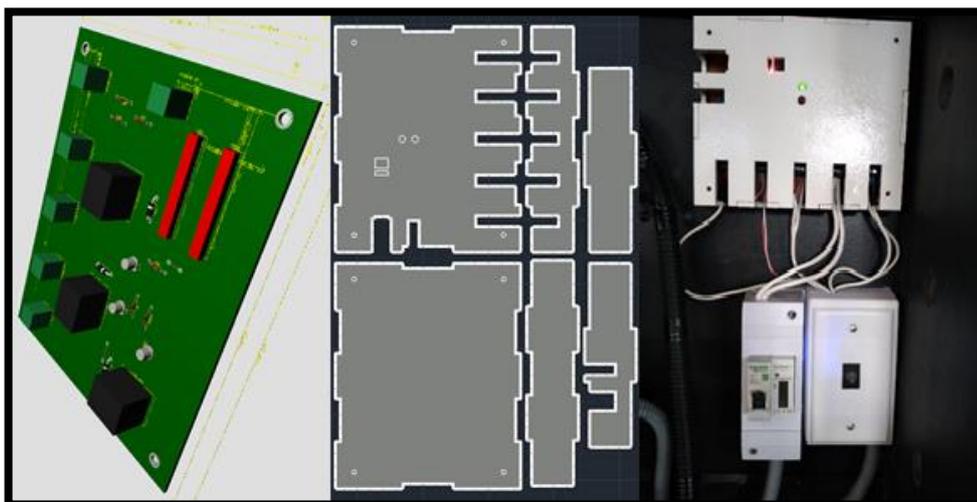
Figura 3.28 Esquema de conexión del controlador 2



Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

En cuanto a la presentación para circuito del controlador 2, se dispone de una caja protectora que cuenta con orificios para converger todo el cableado del sistema en él, cuenta con indicadores led para la visualización de estado de funcionamiento del controlador. La figura 3.29 resume lo descrito.

Figura 3.29 Diseño, presentación e implementación del controlador 2



Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

Para proteger los subsistemas de factores como el polvo, humedad, y cualquier manipulación no autorizada, se decide por aislar el sistema de control dentro de una caja con llave, la ubicación de instalación en el gimnasio se observa en la figura 3.22, mientras que la caja protectora en la figura 3.30.

Figura 3.30 Disposición del controlador 2 en el gimnasio



Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

Además de los equipos descritos en el diseño se integra un medidor de potencia en W, el cual permite medir el consumo del sistema de iluminación cuando este funcionamiento el sistema de generación eléctrica a base de las bicicletas estáticas. además de un cargador de baterías 24Vdc, el cual permite la carga del mismo en periodos de baja afluencia.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

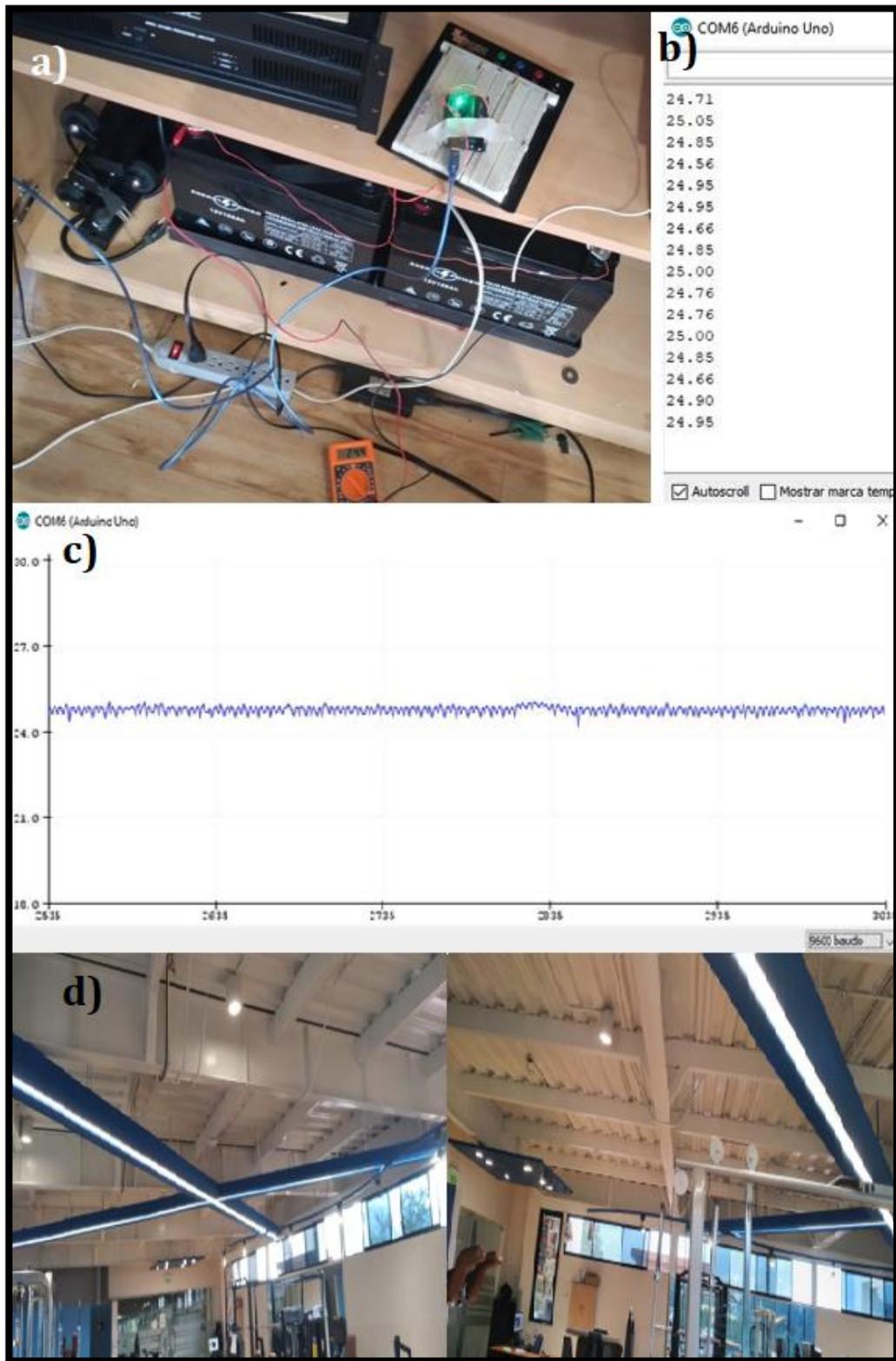
En el siguiente apartado se presentan las pruebas realizadas para validar el funcionamiento del sistema, exponiendo las conexiones, mediciones, análisis de gráficas y resultados que se obtuvieron.

4.1 PRUEBA DE DESCARGA EN EL SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Esta prueba tiene por objetivo determinar la tasa de descarga del banco de acumuladores de 24Vdc y 200Ah, para determinar el tiempo que puede mantener energizado el sistema de iluminación del gimnasio de la UPS sin recibir carga por parte de las bicicletas estáticas.

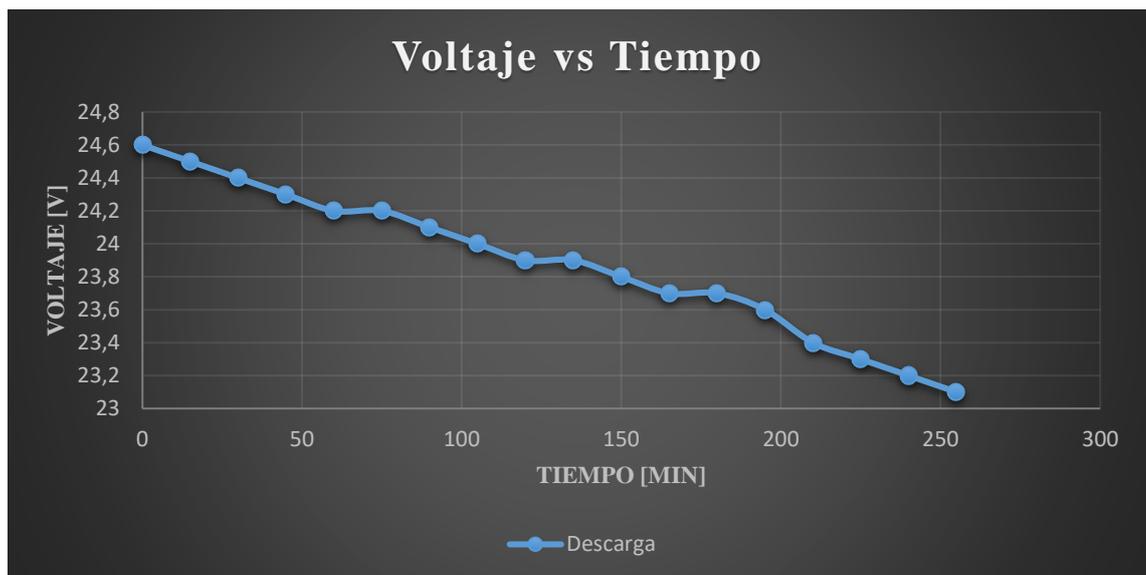
Para esto se realiza la conexión de los subsistemas de almacenamiento de energía DC, acondicionamiento de energía AC y el controlador 2, y se energiza el sistema de iluminación del gimnasio como se muestra en la figura 4.1. Con las conexiones realizadas se mide el voltaje directamente en el banco acumulador, con un multímetro, para establecer el rango de descarga de la prueba; en el controlador 2 también se realiza la medición para evaluar la operación de los sensores y la adquisición de datos, mediante la herramienta monitor serie y serial plotter de arduino. De acuerdo con la operación del sistema, cuando el valor del voltaje es mayor a 23Vdc se da paso a la energización del sistema de iluminación desde el inversor.

