



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E SCIENTIA HOMINIS SALUS "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO DE MÁQUINA ISOTÓNICA AUTOSUSTENTADA CON ENERGÍA ELÉCTRICA DE HUMANO-PROPULSIÓN

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

ZURITA MINANGO PAÚL ENRIQUE
paul_zurita.m@hotmail.com

DIRECTOR: SILVANA GAMBOA BENITÉZ, MSc.
silvana.gamboa@epn.edu.ec

CO-DIRECTOR: PATRICIO CHICO HIDALGO, MSc.
patricio.chico@epn.edu.ec

Quito, Diciembre 2017

DECLARACIÓN

Yo, Zurita Minango Paúl Enrique, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Zurita Minango Paúl Enrique

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Zurita Minango Paúl Enrique, bajo mi supervisión.

Silvana Gamboa Benítez, MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

Patricio Chico Hidalgo, MSc.
CODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A mis amados padres José Enrique Zurita y María de Lourdes Minango, quienes son parte fundamental de mi vida, gracias a ustedes soy lo que soy, con su apoyo siempre me motivaron a seguir cumpliendo mis metas.

A todos mis profesores que me brindaron conocimiento a lo largo de la carrera de ingeniería, en especial a MSc. Silvana Gamboa Benítez por su confianza y apoyo a lo largo de la elaboración del proyecto de titulación.

A todos mis amigos y compañeros con los que he compartido esta hermosa etapa de la vida.

Paúl Zurita

DEDICATORIA

Dedico la realización de este proyecto a las personas que más amo en este mundo, mi familia: José, María, Pao, Chio, Vane. Por su paciencia, consejos y apoyo.

A todos mis buenos amigos que me pude encontrar en esta hermosa etapa de mi vida, gracias por brindarme todo su apoyo en las buenas y en las malas.

A ti, que siempre estuviste, confidente de sueños, penas y alegrías, me diste fuerza y coraje cuando más lo necesitaba, mal o tarde, pero siempre trate de cumplir mi promesa, esto fue por ti.

Paúl Zurita

CONTENIDO

CONTENIDO	i
RESUMEN	v
PRESENTACIÓN	vi
CAPÍTULO 1	1
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ENERGÍAS RENOVABLES	1
1.3 ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES DE BAJA POTENCIA.	2
1.3.1 ENERGÍA EÓLICA	3
1.3.2 ENERGÍA HIDRÁULICA.....	3
1.3.3 ENERGÍA DE BIOMASA	3
1.3.4 ENERGÍA SOLAR	3
1.3.5 ENERGÍA DE HUMANO PROPULSIÓN	3
1.4 CUERPO HUMANO COMO GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA ..	4
1.4.1 EJERCICIOS ISOTÓNICOS DEL CUERPO HUMANO	4
1.4.1.1 Ejercicio estático	5
1.4.1.2 Ejercicio isotónico	5
1.4.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LAS MÁQUINAS DE EJERCICIO ISOTÓNICO	5
1.4.3 BENEFICIOS DEL EJERCICIO ISOTÓNICO A LA SALUD HUMANA	7
1.4.4 PRESENTACIÓN DE PROYECTOS SIMILARES QUE UTILIZAN ENERGÍA DE HUMANO PROPULSIÓN	8
1.4.4.1 Expo Astana 2017: Energía del futuro	8
1.4.4.2 Vehículo terrestre de propulsión humana	9
1.4.4.3 Vehículo aéreo de propulsión humana (HPA).....	9
1.4.4.4 Generador triboeléctrico.....	9
1.4.4.5 Energy Floor.....	9
1.4.4.6 Cicloergómetro.....	9
1.4.4.7 Free Electric.....	9