Figura 4.1 Prueba de descarga del banco acumulador conectado al sistema de iluminación



Los resultados obtenidos desde un nivel de voltaje de 24.6Vdc hasta 23Vdc se muestran en figura 4.2, en los que se puede observar la tasa de descarga del banco acumulador. Para esta prueba se trató casi en su totalidad de mantener todas las luminarias del gimnasio encendidas, a fin de obtener el menor tiempo de descarga que el banco abastece con energía cuando exista alta concurrencia en el gimnasio.

Figura 4.2 Gráfica de descarga del banco acumulador



De acuerdo a la cantidad de luminarias encendidas ocurre la descarga en el banco acumulador.

Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

De acuerdo a la gráfica 4.2 se observa que la descarga del banco acumulador resulta de un consumo aproximado de 0.1Vdc por cada 15 minutos de iluminación, con el resultado obtenido, desde el nivel de voltaje con el que empezó la prueba se tiene 4.25 horas de abastecimiento de energía por parte del banco.

4.2 PRUEBA DE CARGA EN EL SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO EN VACÍO

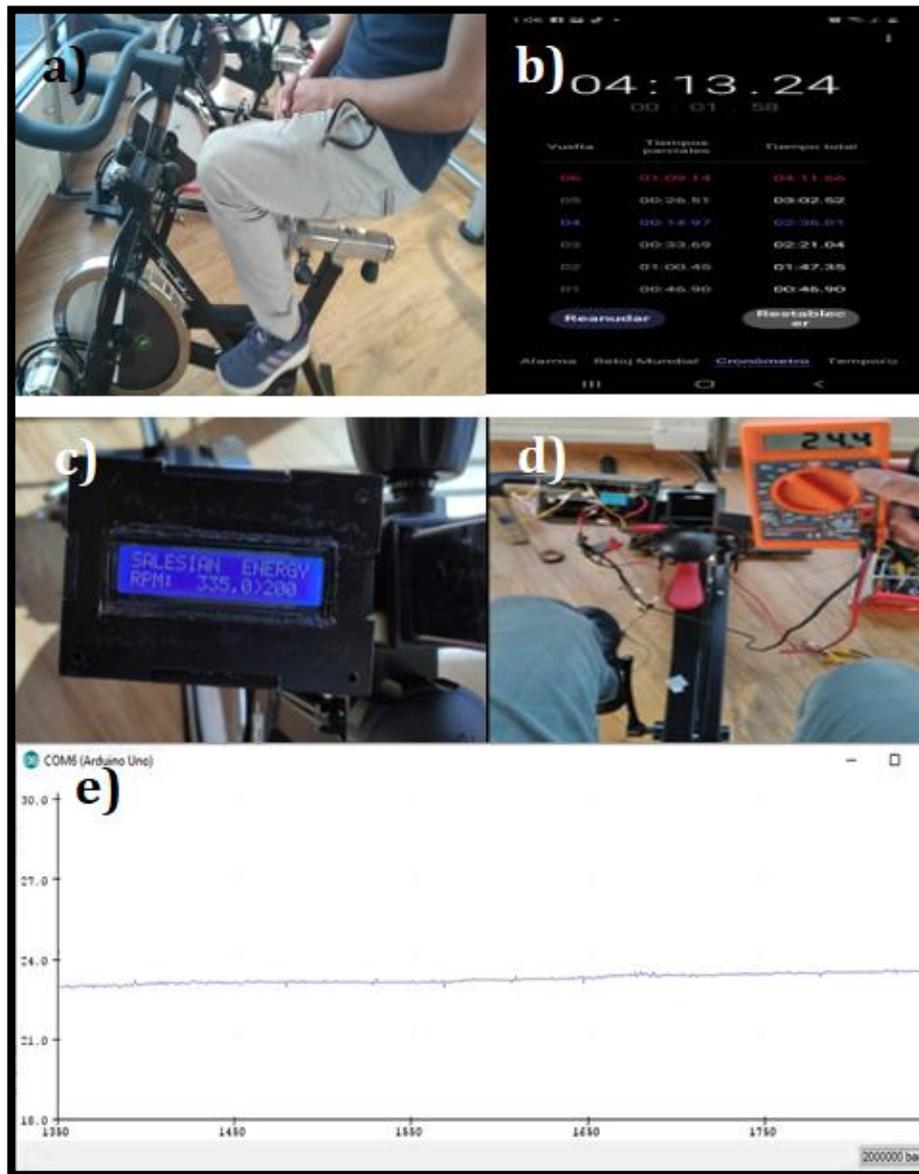
Esta prueba tiene por objetivo determinar la tasa de carga del banco acumulador utilizando las bicicletas estáticas para la generación de energía eléctrica y así

cuantificar el tiempo total que requiere el banco para llegar a la carga máxima de 26Vdc.

La prueba se realiza con las conexiones de los subsistemas de extracción de energía y controlador 1 hacia el banco acumulador, a fin de establecer cuanta energía se almacena por la generación eléctrica producida por bicicletas estáticas y el tiempo necesario para la carga completa. La prueba inicia con el banco acumulador en 23Vdc, se procede a cargarlo utilizando 1 bicicleta, manteniendo una velocidad promedio de 320rpm (ver anexo 14) hasta alcanzar el nivel máximo de carga del banco, 26Vdc, la misma prueba se repite con 2 bicicletas manteniendo la velocidad promedio de 336rpm (ver anexo 15). Se observa diferentes velocidades promedio entre pruebas debido al propio estado físico de los usuarios siendo uno más atlético que otro.

Para obtener los datos de la prueba se utiliza la herramienta serial plotter de arduino para registrar el cambio de voltaje en el acumulador cuando está en uso la/s bicicleta/s, las LCD para registrar la velocidad en rpm y de un cronometro para determinar el tiempo de uso continuo. Se aclara que el tiempo medido en la prueba no integra periodos de descanso de parte del usuario, resultando una gráfica en función del tiempo de uso continuo de las bicicletas estáticas. La figura 4.3 muestra las conexiones utilizadas para la prueba.