1.5	COMPONENTES BÁSICOS DE UN SISTEMA GENERADOR DE HUMANO PROPULSIÓN	10
1.6	ALTERNADOR	11
1.6.1	PARTES DEL ALTERNADOR.....	11
1.7	BATERIA ELÉCTRICA	12
1.7.1	TIPOS DE BATERIA	12
1.7.1.1	Batería de ácido-plomo	13
1.7.1.2	Batería de níquel-cadmio	13
1.7.1.3	Batería de iones de litio.....	13
1.7.2	MÉTODO DE CARGA.....	14
1.7.2.1	Recargas lentas	14
1.7.2.2	Recargas rápidas	14
1.8	LUMINARIA LED	14
1.8.1	VENTAJAS DE LUMINARIAS LED	15
1.9	CONVERTIDORES DC-DC	15
1.9.1	CONVERTIDOR BUCK (REDUCTOR)	15
	CAPÍTULO 2.....	19
	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO	19
2.1	DISEÑO MECÁNICO.....	19
2.1.1	BICICLETA CONVENCIONAL	19
2.1.2	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO	20
2.1.2.1	Comodidad del usuario	20
2.1.2.2	Altura del prototipo	21
2.1.2.3	Facilidad del pedaleo	21
2.1.2.4	Transformación de energía	21
2.1.2.5	Revoluciones por minuto necesarias	25
2.1.2.6	Diseño final	27
2.1.3	IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO	29
2.2	DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	31
2.2.1	GENERACIÓN, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA GENERADA	31
2.2.1.1	Generación y regulación	31

2.2.1.2 Almacenamiento de energía	33
2.2.1.3 Circuito distribuidores de energía, convertidores DC-DC reductores.....	35
2.2.2 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES.....	37
2.2.2.1 Medición de variables	37
2.2.2.2 Voltaje	38
2.2.2.3 Corriente	39
2.2.2.4 Revoluciones generadas.....	40
2.2.2.5 Frecuencia cardiaca.....	41
2.2.2.6 Reloj en tiempo real DS1307	43
2.2.2.7 Relé.....	45
2.2.2.8 Switch electrónico	45
2.2.3 INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA.....	46
2.2.3.1 LCD.....	46
2.2.3.2 Pulsadores	46
2.2.4 COMUNICACIÓN BLUETOOTH	47
2.2.5 MICROCONTROLADOR.....	47
2.2.6 PROTECCIONES.....	49
CAPÍTULO 3.....	50
DESARROLLO DEL SOFTWARE Y HARWARE.....	50
3.1 PROGRAMACIÓN EN EL MICROCONTROLADOR.....	50
3.1.1 PROGRAMA PRINCIPAL, DIAGRAMA DE FLUJO	51
3.1.2 SUBROUTINA LECTURA DE ADC'S	52
3.1.3 SUBROUTINA RELOJ DS1307	53
3.1.4 SUBROUTINA REGISTRO DE DATOS.....	53
3.1.5 SUBROUTINA LUMINARIAS LED.....	54
3.1.6 INTERRUPCIONES	54
3.1.6.1 Interrupción externa Int0	54
3.1.6.2 Interrupción externa Int1	55
3.1.6.3 Interrupción por comparación, Timer2	56
3.1.6.4 Interrupción por recepción Rx.....	56

3.2 PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES.....	57
3.2.1 PROGRAMACIÓN DE ENTORNO (DESIGN).....	57
3.2.2 PROGRAMACIÓN DE ENTORNO (BLOCKS).....	59
3.2.3 DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN MÓVIL	60
3.3 ELABORACIÓN DE PLACAS ELECTRÓNICAS	64
3.3.1 PLACA DE POTENCIA	65
3.3.2 PLACA DE CONTROL	66
CAPÍTULO 4	68
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	68
4.1 PRUEBA DE GENERACIÓN DE VOLTAJE	68
4.2 PRUEBA DE REGULADOR DE VOLTAJE DE BATERÍA	69
4.3 PRUEBA DE LAS SEÑALES ACONDICIONADAS	70
4.3.1 VOLTAJE	70
4.3.2 CORRIENTE	72
4.3.3 FRECUENCIA CARDÍACA.....	72
4.3.4 ENCODER, RPM.....	73
4.4 PRUEBA DE RECEPCIÓN Y TRANSMISIÓN.....	74
4.5 PRUEBAS DE ENCENDIDO Y APAGADO LUMINARIA LED	75
4.6 PRUEBA DE ALIMENTACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS	76
4.7 ESTIMACIÓN DEL COSTO ECONÓMICO	77
CAPÍTULO 5	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1 CONCLUSIONES	79
5.2 RECOMENDACIONES.....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXO A: MANUAL DE USUARIO	A-1
ANEXO B: MANUAL DE MANTENIMIENTO	B-1
ANEXO C: HOJAS DE DATOS	C-1

RESUMEN

El acceso a la energía eléctrica en zonas rurales o aisladas a nivel mundial, aun hoy en día son escasas o ineficientes y la utilización de combustibles contaminantes (fósiles, carbón, gas) son un peligro para la salud humana y para el medio ambiente. Por eso es necesario la búsqueda de fuentes de energía alternativas medioambientalmente sostenibles, de fácil acceso a un bajo costo.

En este proyecto se presenta el diseño y construcción de un prototipo de máquina isotónica auto sustentada con energía de humano-propulsión, este prototipo se presenta como alternativa a un generador de energía de pequeña potencia, su utilización se orienta a la utilización del gasto físico, es decir la energía almacenada en los seres humanos proveniente de los alimentos consumidos, sea transferida a un sistema mecánico, en este caso una bicicleta convencional modificada para su posterior conversión a energía eléctrica, la cual se utilizará para suministrar energía de corriente continua para cargar dispositivos de baja potencia del usuario y generar la energía necesaria para su propia alimentación. La energía generada se almacena en una batería y es distribuida por medio de convertidores estáticos DC-DC a los diferentes periféricos y placas electrónicas del prototipo.

El prototipo cuenta con sensores de voltaje, velocidad, tiempo, pulso cardiaco, los cuales indicaran el voltaje disponible en el prototipo, la velocidad a la que se desplaza el usuario, la distancia recorrida, las revoluciones por minuto del prototipo, además las calorías quemadas aproximadas y las pulsaciones cardiacas del usuario.

Existen dos interfaces de usuario, uno localizado en el prototipo de forma física donde se visualizará el voltaje disponible en el prototipo, frecuencia cardíaca, rpm y una botonera para la utilización de la luminaria led del prototipo y otra de forma remota, donde el usuario será capaz, mediante una aplicación para dispositivos móviles Android, conectarse vía bluetooth con el prototipo para la visualización de los sensores y parámetros establecidos anteriormente, al igual que el control remoto de la luminaria led instalada en el prototipo.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo describe la forma en que fue diseñado e implementado el prototipo electrónico de máquina isotónica autosustentada con energía eléctrica de humano-propulsión. La estructura de este trabajo es la siguiente:

En el Capítulo 1 se realiza un resumen de los antecedentes históricos de los ejercicios y ejercitadores isotónicos, además un resumen de la generación de energía a pequeña escala proveniente de fuentes de energía renovables, se menciona proyectos similares.

En el Capítulo 2 se detalla el diseño mecánico y electrónico del prototipo, donde se establece las características del generador, almacenamiento y distribución de la energía, se presenta los fundamentos básicos de los sensores y dispositivos utilizados en el prototipo, también se realiza el acondicionamiento de los diferentes tipo de señales que integran el prototipo.

En el Capítulo 3 se detalla el desarrollo del software y hardware del trabajo, se presenta la programación realizada en el microcontrolador y la programación realizada en la aplicación para dispositivos móviles en el sistema operativo Android. Se presenta el diseño y realización de las placas electrónicas para el funcionamiento del prototipo.

En el Capítulo 4 se presenta las pruebas que corroboran el funcionamiento del prototipo después de la implementación física de todos los elementos que conforman el proyecto.

En el Capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones referentes al diseño, construcción y pruebas efectuadas del prototipo.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de generación de energía eléctrica alternativa o renovables a pequeña escala son actualmente las fuentes de energía que se desarrollan y se utilizan en sectores rurales del país o en lugares donde el sistema convencional es deficiente [1]. Las energías alternativas son consideradas como energías limpias que aportan un beneficio para el planeta, ya que reducen las emisiones de dióxido de carbono, gas causante del efecto invernadero [2].

Entre las fuentes de energía limpia no frecuentemente utilizada es el gasto energético de los seres humanos, la cual se obtiene mediante el metabolismo de los alimentos consumidos, esta energía se puede trasladar a un sistema mecánico de generación, para obtener energía eléctrica.

La generación de energía eléctrica renovable a pequeña escala presentada en este proyecto basa su estructura en una bicicleta convencional reciclada, la cual se modifica para crear un prototipo, el cual basa su funcionamiento en el movimiento isotónico de las extremidades inferiores de una persona, esta energía cinética aplicada en el pedal del prototipo se traslada a un eje donde la energía se almacena en dos volantes de inercia para almacenar la energía cinética de una forma más uniforme.