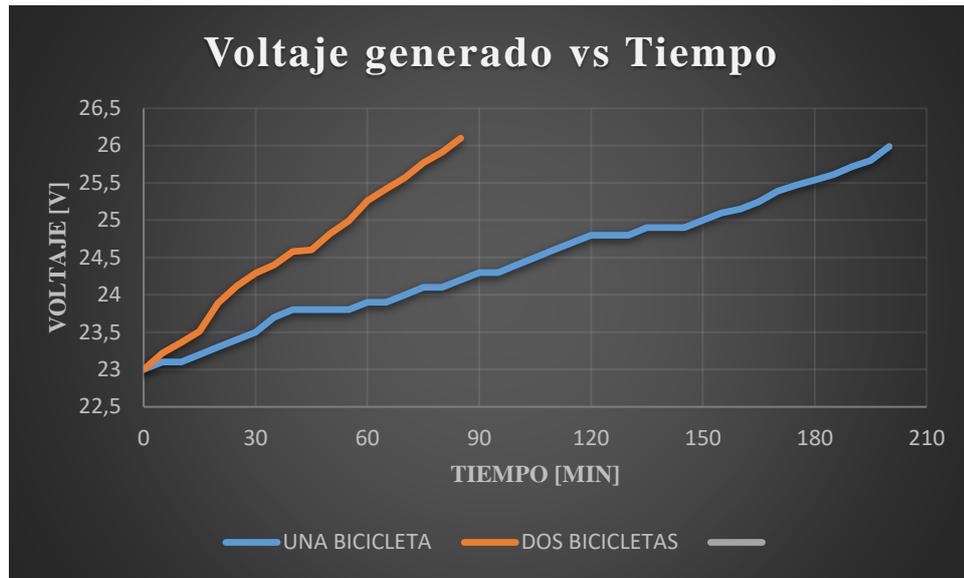
Figura 4.3 Prueba de carga del banco acumulador en vacío



a) Corresponde a la prueba de carga con una bicicleta, b) El cronometro registra el tiempo continuo de uso en la bicicleta, c) La velocidad de la bicicleta en rpm se muestra por la LCD del controlador 1, d) Muestra el nivel de carga medido por un multímetro, e) La herramienta serial plotter de arduino muestra el estado de carga en el banco cuando se usa la bicicleta. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

Los resultados obtenidos en esta prueba con 1 y 2 bicicletas se muestran en la figura 4.4 mediante una gráfica de carga en función del tiempo, manteniendo un rango de velocidades promedio de entre 320rpm hasta 336rpm.

Figura 4.4 Gráfica de comparación del voltaje generado en relación a las bicicletas utilizadas



La velocidad de giro de la rueda delantera de la bicicleta estática es un factor importante en la generación de energía eléctrica. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

De acuerdo con la gráfica de carga de la figura 4.4 se observa que llegar a la carga máxima del banco acumulador en relación a la utilización de las bicicletas, resulta en tiempos de carga totales de 3.3 horas y 1.41 horas respectivamente. Analizando los tiempos en los que las gráficas presentan mayor estabilidad se determina la tasa de carga, siendo de 0.1Vdc cada 6.6 minutos con 1 bicicleta y 0.2Vdc cada 5 minutos con 2 bicicletas.

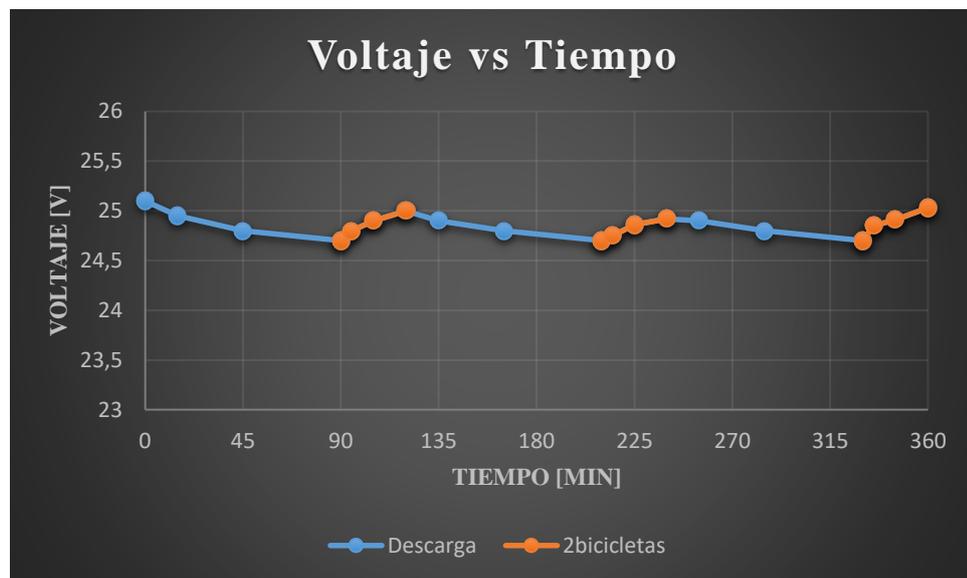
4.3 PRUEBA DE CONEXIÓN AL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Esta prueba tiene por objetivo determinar el funcionamiento del sistema en condiciones de energización del sistema de iluminación y carga mediante la utilización de las bicicletas estáticas disponibles en el gimnasio y así cuantificar el tiempo total de abastecimiento por parte del banco y las bicicletas.

La prueba se realiza en intervalos de carga y descarga tomando en cuenta la potencia mecánica disponible por cada hora de atención del gimnasio, es decir, 15 minutos de

utilización de las bicicletas por cada grupo de usuarios durante 11 horas (cada hora se cuenta con un nuevo grupo), resultando de 15 minutos de carga y 45 minutos de descarga cada hora. Actualmente el tiempo máximo que se dispone para el uso del gimnasio es 6 horas, por lo que se opta por realizar la prueba mediante intervalos equivalentes de 30 minutos de carga y 90 minutos de descarga. La gráfica resultante se muestra en la figura 4.5.

Figura 4.5 Gráfica de carga y descarga medida en intervalos



La descarga ocurre por 90 minutos y la carga por 30 minutos durante 6 horas, alternándose ambas pruebas. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

De acuerdo con la figura 4.5 se observa que la tasa de descarga se mantiene constante, debido a que al ser carga resistiva sus valores no incrementan o disminuye en el tiempo, mientras que la tasa de carga ocurre a 0.1Vdc cada 10 minutos, siendo suficiente para mantener cargado al banco acumulador y por ende energizado el sistema de iluminación con energía renovable.

Durante la prueba, la descarga ocurre a razón de 0.6Vdc por cada 90 minutos, mientras que, la carga a 0.3Vdc por cada 30 minutos, es decir, al final de 6 horas de prueba el banco acumulador se descarga un total de 1.8Vdc y se carga 0.9Vdc, obteniendo un

valor medido en el banco de 24.3Vdc, que en términos de tiempo de abastecimiento según la tasa de descarga (0.1Vdc cada 15 minutos) equivale a 3.25 horas adicionales hasta la descarga total.

A modo de explicación se plantea el siguiente ejemplo; después de finalizada la prueba todas las luminarias se mantiene encendidas por la presencia de usuarios en el gimnasio, pero estos no utilizan las bicicletas, el banco abastece de energía eléctrica por 3.25 horas en base a la tasa de descarga de 0.1Vdc cada 15 minutos hasta llegar a su límite, medido el tiempo desde el inicio de la prueba hasta la descarga del banco, se tienen 9.25 horas en los que 7.75 horas el sistema no depende de la red eléctrica. Por el contrario, si se sigue utilizando las bicicletas el sistema se mantiene operando por más tiempo en función de la energía almacenada.

4.4 PRUEBA DE DESCONEXIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

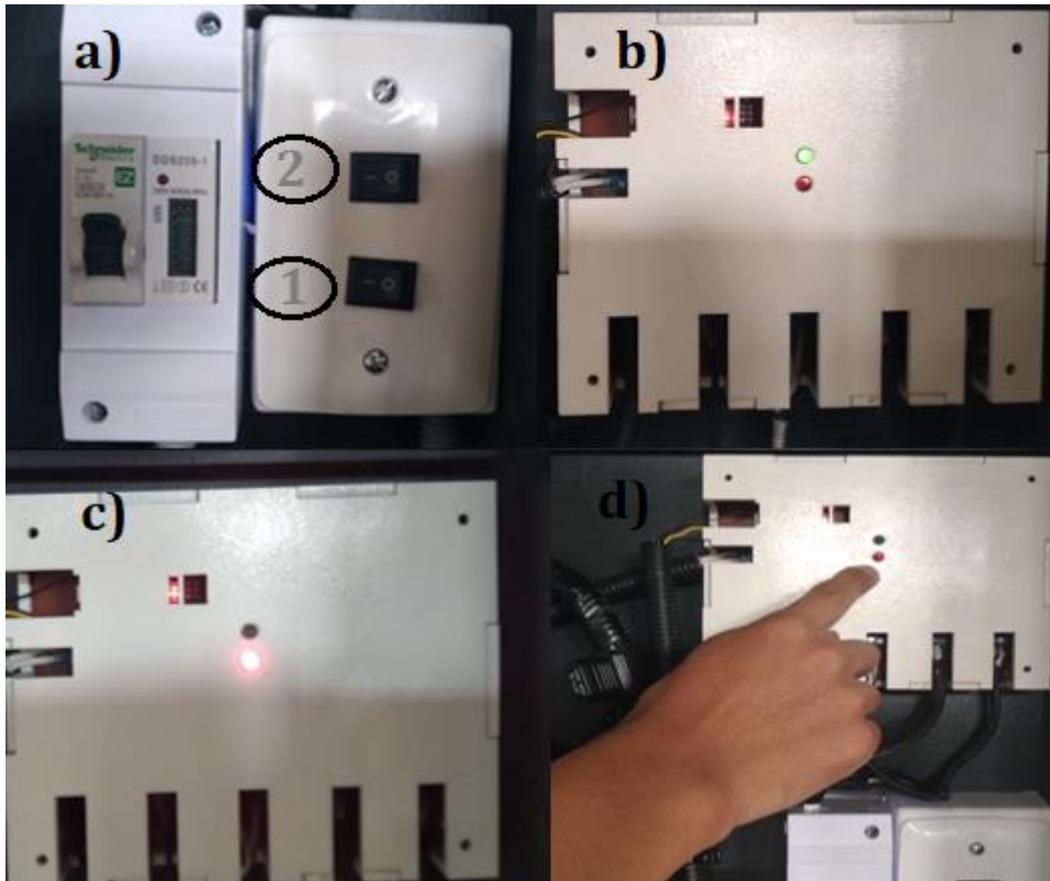
Esta prueba tiene por objetivo determinar el funcionamiento de los controladores 1 y 2 cuando el nivel de voltaje en el banco acumulador disminuye hasta los 23Vdc o sobrepasa los 26Vdc, a fin de evitar las descargas profundas y sobrecargas, así como para proteger a los equipos electrónicos de cada subsistema.