Posteriormente con la ayuda de un alternador se transforma la energía cinética en energía eléctrica por la naturaleza del alternador, la energía senoidal trifásica que se obtiene necesita rectificación y posteriormente se almacena en una batería, donde se almacenará la energía producida, esta energía acumulada sirve para satisfacer la potencia requerida por los periféricos del prototipo y para su propio sustento energético. La energía eléctrica será distribuida a todos los elementos electrónicos del prototipo por convertidores DC-DC.

Para mayor control de la actividad física realizada por el usuario del prototipo, este cuenta con un sensor de frecuencia cardiaca y un sensor de revoluciones, que

mediante una aplicación para dispositivos móviles con sistema operativo Android, puede monitorizar su frecuencia cardíaca, distancia recorrida, velocidad, rpm, tiempo de duración, el voltaje en el banco de baterías y controlar de manera remota las luces de lectura y emergencia del prototipo.

Antes de iniciar el diseño es necesario conocer algunos conceptos básicos de las energías renovables, máquinas utilizadas para realizar los ejercicios isotónicos, además del funcionamiento de los generadores de energía eléctrica de humano propulsión, así como los componentes que se utilizarán para cumplir con el objetivo de este proyecto.

1.2 ENERGÍAS RENOVABLES

Según la disponibilidad de la energía, esta se puede clasificar en renovables y no renovables. Las energías renovables son aquellas cuyo potencial es inagotable, provienen de una fuente continua, un claro ejemplo es la radiación solar que incide en el planeta. También se considera energía renovable la energía hidráulica proveniente de ríos, eólica, biomasa, geotérmica y marinas. Por el contrario las no renovables son aquellas que su existencia se encuentra en cantidades limitadas, no se renuevan en corto plazo y su utilización agota su existencia [2].

1.3 ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES DE BAJA POTENCIA

Existen fuentes de energías renovables no convencionales de baja potencia, utilizada en comunidades rurales, mejorando la calidad de vida de los pobladores. Las energías renovables no convencionales se caracterizan por ser utilizadas en comunidades rurales y domicilios que requieran de este tipo de generación eléctrica, su generación va desde los 0 W hasta 10 KW, ocupan el recurso que más dispongan en su entorno, su impacto ambiental es reducido, al igual que los costos de instalación. A continuación se muestran las principales formas de obtención de energía no convencional de baja potencia [2].

1.3.1 ENERGÍA EÓLICA

Se las utiliza a pequeña escala en zonas rurales aisladas, se utilizan aerogeneradores para producir energía eléctrica, su recurso es el viento regularmente constante, se encuentran complementados con sistemas que ocupan combustibles fósiles o que ocupan energía solar, dando paso a sistemas de generación híbridas [3].

1.3.2 ENERGÍA HIDRÁULICA

Tienen un reducido impacto ambiental, son instaladas micro centrales eléctricas en ríos o similares de comunidades rurales, se aprovecha la energía cinética que provoca la caída del agua [3].

1.3.3 ENERGÍA DE BIOMASA

Son utilizadas en sistemas de calefacción residencial, se aprovechan residuos de otros procesos como combustible para generar vapor, mover turbinas y generar energía eléctrica. Su utilización depende de la disponibilidad de la materia prima a ser combustionada [3].

1.3.4 ENERGÍA SOLAR

La energía solar puede ser utilizada de dos maneras, energía solar térmica y energía solar fotovoltaica.

La primera tiene como función principal aprovechar el sol para la cocción de alimentos o de calefacción en sistemas de tuberías de agua, se las utiliza de forma residencial en sectores rurales y en pequeña medida en el sector urbano [3].

La energía solar fotovoltaica, genera energía eléctrica de la captación de radiación solar en paneles solares fotovoltaicos, es perfecta para alimentar aplicaciones específicas aisladas y puede llegar a abastecer viviendas completas en lugares donde no existe la energía eléctrica convencional [3].

1.3.5 ENERGÍA DE HUMANO PROPULSIÓN

Es la energía impulsada por la fuerza mecánica de los seres humanos, esta fuerza proviene del aprovechamiento metabólico de los alimentos que un ser humano

consume, los alimentos ya sean de origen vegetal o animal, son aprovechados metabólicamente para mover músculos y articulaciones.

La fuerza, que este caso proporciona el ser humano se mide en kilocalorías (1 kcal = 1000 calorías) es aprovechada por sistemas mecánicos para generar energía eléctrica, una dieta balanceada normal en una persona puede variar entre 1000 kcal/día hasta 4000 kcal/día.