En esta prueba se contemplan dos posibles escenarios, el primero cuando el nivel de voltaje en el banco acumulador se encuentre por debajo 23Vdc; de acuerdo con la programación el sistema entra en un estado de reposición de energía del subsistema de almacenamiento, desconectando el sistema de la carga, con lo que el sistema de iluminación es energizado únicamente desde la red eléctrica, esta condición se mantiene hasta que la carga en el banco llegue a los 25Vdc con lo que el sistema vuelve a conectarse a la carga y operar con normalidad.

El segundo escenario es cuando la carga del banco acumulador supera los 26Vdc, con lo que se desconecta el relé de excitación del alternador hasta que el nivel de voltaje decaiga a los 25Vdc, sin que las bicicletas estáticas generen energía eléctrica.

La prueba se realiza mediante el encendido del controlador 2, para esto se añade al tablero un par de interruptores que permiten su alimentación de 5Vdc y la lectura de la carga en el banco acumulador. Si la medición de la carga se encuentra por encima de los 23Vdc mantiene encendido el led indicador verde y el sistema de iluminación se energiza con la energía del banco. Por debajo del valor establecido el controlador mantiene encendido el indicador rojo requiriendo la utilización las bicicletas y el sistema de iluminación se energiza con la red eléctrica. Finalmente se añadió una función para el caso en que no exista generación por parte de las bicicletas en mucho tiempo; el interruptor 2 del tablero desconecta la medición del banco, por lo que, el controlador permite la alimentación del sistema de iluminación mediante la red eléctrica, en este caso el indicador rojo permanece titilando cada 0.5s. Para el caso de la prueba de sobrecarga no se cuenta con indicadores de ningún tipo, únicamente la bicicleta no genera. Los estados de funcionamiento del controlador 2 se presentan en la figura 4.6.

Figura 4.6 Estados de funcionamiento del controlador 2



a) El interruptor 1 alimenta el controlador, el interruptor 2 permite la medición del banco, b) Representa el estado de descarga manteniendo energizado el sistema de iluminación mediante el banco, c) Manteniéndose encendido indica la batería baja y requiere reposición de energía por las bicicletas, d) Cuando no exista medición de carga del banco se mantiene titilando. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

En el posible caso de que el sistema se encuentre en alguno de los lazos de histéresis del controlador 1 o 2, además no se cuente con energía eléctrica de la red y se requiera iluminar el gimnasio, se debe reiniciar el sistema mediante un interruptor instalado en los controladores que al momento de encender vuelven a las condiciones iniciales; si el lazo de histéresis era del controlador 1 el sistema funciona con normalidad hasta que se superen los 26Vdc, si el lazo de histéresis es del controlador 2 y existe voltaje mayor a 23Vdc funciona con normalidad, pero si está por debajo de este requiere que se reponga la energía mediante la utilización de las bicicletas estáticas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La investigación realizada con respecto al sistemas de generación eléctrica impulsados por maquinas rotativas y el aprovechamiento de la energía cinemática, se determinó las capacidades del uso de bicicletas estáticas en la generación de energía eléctrica mientras los usuarios de un gimnasio realizan una rutina de ejercicios, esta energía se puede aprovechar para darle diversos usos de alimentación DC y AC como cargadores de celulares y sistemas de iluminación.

El dimensionamiento de un sistema de energización alternativo se realiza a partir de un levantamiento de carga eléctrica para determinar la potencia eléctrica que requiere ser abastecida e identificar las cargas de interés o zonas de trabajo si la carga es muy grande, también se pueden identificar cargas que producen pérdidas y así optimizar el sistema.

El estudio de uso así como de la mecánica de las bicicletas estáticas permite determinar parámetros como la velocidad promedio de giro, diámetro de la rueda delantera y tiempo de utilización para identificar la potencia mecánica disponible por cada hora de atención del gimnasio, y así determinar la energía eléctrica que puede ser generada desde este sistema, además se puede identificar la necesidad de un sistema de almacenamiento de energía por medio de un banco acumulador para prever los intervalos en los que no se usen las bicicletas.

El sistema de acople mecánico en las bicicletas permite obtener considerables velocidades en el eje del alternador, un promedio superior de 320rpm son suficientes para hacer funcionar el alternador que carga completamente un banco acumulador de 24Vdc y 200Ah con una tasa de carga de 0.1Vdc cada 6.6 minutos con una bicicleta y

0.2Vdc cada 5 minutos con dos bicicletas, en un tiempo de 3.3 horas y 1.41 horas respectivamente, esta energía suministra la potencia total del gimnasio de 714.28 VA, abasteciendo la energización del sistema de iluminación del gimnasio. El tiempo de carga de 3.3 horas y 1.41 horas de carga equivalen a 70% y 87% respectivamente, de energía renovable que no depende de la red eléctrica durante las 11 horas de atención del gimnasio.

El banco acumulador permite almacenar la energía generada cuando se hace uso de las bicicletas estáticas, la carga completa se realiza en 3.3 horas con una bicicleta y 1.41 horas con dos bicicletas, con una velocidad promedio de 320rpm. El banco permite disponer de la energía eléctrica necesaria para el sistema de iluminación durante 4.5 horas sin que las bicicletas sean utilizadas, garantizando así el suministro continuo de energía en épocas de baja afluencia.

El subsistema de control cuenta con dos microcontroladores que realizan funciones de medición de la carga del acumulador, verificación del estado de operación al conectarse un ordenador, conmutación entre fuentes de alimentación, energización por parte de las bicicletas estáticas y desconexión de los equipos conectados entre sí; teniendo un sistema de energización automatizado que permite mantener el gimnasio de la UPS encendido con energía limpia. A modo de respaldo, si el nivel de carga del acumulador es bajo se acciona un selector que permite energizar el sistema de iluminación mediante la red eléctrica hasta que se reponga la energía del banco acumulador.

En el caso de que no se pueda cargar el banco acumulador por las bicicletas estáticas debido a la falta de usuarios y el gimnasio este en operación durante varios días, se instaló una unidad de carga que repone la energía de las baterías para mantener su vida útil. Para utilizarlo se debe desconectar el sistema implementado mediante unos interruptores de encendido que se encuentran en el tablero principal y conectar a la red eléctrica el enchufe que se encuentra cerca al tomacorriente; una vez repuesta la carga en los acumuladores se desconecta automáticamente, es decir, no sobrecarga las

baterías y posteriormente, para volver encender el sistema de generación eléctrica se debe desconectar la unidad de carga de la red eléctrica y accionar los interruptores de encendido.

RECOMENDACIONES

Se recomienda establecer una rutina de ejercicios en el gimnasio que incluya el uso obligatorio de las bicicletas estáticas al ingreso de cada grupo de trabajo, de manera que el tiempo de carga del banco acumulador se extienda y dependa menos de la energía de la red eléctrica.

Para disponer de mayor capacidad de energización se recomienda conectar un par de acumuladores de 12Vdc y un inversor extra, acompañado de un incremento en el uso de las bicicletas estáticas, esto podría permitir energizar por completo el gimnasio y requerir de menos energía de la red eléctrica.

El sistema actual cuenta con sensores ópticos que son sensibles a la luz ambiente, se utiliza para mitigar este efecto cajas compactas que aíslan y encierran los sensores pero existe aún pequeña incidencia de la luz en días muy claros, lo que provoca el encendido de las LCD, sin embargo después de no encontrar movimiento se apagan automáticamente, por lo que se recomienda usar sensores magnéticos, que son más precisos para la medición de velocidad en una rueda y obtener datos continuos para determinar el pulso, la velocidad, tiempo, distancia recorrida y calorías quemadas por el usuario, lo que incentiva el uso de las bicicletas estáticas

BIBLIOGRAFÍA

- Carmona Zerecero, A., Ortega Calzada, A., & Sanchez Violante, A. (2012). *GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR PEDALEO*. México: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- Castaño, A. (2018). *Inducción Electromagnética*. Obtenido de <http://ing.unne.edu.ar/pub/fisica3/170308/teo/teo5.pdf>
- Castejon Olivia, A., & Santamaria Herranz, G. (2018). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España: Editex.
- Chapman, S. (2015). *Máquinas Eléctricas*. México: 5ta Edición.
- Electro Componentes, e. (2020). *Electro Componentes.es*. Obtenido de <https://www.electrocomponentes.es/nosotros/empresa-4>
- Electronic, D.-k. (2019). *Digi-Key*. Obtenido de <https://components101.com/16x2-lcd-pinout-datasheet>
- Electrotecnia. (2015). *Maquinas Electricas*.
- Endesa. (2020). *El generador eléctrico*. Obtenido de Endesa Foundation: <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-generador-electrico>
- Enríquez, H. (2004). *Libro practico de los generadores, transformadores y motores electricos*. LIMUSA.
- generadores. (2016). Obtenido de <http://mdlls03.blogspot.com/2016/02/los-generadores-de-corriente.html>
- Gómez, J., Gónzales, B., Fabiani, M., & Pereda, H. (2016). *FUNDAMENTOS DE INGENIERIA ELECTRICA*. Universidad de la Laguna.
- Hernández Labañino, R. (2011). *Accionamiento eléctrico a través de un Rectificador monofásico semicontrolado, para el simulador de desgaste CMT2070-1*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- Importantes ltda. (2015). Obtenido de <https://importantes.co/portfolio-item/alternador-242-lr170-418-24v/>

- López Rosales, J. W. (2017). *Diseño e implementación de un módulo didáctico de software para la simulación de generadores sincrónicos*. Quito.
- López Sánchez, D. (2019). *Tecnologías de Baterías*. UNIVERSIDAD DE VALLADOLID .
- Martín Castillo, J. (2015). *Máquinas Eléctricas*. EDITEX.
- Martín Castillo, J. C. (2015). *Electricidad y Electrónica*. España: Editex.
- MUÑOS SANCHEZ, J. M., CORREA LONDOÑO, J., & BEDOYA MONSALVE, D. A. (2016). *DISEÑO E INSTALACIÓN DE SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME*. España: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- Muños, J., Correa, J., & Bedoya, A. (2016). *DISEÑO E INSTALACIÓN DE SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME*. Pereira: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- Ordoñez Placencia, A. E., & Paidá Tenemaza, J. A. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA TRANSFORMAR ENERGÍA MECÁNICA DE UNA MÁQUINA ELÍPTICA DE EJERCICIOS EN ENERGÍA ELÉCTRICA PARA CARGAR DISPOSITIVOS DE BAJO VOLTAJE*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Ortega, R., Carranza, O., Sosa, J., García, V., & Hernández, R. (2016). *Diseño de controladores para inversores monofásicos*. España: Elsevier España.
- Oscar Doria, G. T. (2017). *Construcción de un generador eólico con material reciclable para la producción de energía eléctrica a escala local*. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Pahuanquiza Guamantica, J. A. (2015). *Dispositivos electrónicos utilizados en generadores eléctricos*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Palomo Beltrán, C. (2015). *Generación de energía a partir de métodos de propulsión humana, en vivienda urbana en la Ciudad de México*. México: Universidad Latinoamericana ULA Campus Norte.
- Pardell, X. (2020). *Apuntes de electromedicina*. España.

- Plataforma educativa Aragonesa. (21 de 10 de 2016). *e-educativa*. Obtenido de e-educativa: http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3079/html/432_rectificador_trifsico_de_onda_completa.html
- Reyes Pérez, C. X., & Moya Velasco, J. P. (2018). *Diseño de controladores para inversores monofásicos*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Rodríguez Pozueta, M. (2016). *Máquinas Eléctricas I*. España: Universidad de cantabria.
- Sáez, C. (28 de Enero de 2018). *LA VANGUARDIA*. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/ciencia/20180128/44298151599/led-mas-eficiente-sodio-debate.html>
- Serrano Iribarnegaray, L., & Martínez Róman, J. (2017). *Máquinas Eléctricas*. España: Universidad Politécnica de València.
- UCM. (2018). *Conversión CC/CA. Inversores*. España: Universidad Carlos III de Madrid.
- Vargas, J. (2016). *Prototipo mecánico para la transformación de energía hidráulica en energía eléctrica*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Wildi, T. (2007). *Maquinas Electricas Y Sistemas De Potencia*. Monterey: Pearson educación.

ANEXOS

ANEXO 1

CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR PHOENIX 24/800 VA

	Inversor Phoenix 24 Voltios	24/800
	Potencia a 25°C	800VA
	Potencia a 25°C / 40°C	650/560W
	Pico de potencia	1500W
	Tensión de frecuencia CA de salida (ajustable)	230Vac o 120Vac+/-3% 50Hz o 60Hz +/- 0.1%
	Rango de tensión de entrada	18.4-34.0 V
	Desconexión por CC baja (ajustable)	21.8 V
	Detector de batería cargada (ajustable)	28.0 V
	Consumo en vacío	7W
	Protección	AFCI (As Arc Fault Circuit Interrupter)
Tiempo de conmutación	Filax (menos de 20 milisegundos)	

1. Chasis de acero y carcasa de plástico (azul RAL 5012), 2. bornera de entrada DC, 3. indicadores de diagnóstico del inverter PHOENIX, 4. on/off del modo ECO, 5. interruptor remoto on/off, 6. puerto de comunicación VE. Direct, 7. puesta a tierra. Elaborado por: Israel Benavidez & Sergio Quintuña

ANEXO 2

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ACUMULADORES ENERGY POWER 12V-100AH

 <p>Energy Power 12V100AH</p> <p>VALVE REGULATED LEAD-ACID BATTERY + CHARGING INSTRUCTION (M.3502)</p> <table border="1" style="font-size: 8px;"> <tr> <th>TYPE</th> <th>VOLTAGE</th> <th>MAX. CHARGE CURRENT</th> </tr> <tr> <td>SP500-12V</td> <td>12V</td> <td>10A</td> </tr> <tr> <td>CHG. RATE</td> <td>14.4V/25°C</td> <td>25.0Ah</td> </tr> </table> <p>ISO 9001 ISO14001 CE</p>	TYPE	VOLTAGE	MAX. CHARGE CURRENT	SP500-12V	12V	10A	CHG. RATE	14.4V/25°C	25.0Ah	Modelo de batería	JP12-100	
	TYPE	VOLTAGE	MAX. CHARGE CURRENT									
	SP500-12V	12V	10A									
	CHG. RATE	14.4V/25°C	25.0Ah									
	Vida útil	12 Años										
	Capacidad (20°C)	20h (5.3A; 1.80V)	10h (10A; 1.80V)									
		106Ah	100Ah									
	Dimensiones	longitud	Anchura									
		330mm	171mm									
	Peso aprox.	28.3 kg										
Resistencia interna	0.0045 Ω											
Descarga segura	<3% por mes											
Capacidad afectada por temp. (10h)	40°C	20°C										
	109%	100%										
Voltaje de carga (20°C)	Ciclo de uso											
	14.4 -14.8V (-30mV/C), máxima corriente: 25 ^a											