La potencia media energética humana, con alimentación adecuada, está alrededor de los 150 W. Un aficionado al ciclismo puede dar fácilmente unas 90 pedaleadas por minuto, restando la energía consumida por las extremidades, se puede transferir aproximadamente 50 W [4].

Esta energía es utilizada en sectores rurales donde no existe la energía eléctrica convencional y en el sector urbano como medida de emergencia, aprovechando el potencial humano y creando una concientización sobre los recursos renovables [4].

1.4 CUERPO HUMANO COMO GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Al cuerpo humano se lo puede considerar una máquina compleja, su estudio sigue en fase de desarrollo y exploración. Al igual que otras máquinas el cuerpo humano no es eficiente al 100 %, la inmensa energía obtenida de los alimentos es transformada en energía térmica, necesaria para mantenernos vivos y en funcionamiento. Alrededor de un 20-25% es la energía que se puede aprovechar para aplicar una fuerza en un sistema mecánico de generación eléctrica [5].

Para permitir la realización de actividades físicas por parte del cuerpo humano, este emplea tres sistemas metabólicos distintos pero interrelacionados.

El sistema anaeróbico aláctico o de fosfocreatina (produce contracciones musculares sin necesidad de oxígeno), la glucólisis anaeróbica (utiliza la glucosa para alimentar las células en ausencia de oxígeno) y el metabolismo o sistema aeróbico (con el uso de oxígeno, se utilizan las reservas de hidratos de carbono, grasas y proteínas, para producir energía) [5].

1.4.1 EJERCICIOS ISOTÓNICOS DEL CUERPO HUMANO

Utilizando la clasificación del ejercicio físico según el tipo de contracción muscular se tiene:

1.4.1.1 Ejercicio estático

Es un ejercicio también llamado isométricos, en este tipo de ejercicio muscular predomina la energía anaerobia (combustión muscular intensa, en ausencia de oxígeno), en periodos cortos de tiempo que provocan serios cambios funcionales en el cuerpo [6].

1.4.1.2 Ejercicio isotónico

Llamados también como ejercicios dinámicos, los cuales obliga al músculo a alargarse, realizando un rango de movimiento desplazando un peso estático, aumentando la tensión en el músculo, como pueden ser pesas, barras o aparatos en los que se mueva la articulación venciendo un peso.

La mayoría de las personas realizan ejercicio isotónico sin darse cuenta del término para el movimiento. Los deportistas profesionales y aficionados los realizan para aumentar la masa y la fuerza muscular en general. Además aumenta la frecuencia cardiaca y la producción de oxígeno, así ayudando a fortalecer al corazón [6].

Hay dos tipos principales de ejercicios isotónicos: concéntricos y excéntricos. En el ejercicio concéntrico, el músculo se acorta en respuesta a la mayor resistencia, genera tensión, como cuando se realiza un levantamiento de pesas. En los excéntricos, el músculo experimenta el mismo nivel de resistencia a lo largo de todo el movimiento, forzando el alargamiento de las fibras musculares [6].

Uno de los mejores ejercicios isotónicos es el movimiento de las extremidades inferiores como es correr, saltar y andar en bicicleta.

1.4.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LAS MÁQUINAS DE EJERCICIO ISOTÓNICO

Desde la antigüedad, el hombre, ha realizado actividades físicas para subsistir entre estos cazar, recorrer grandes distancias y construir. En sociedades antiguas la

energía física era aprovechada para edificar como ejemplo en el antiguo Egipto, Roma, en Sudamérica, los Incas.

Al paso de los años, con la revolución industrial del siglo XVIII, el gasto físico de las personas se vio reemplazado por las máquinas a vapor y diferentes mecanismos que ayudaron a facilitar el desarrollo de las sociedades.

También se sistematizaron diversas situaciones de aquella época como la actividad física del ser humano, inventándose mecanismos de recreación y salud física. En 1796 Francis Lownes inventó unas de las primeras máquinas de ejercicio, como se muestra en la Figura 1.1 [7].

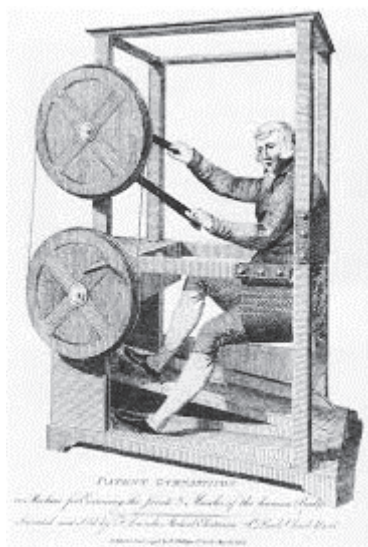


Figura 1.1. Gymnasticon en acción, 1798 [7].

En el año de 1876 el científico sueco Gustav Zander, presenta un sistema de entrenamientos con máquinas. Las máquinas de ejercicio al igual que los programas de ejercicios ganaban más terreno, incluso en el famoso trasatlántico Titanic tenía un gimnasio con las máquinas más modernas de la época.

Se puede atribuir a Arthur Jones, fundador de la compañía Nautilus, como el primer fabricante de las máquinas de ejercicio modernas, alrededor de 1960 presento la Blue Monster, que permitía realizar ejercicios generales para todo el cuerpo [8].

Con el pasar del tiempo se perfeccionaron las máquinas ejercitadoras, realizando un ejercicio optimizado en la zona del cuerpo que ejercita la máquina.

Otro sistema de movimiento isotónico que se involucra en la ejecución de este proyecto es la invención de la bicicleta, atribuida al barón Karl Drais en 1817,

inventor alemán. Donde la población acomodada de aquellas épocas encontró los beneficios en su salud así como la satisfacción psicológica de agregar actividades físicas en la vida cotidiana [9].

La primera bicicleta a pedales se la atribuye al escocés Kirkpatrick Macmillan, en el año de 1839. Alrededor de 1890 se crean aditamentos como las llantas de caucho, todas estas invenciones no han sufrido variaciones significativas a partir de su invención [9].

Una de las variaciones de la bicicleta y que se utiliza en los gimnasios actuales es la bicicleta estática que es una máquina de ejercicio isotónico de las extremidades inferiores del cuerpo del ser humano, como se muestra en la Figura 1.2.



Figura 1.2. Bicicleta estática actual [10].

1.4.3 BENEFICIOS DEL EJERCICIO ISOTÓNICO A LA SALUD HUMANA

La actividad física del ser humano ayuda a mejorar su calidad de vida, tener un estado físico en buenas condiciones, prevenir enfermedades o condiciones degenerativas a varias partes del organismo, con el ejercicio se puede prevenir la obesidad, el sobrepeso, la diabetes, la hipertensión, problemas cardiovasculares como cardiopatía y los accidentes cerebrovasculares, los trastornos del aparato locomotor como la osteoartritis y algunos tipos de cáncer que van ligados a un estado de salud deteriorado como cáncer al hígado, vesícula, riñones y colon [11].

La inactividad física constituye el cuarto factor de riesgo más importante de mortalidad en todo el mundo (6% de defunciones a nivel mundial). Sólo la superan la hipertensión (13%), el consumo de tabaco (9%) y el exceso de glucosa en la sangre (6%). El sobrepeso y la obesidad representan un 5% de la mortalidad mundial [11].

Los ejercicios que se deben realizar para mejorar la condición física y obtener beneficios para la salud, deben contemplar factores como la tolerancia cardiorrespiratoria, composición corporal, flexibilidad, fuerza y tolerancia muscular. Otro factor que mejora la salud de la persona es el psicológico, dado que realizar alguna actividad física mejora la concentración, libera hormonas en todo el cuerpo brindando bienestar a una persona, mejora el desempeño y felicidad.

1.4.4 PRESENTACIÓN DE PROYECTOS SIMILARES QUE UTILIZAN ENERGÍA DE HUMANO PROPULSIÓN

1.4.4.1 Expo Astana 2017: Energía del futuro

La exposición internacional Astana 2017, realizada en Kazajistán, con duración de 3 meses a partir del 10 de junio hasta el 10 de Septiembre, tiene como objetivo que los 112 países expositores, presenten ideas para afrontar la necesidad de generación de energía eléctrica amigable con el medio ambiente, los países de Kazajistán, Alemania y Austria, mostraron más interés en la generación de humano propulsión presentando juegos interactivos con baldosas piezoeléctricas y generación comunitaria a base del pedaleo en bicicletas estáticas, como se muestra en la Figura 1.3.



Figura 1.3. Visitantes montando bici-generadoras de electricidad, pabellón Austria, Expo Astana 2017 [12].