ANEXO 3

REGISTRO DE USUARIOS DEL GIMNASIO PARA EL ESTUDIO DE LA MECÁNICA DISPONIBLE

REGISTRO DE USO DEL GIMNASIO DE LA UPS CAMPUS SUR																							
	mes	dia	hora	np																			
L	9	24	7	0	10	1	7	2	10	8	7	0	10	22	7	0	10	29	7	3			
	9	24	8	5	10	1	8	11	10	8	8	0	10	22	8	11	10	29	8	10			
	9	24	9	0	10	1	9	20	10	8	9	0	10	22	9	19	10	29	9	15			
	9	24	10	3	10	1	10	15	10	8	10	0	10	22	10	12	10	29	10	13			
	9	24	11	0	10	1	11	13	10	8	11	0	10	22	11	19	10	29	11	16			
	9	24	14	4	10	1	14	17	10	8	14	0	10	22	14	23	10	29	14	14			
	9	24	15	7	10	1	15	21	10	8	15	0	10	22	15	19	10	29	15	17			
	9	24	16	5	10	1	16	11	10	8	16	0	10	22	16	19	10	29	16	11			
	9	24	17	1	10	1	17	15	10	8	17	0	10	22	17	4	10	29	17	7			
	9	24	18	1	10	1	18	5	10	8	18	0	10	22	18	5	10	29	18	6			
M	9	25	7	2	10	2	7	2	10	9	7	3	10	23	7	3	10	30	7	3			
	9	25	8	12	10	2	8	8	10	9	8	8	10	23	8	11	10	30	8	12			
	9	25	9	22	10	2	9	26	10	9	9	22	10	23	9	25	10	30	9	18			
	9	25	10	24	10	2	10	21	10	9	10	12	10	23	10	13	10	30	10	18			
	9	25	11	8	10	2	11	25	10	9	11	16	10	23	11	10	10	30	11	15			
	9	25	14	15	10	2	14	22	10	9	14	16	10	23	14	23	10	30	14	0			
	9	25	15	7	10	2	15	24	10	9	15	12	10	23	15	14	10	30	15	0			
	9	25	16	13	10	2	16	12	10	9	16	12	10	23	16	22	10	30	16	0			
	9	25	17	0	10	2	17	7	10	9	17	4	10	23	17	7	10	30	17	0			
	9	25	18	0	10	2	18	4	10	9	18	2	10	23	18	8	10	30	18	0			
M	9	26	7	4	10	3	7	5	10	10	7	5	10	24	7	6	10	31	7	6			
	9	26	8	19	10	3	8	14	10	10	8	14	10	24	8	15	10	31	8	12			
	9	26	9	22	10	3	9	23	10	10	9	18	10	24	9	24	10	31	9	14			
	9	26	10	18	10	3	10	24	10	10	10	18	10	24	10	14	10	31	10	12			
	9	26	11	21	10	3	11	24	10	10	11	24	10	24	11	25	10	31	11	14			
	9	26	14	27	10	3	14	25	10	10	14	24	10	24	14	22	10	31	14	8			
	9	26	15	28	10	3	15	15	10	10	15	17	10	24	15	9	10	31	15	10			
	9	26	16	14	10	3	16	21	10	10	16	17	10	24	16	18	10	31	16	3			
	9	26	17	11	10	3	17	9	10	10	17	4	10	24	17	7	10	31	17	4			
	9	26	18	0	10	3	18	6	10	10	18	3	10	24	18	3	10	31	18	2			
J	9	27	7	8	10	4	7	6	10	11	7	5	10	25	7	6	11	1	7	11	8	7	
	9	27	8	9	10	4	8	12	10	11	8	18	10	25	8	9	11	1	8	11	8	8	
	9	27	9	14	10	4	9	24	10	11	9	23	10	25	9	21	11	1	9	11	8	9	
	9	27	10	21	10	4	10	22	10	11	10	14	10	25	10	20	10	25	10	23	11	1	10
	9	27	11	9	10	4	11	21	10	11	11	16	10	25	11	14	11	1	11	11	8	11	17
	9	27	14	20	10	4	14	14	10	11	14	14	10	25	14	11	11	1	14	11	8	14	2
	9	27	15	14	10	4	15	17	10	11	15	13	10	25	15	6	11	1	15	11	8	15	14
	9	27	16	12	10	4	16	14	10	11	16	16	10	25	16	16	11	1	16	11	8	16	19
	9	27	17	1	10	4	17	8	10	11	17	2	10	25	17	6	11	1	17	11	8	17	3
	9	27	18	5	10	4	18	2	10	11	18	4	10	25	18	2	11	1	18	11	8	18	4
V	9	28	7	2	10	5	7	2	10	12	7	2	10	26	7	2	11	2	7	11	9	7	4
	9	28	8	11	10	5	8	18	10	12	8	18	10	26	8	10	10	26	8	29	11	2	8
	9	28	9	24	10	5	9	24	10	12	9	25	10	26	9	21	10	26	9	24	11	2	9
	9	28	10	22	10	5	10	16	10	12	10	25	10	26	10	14	10	26	10	12	11	2	10
	9	28	11	25	10	5	11	23	10	12	11	25	10	26	11	19	10	26	11	15	11	2	11
	9	28	14	14	10	5	14	13	10	12	14	7	10	26	14	6	10	26	14	11	11	2	14
	9	28	15	8	10	5	15	7	10	12	15	15	10	26	15	14	10	26	15	8	11	2	15
	9	28	16	10	10	5	16	6	10	12	16	10	10	26	16	8	11	2	16	11	9	16	7
	9	28	17	2	10	5	17	9	10	12	17	7	10	26	17	7	10	26	17	6	11	2	17
	9	28	18	4	10	5	18	2	10	12	18	4	10	26	18	4	11	2	18	11	9	18	3

ANEXO 4

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA SELECCIÓN EL MEJOR MÉTODO DE ACOPLE MECÁNICO

Se establece una matriz de factor de peso con los criterios que se creen necesarios para diseño del acople mecánico, en la cual, el valor 1 se considera factor importante para cada criterio. Para el cálculo se considera como ejemplo que A tiene $2/21=0.095$ y así para el resto de criterios; los más importantes resultan ser costo, tamaño y estética.

Criterio de diseño	A	B	C	D	E	F	G	Fila Total	Factor de Peso
Desgaste	0	1	1	0	0	0	0	2	0,095
Facilidad de montaje	0	0	1	0	1	1	0	3	0,143
Eficiencia	0	1	0	0	0	1	0	2	0,095
Costo	1	1	0	0	0	1	1	4	0,190
Complejidad	0	0	0	0	0	1	1	2	0,095
Tamaño	1	1	1	0	0	0	1	4	0,190
Estética	1	1	0	1	0	1	0	4	0,190
TOTAL								21	1

Estos criterios se evalúan posteriormente con un esquema de evaluación como se muestra en la siguiente tabla, la puntuación se otorga dependiendo de la importancia del criterio.

Escala de puntos	Descripción
0	inadecuada
1	débil
2	satisfactoria
3	buena
4	excelente

Finalmente se evalúa los criterios en función de los sistemas mecánicos que existen. El factor de peso se multiplica por cada puntuación y se determina el mejor sistema mecánico para el aprovechamiento de energía cinemática. El que más se ajusta según la tabla es la opción de rodillos, además que cumple con los requerimientos del capítulo 1; no ser invasivo en la bicicleta estática, fácil mantenimiento y fácil acople

Criterio de decisión	Factor de peso	Poleas		Fricción		Estrella		Masa		Axial	
		punt.	calif.								
Desgaste	0,095	4	0,381	3	0,286	3	0,286	4	0,381	4	0,381
Facilidad de montaje	0,143	2	0,286	4	0,571	2	0,286	1	0,143	2	0,286
Eficiencia	0,095	3	0,286	3	0,286	3	0,286	2	0,190	4	0,381
Costo	0,190	3	0,571	3	0,571	3	0,571	1	0,190	4	0,762
Complejidad	0,095	4	0,381	2	0,190	2	0,190	2	0,190	4	0,381
Tamaño	0,190	1	0,190	2	0,381	2	0,381	3	0,571	3	0,571
Estética	0,190	1	0,190	4	0,762	1	0,190	4	0,762	3	0,571
TOTAL	1,000	18	2,286	21	3,048	16	2,190	17	2,429	24	3,333