1.4.4.2 Vehículo terrestre de propulsión humana

Eta, es un vehículo terrestre que alcanza los 142 km/h, es una bicicleta reclinada, elaborada con materiales livianos y con un diseño que permite alcanzar altas velocidades. Fabricada por la compañía Aerovelo, en el año 2015 [13].

1.4.4.3 Vehículo aéreo de propulsión humana (HPA Human-powered aircraft)

Mediante pedales y bielas, este vehículo aéreo con la ayuda de la energía de una persona es capaz de despegar del suelo y desplazarse considerables distancias [14].

1.4.4.4 Generador triboeléctrico

Este generador permite convertir todos los movimientos de una persona en electricidad, a través de la electrificación por frotamiento, son compactos, y se los puede colocar en diversas partes del cuerpo para aprovechar su movimiento [15].

1.4.4.5 Energy Floor

Es la energía eléctrica creada a partir de las pisadas de las personas, son baldosas que reemplazan a las baldosas convencionales, las cuales mediante un efecto piezoresistivo, generan energía eléctrica; existen varios sistemas de este tipo y se los coloca en espacios de gran concurrencia como centros comerciales, plazas, centro educativos [16].

1.4.4.6 Cicloergómetro

Es una máquina que permite realizar ejercicios con extremidades superiores e inferiores, específicos para personas con problemas musculares, lesiones, prótesis, se utiliza para rehabilitación o ejercicio moderado, mide el trabajo realizado y la producción de potencia [17].

1.4.4.7 Free Electric

Es una bicicleta híbrida, donde la persona pedalea, un gran disco situado al costado almacena energía cinética, este disco a su vez genera energía eléctrica a través de un generador conectado a ella, como se muestra en la Figura 1.4. Su creador es Manoj Bhargava, multimillonario hindú preocupado por energías alternativas limpias [18].



Figura 1.4. Free Electric en acción 2015 [18].

1.5 COMPONENTES BÁSICOS DE UN SISTEMA GENERADOR DE HUMANO PROPULSIÓN

Un sistema generador de energía eléctrica de humano propulsión, está compuesto por los siguientes componentes:

- Fuerza mecánica, en este caso el ser humano, a través del su gasto energético proporciona la energía necesaria para el funcionamiento del sistema.
- Sistema mecánico encargado de recibir la fuerza de la persona, de ser necesario, multiplica la fuerza a la conveniencia del sistema.
- Generador de energía, convierte energía eléctrica a partir de la energía cinética (movimiento) proveniente del sistema mecánico.
- Regulador de carga, controlando el estado de carga de las baterías, asegurando el voltaje y la corriente necesarios para la carga.
- Unidad de almacenamiento, de manera general se utilizan baterías, para almacenar la energía eléctrica generada.
- Acondicionamiento de energía, se utilizan convertidores DC-DC para cargas DC e inversores para cargas que requieren AC.
- Cargas DC o cargas AC, según sea el caso.

En la Figura 1.5 se muestra los componentes de un sistema de generación de humano propulsión.

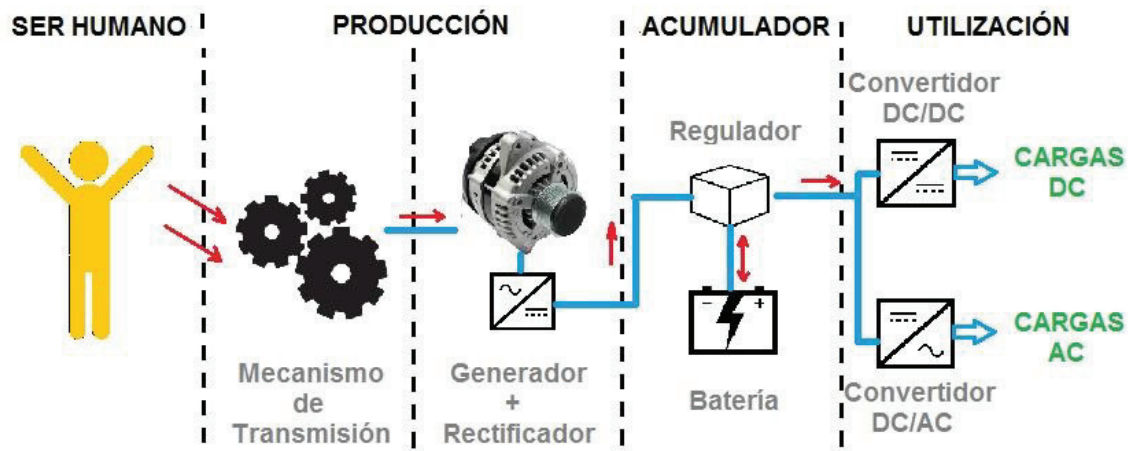


Figura 1.5. Componentes básicos de un sistema de generación de humano propulsión.