ANEXO 5

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR 1

```

// include the library code:
#include <LiquidCrystal.h>
#define PIN_BOTON_A 10
// initialize the library by associating any needed
LCD interface pin
// with the arduino pin number it is connected to
const int rs = 2, en = 3, d4 = 4, d5 = 5, d6 = 6, d7 =
7;
const int PIN_LED = 9, PIN_RELE = 8,
PIN_SENSOR = 10, PIN_ONSIG=11;
const int PIN_VOL = A0;
int cont=0, VOLTAJE1=0, VOLTAJE2=0;
long
CONT1=0,cont_pulsos=0,cont_time=0,cont_barrer
a=0;
int
int          SENSOR_STATE=0,
flanco=0,cont3,cont_cero=0;
float
float          SEGMENTO=0.0,VEL_RUEDA=0.0,
RPM=0.0;
int estadoAnteriorPulsador = 0,empezar = 0,
estadoPulsador=0,empezar2=0;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(PIN_LED, OUTPUT);
  pinMode(PIN_RELE, OUTPUT);
  pinMode(PIN_ONSIG, OUTPUT);
  pinMode(PIN_SENSOR, INPUT);
  digitalWrite(PIN_LED, HIGH);
  digitalWrite(PIN_RELE, LOW);
  digitalWrite(PIN_ONSIG, LOW);
  estadoAnteriorPulsador
  =
digitalRead(PIN_SENSOR);
  estadoPulsador = digitalRead(PIN_SENSOR);
}

void loop() {
  inicio: // estado cero de inicio
  cont_cero=0;
  pinMode(PIN_LED, OUTPUT);
  pinMode(PIN_RELE, OUTPUT);
  pinMode(PIN_SENSOR, INPUT);
  digitalWrite(PIN_LED, HIGH);
  digitalWrite(PIN_RELE, LOW);
  digitalWrite(PIN_ONSIG, LOW);
  estadoAnteriorPulsador
  =
digitalRead(PIN_SENSOR);
  estadoPulsador = digitalRead(PIN_SENSOR);
  delay(100);
  // ENCENDIDO DEL EQUIPO CON
MOVIMIENTO DE LA RUEDA
  if (estadoPulsador != estadoAnteriorPulsador) { //
Se compara la variable estadoPulsador
// con su valor
anterior
  empezar = 1;
  Serial.println("Encendido");
  // Si el estado actual es HIGH entonces el
pulsador
  }
  else { // Si el estado actual
es LOW entonces el pulsador
  empezar = 0; ///// paso de un estado ON
a OFF
  }
  while(empezar==1){
  ///////ENCIENDE LED, APAGA EL RELEE
  digitalWrite(PIN_LED, LOW);
  //digitalWrite(PIN_RELE, LOW);
  delay(500);
  // ANIMACION LCD INICIO
  lcd.begin(16, 2);
  for (int i = 0; i <= 15; i++){
  lcd.setCursor(i, 0);
  lcd.print(">");
  lcd.setCursor(i, 1);
  lcd.print(">");
  cont= 15-i;
  lcd.setCursor(cont, 0);
  lcd.print("<");
  lcd.setCursor(cont, 1);
  }
  }
}

```

```

    lcd.print("<");
    delay(100);
}
for (int i = 0; i <= 7; i++){
    lcd.setCursor(i, 0);
    lcd.print(">");
    lcd.setCursor(i, 1);
    lcd.print(">");
    cont= 15-i;
    lcd.setCursor(cont, 0);
    lcd.print("<");
    lcd.setCursor(cont, 1);
    lcd.print("<");
    delay(100);
}
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(" BIENVENIDO ");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("SALESIAN ENERGY");
delay(1000);
for (int i = 0; i <= 7; i++){
    lcd.setCursor(i, 0);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(i, 1);
    lcd.print(" ");
    cont= 15-i;
    lcd.setCursor(cont, 0);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(cont, 1);
    lcd.print(" ");
    delay(100);
}
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("SALESIAN ENERGY");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("RPM:");
empezar = 2;
}
//FINAL DE ANIMACION DE INICIO
// CONTEO DE RPM
// SIN DELAY
while (empezar == 2){
    SENSOR_STATE =
digitalRead(PIN_SENSOR);
    if(SENSOR_STATE == 1){
        cont_barrera=0;
        cont_pulsos++;
        while(SENSOR_STATE == 1){
            SENSOR_STATE =
digitalRead(PIN_SENSOR);
            // Serial.println("1");
            cont_time++;
            cont_barrera++;
            if(cont_barrera >= 2000){
                goto rpmcero;
            }
            delay(1);
        }
        if(SENSOR_STATE == 0){
            cont_barrera=0;
            cont_pulsos++;
            while(SENSOR_STATE == 0){
                SENSOR_STATE =
digitalRead(PIN_SENSOR);
                // Serial.println("0");
                cont_time++;
                cont_barrera++;
                if(cont_barrera >= 2000){
                    goto rpmcero;
                }
                delay(1);
            }
            if(cont_time>=3000){
                VOLTAJE1= analogRead(PIN_VOL);
                VOLTAJE2= VOLTAJE1 * 27 / 1024;
                if (VOLTAJE2 > 26){
                    digitalWrite(PIN_RELE, LOW);
                }
                //APAGA EL RELE EN CASO DE ESTAR EN SOBRECARGA
            }
            else{
                digitalWrite(PIN_RELE, HIGH);
            }
            //ENCIENDE EL RELE CUANDO HAY VELOCIDAD
        }
        RPM = (30000*cont_pulsos)/cont_time;
        if(RPM >= 100){
            digitalWrite(PIN_ONSIG, HIGH);
        }
    }
}

```

```

    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print(RPM);
    lcd.setCursor(11, 1);
    lcd.print(">200");
    cont_pulsos=0;
    cont_time=0;
  }
}
rpmcero:
if(cont_barrera >=2000){

// digitalWrite(PIN_RELE, LOW);
RPM = 0.0;
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print(RPM);
cont_barrera=0;
cont_pulsos=0;
cont_time=0;
cont_cero++;
digitalWrite(PIN_ONSIG, LOW);
}

if (cont_cero> 5){
  cont_barrera=0;
  cont_pulsos=0;
  cont_time=0;
  empezar = 0;
  digitalWrite(PIN_LED, LOW);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("      ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("      ");
  estadoAnteriorPulsador =
digitalRead(PIN_SENSOR);
  estadoPulsador =
digitalRead(PIN_SENSOR);
  goto inicio;
}
}
}
}

```

ANEXO 6

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONVERTIDOR DC-DC LM2596

	Voltaje de entrada	4.5 – 40Vdc
	Voltaje e salida	1.27 – 37Vdc
	Corrientes de salida	2.5 – 3A
	potencia de salida	25W
	Eficiencia de conversión	92 %
	Protección de corto circuito	Hasta 5 A
	Dimensiones	43*21*13 mm

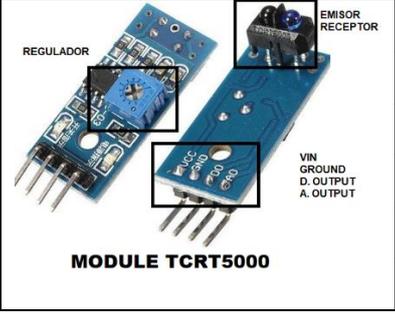
ANEXO 7

TABLA DE CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DEL CONTROLADO
DE ARDUINO

Alimentación DC	3.5Vdc o 5Vdc
Canales A/D	12 digitales y 8 analógicos
Canales PWM	6
Costo	Medio bajo
Frecuencia	16 MHz
Memoria	2 Kbyte
Pines	30
resolución	10 bits

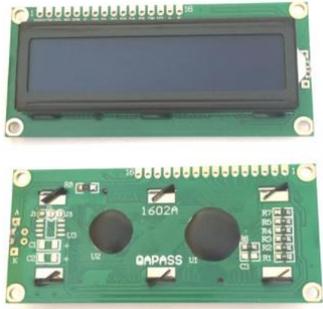
ANEXO 8

CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO SENSOR TCRT5000

 <p>MODULE TCRT5000</p>	Voltaje de alimentación	5Vdc
	Rango de detección	1mm a 8mm
	Tipo de salidas	2digitales, 1 analógica
	Led indicador de estado	Si
	Ajuste de sensibilidad	Potenciómetro
	estabilidad	Amplificador LM393

ANEXO 9

CARACTERÍSTICAS DE LCD 16X2

	Voltaje	4.7 a 5.3 Vdc
	Consumo de corriente	1mA
	Módulo de pantalla LCD	Alfanumérico
	Filas	2 filas, 16 caracteres
	Tamaño de carácter	5*8 pixeles
	Funcionamiento	4 o 8 bits
	Retroalimentación	azul

ANEXO 10

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR 2

```
//inicialización de variables
int analogInput = 0; //Definimos el pin analógico A0
para la lectura del voltaje
int releINV = 3;
int activaRELE2 = 4;
int activaRELE1 = 5;
int LED_inv = 6;
int LED_red = 7;
int bic1=0;
int bic2=0;
int bic3=0;
int sensor1 = 8; //definir el pin 8
int sensor2 = 9; //definir el pin 9
int sensor3 = 10; //definir el pin 10
float vout = 0.0, vin = 0.0;
float R1 = 98000.0; // R1 (100K)
float R2 = 10150.0; // R2 (10K)
int medida = 0;
int estado= LOW;
int var=0, pasa=0;
void setup(){
  pinMode(analogInput, INPUT); //pin analógico A0
  pinMode(activaRELE1, OUTPUT); // pin digital
D5 salida
  pinMode(activaRELE2, OUTPUT); // pin digital
D4 salida
  pinMode(releINV, OUTPUT); // pin digital D3
salida
  pinMode(LED_inv, OUTPUT); // pin digital
D6 salida
  pinMode(LED_red, OUTPUT); // pin digital
D7 salida
  pinMode(sensor1, INPUT); // pin digital D8
entrada
  pinMode(sensor2, INPUT); // pin digital D9
entrada
  pinMode(sensor3, INPUT); // pin digital D10
entrada
  digitalWrite(activaRELE1, estado);
  digitalWrite(activaRELE2, estado);
  digitalWrite(releINV, estado);
  digitalWrite(sensor1, LOW);
  digitalWrite(sensor2, LOW);
  digitalWrite(sensor3, LOW);
  Serial.begin(9600);
}
void loop(){
  lectura();
  //*****BATTERY CERO*****//
  /* en este caso si el valor medido por el A0 esta
desconetado o no hay fuente de alimentacion
// el inversor se paga hasta que exista voltaje >23.0V.
se encienden ambos indicadores
  if( vin <=5.0){
    Serial.println("INVERSOR APAGADO");
    digitalWrite(releINV, LOW);
    digitalWrite(LED_red, LOW); // Apaga led
indicador de red
    delay(500);
    digitalWrite(LED_red, HIGH); // Apaga led
indicador de red
    delay(500);
    RED();
  }

  //*****BATTERY LOW*****//
  /* en el caso en que el banco acumulador llegase a
quedarse sin energia
// se opta por desconectar el sistema hasta que la
energia sea repuesta por las bicicleta
  if(vin >5.0 && vin < 23.00){
    // delay(50);
    Serial.println("cambiando a red");
    var=1;
  }
  while(var==1){
    lectura();
    if( vin <=5.0){
      Serial.println("INVERSOR APAGADO");
      digitalWrite(releINV, HIGH);
      var=0;}
    if ( vin >5.0 && vin < 23.00){
```

```

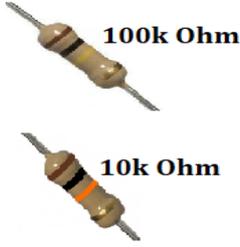
    delay(50);
    Serial.println("Reponer energia");
    RED();}
    if (vin >= 25.00){
        delay(50);
        Serial.println("Energia repuesta");
        var =0;}
    }
    //*****BATTERY GOOD*****//
    /* Por defecto la carga es energizada por el sistema
    implementado

    if( vin >=23.00){
        Serial.println("Estado OK");
        digitalWrite(releINV, HIGH);
        INVERSOR();
    }
    //*****BATTERY CHARGE*****//
    /*siempre que se detecta el movieminto de las
    bicicletas se procede
    // almacenar la energia en el banco de acumuladores
    Movest();
    if(bic1 == HIGH || bic2 == HIGH || bic3 ==
    HIGH){
        delay(50);
        Serial.println("Bicicleta en movimiento");
        pasa=1;
    }
    while(pasa == 1){
        RED();
        Serial.println("Cargando...");
        delay(50);
        Movest();
        if(bic1 == LOW && bic2 == LOW && bic3 ==
    LOW){
            pasa=0;
            delay(1000);//Aqui se cambia para esperar de
            nuevo a que la persona vuelva a pedalear
        }
    }
    }
    //*****bloque que permite la alimentacion
    electrica desde la red*****//
    void RED(){
        //    digitalWrite(releINV, HIGH);    // Se
        desconecta el control remoto del inversor
        digitalWrite(LED_red, HIGH); // Enciende led
        indicador de red
        digitalWrite(LED_inv, LOW);    // Apaga led
        indicador inversor
        digitalWrite(activaRELE1, HIGH); // En alto da
        paso a la red electrica
        digitalWrite(activaRELE2, HIGH);
    }
    //*****bloque que permite la alimentacion
    electrica desde las baterias e inversor*****//
    void INVERSOR(){
        //    digitalWrite(releINV, LOW);    // Vuelve a
        conectarse el control remoto del inversor
        digitalWrite(LED_red, LOW);    // Apaga led
        indicador de red
        digitalWrite(LED_inv, HIGH);    // Enciende
        led indicador inversor
        digitalWrite(activaRELE1, LOW); // En bajo,
        condiciones iniciales
        digitalWrite(activaRELE2, LOW);
    }
    //*****bloque que determina el movieminto de
    las bicicletas estaticas por el controlador 1*****//
    void Movest(){
        bic1 = digitalRead(sensor1);
        bic2 = digitalRead(sensor2);
        bic3 = digitalRead(sensor3);
    }
    //**Mide siempre la carga del banco*****//
    void lectura(){
        medida = analogRead(analogInput); // Leemos el
        pin analógico A0
        vout = (medida * 5.0) / 1024.0; // Cálculo para
        obtener el Vout por ADC de 10 bits
        vin = vout / (R2/(R1+R2));    // Cálculo para
        obtener Vin del divisor de tensión
        if (vin<0.09) {vin=0.0;} // Si la lectura de Vin
        es menor que 0.09V le decimos que nos muestre 0
        Serial.println(vin);    // Mostramos el valor
        del Vin en la pc
        delay(500);    // Se hace una lectura
        de voltaje cada 500 ms
    }

```

ANEXO 11

CARACTERÍSTICAS DE LOS VALORES DE RESISTENCIAS TOMADOS PARA EL DIVISOR DE VOLTAJE

 100k Ohm 10k Ohm	Valor	100k Ω y 10k Ω
	Tolerancia	$\pm 5\%$
	Voltaje máximo	300V
	Potencia máxima	0,25W (1/4W)
	Tipo	Película de carbón
	montaje	Agujero pasante

ANEXO 12

TABLA DE CARACTERÍSTICAS DEL RELÉ SRD-5VDC-SL-C

	Modelo	SRD-5Vdc-SL-C
	Tipo de contacto	SPDT
	Voltaje de bobina	5Vdc
	Pines	5
	Voltaje máximo Circulación	125Vac - 250Vac /10A
	dimensiones	19mm*15mm*15mm

ANEXO 13

TABLA DE CARACTERÍSTICAS DEL TRANSISTOR 2N2222A

	Modelo	2n2222a
	Voltaje máximo	40V
	Potencia máxima	625mV
	Intensidad	600mA
	Tipo	Transistor bipolar - NPN
	montaje	Agujero pasante

ANEXO 14

TABLA PARA LA TASA DE CARGA UTILIZANDO UNA BICICLETA EN EL
INTERVALO DE MUESTRA MÁS ESTABLE

voltaje medido	velocidad registrada		tiempo	voltaje alcanzado
	mínimo	máximo		
24.1	350	386	05:03.94	24.2
24.2	270	360	05:29.77	24.3
24.3	340	385	05:15.03	24.4
24.4	290	320	05:28.43	24.5
24.5	285	326	05:37.87	24.6
24.6	290	340	05:46.49	24.7
24.7	305	348	05:05.48	24.8
24.8	249	310	06:14.52	24.9

Promedio. de velocidad rpm	mínimo	máximo	promedio
	297,375	346,875	322,125

ANEXO 15

TABLA PARA LA TASA DE CARGA UTILIZANDO DOS BICICLETAS EN EL
INTERVALO DE MUESTRA MÁS ESTABLE

Voltaje medido	Velocidad registrada		Tiempo	Voltaje alcanzado
	mínimo	máximo		
23.5	330	386	04:58,8	23.7
23.7	299	366	05:23,9	23.91
23.91	237	335	05:15,4	24.14
24.14	345	386	04:37,7	24.31
24.31	312	361	04:57,0	24.52
24.52	316	362	04:59,9	24.7

Promedio de velocidad rpm	Mínimo	Máximo	Promedio
	306,5	366	336,25