1.6 EL ALTERNADOR

El alternador es una máquina eléctrica, permite transformar la energía mecánica en energía eléctrica, generan corriente alterna bajo el principio de inducción electromagnética.

Su funcionamiento se basa en un conductor es sometido a un campo magnético variable, el cual produce tensión eléctrica, la polaridad depende del sentido del campo y el valor del flujo al que está sometido.

El alternador se encuentra cambiando constantemente de polaridad debido a su movimiento giratorio. Para la utilización del alternador como generador de energía, lo habitual es la utilización de alternadores trifásicos.

1.6.1 PARTES DEL ALTERNADOR

Las partes eléctricas que constituyen al alternador son inductor, inducido y diodos de rectificación, como se muestra en la Figura 1.6, por definición:

- Inductor, es el rotor, la parte giratoria del alternador, donde se conecta la fuerza mecánica para hacer girar al rotor, crea un campo magnético.
- Inducido o estator, contiene de forma alternada pares de polos. El campo magnético generado por el rotor que atraviesa los polos del estator genera en el estator una corriente alterna que se presenta en los terminales de los bobinados de los polos [19].

- Diodos de rectificación, algunos alternadores vienen integrados un sistema de rectificación, donde a su salida se obtiene una señal DC.

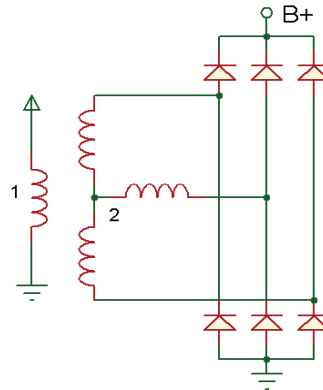


Figura 1.6. Esquema básico de un alternador, 1 Bobinado del inductor o rotor, 2 Bobinado inducido o estator, 3 Puente rectificador de diodos.

1.7 BATERÍA ELÉCTRICA

La batería o acumulador de energía, consta de una o más celdas electroquímicas, es capaz de generar energía eléctrica a partir de reacciones químicas. Las celdas tienen polaridad, el positivo o cátodo y el negativo o ánodo, cuando se conecta una carga en sus bornes los iones circulan entre electrodos, creando una corriente [20].

1.7.1 TIPOS DE BATERÍA

Las baterías según su utilización se las puede clasificar en dos tipos, baterías primarias y baterías secundarias:

Batería primaria, no es recargable, es pequeña con un valor menor que las secundarias.

Batería secundaria; son recargables gracias a reacciones electroquímicas, básicamente están compuestas por un ánodo, cátodo y un electrolito. Por su composición química de sus celdas se pueden tener algunas baterías utilizadas usualmente, como son: Baterías de ácido-plomo, níquel-cadmio, de iones de litio, entre otras.

1.7.1.1 Batería de ácido-plomo

Son las baterías más utilizadas por su desempeño y valor comercial más bajo, su cátodo es de plomo, el ánodo de dióxido de plomo y el electrolito es una solución ácida (ácido sulfúrico). En los vehículos convencionales se las utiliza en el arranque ya que entrega grandes corriente en pequeños periodos de tiempo.

1.7.1.2 Batería de níquel-cadmio

Se las utiliza en ambientes de altas temperaturas, tiene su cátodo de hidróxido de níquel, el ánodo de cadmio y el electrólito de hidróxido de potasio.

1.7.1.3 Batería de iones de litio

También llamadas baterías de Lit-Ion, ideales para descargas profundas, mayormente utilizadas en los celulares actuales, tiene su cátodo de óxido de cobalto, en su ánodo grafito y su electrolito son iones de litio.

A continuación se muestra en la Tabla 1.1 la comparativa entre los tipos de baterías.

Tabla 1.1. Comparación de características de las baterías.

Batería	Ácido-plomo	Níquel-cadmio	Iones de litio
Voltaje por cada celda	2 V	1.2 V	3.5 V
Potencia/peso	30 Wh/Kg	50 Wh/Kg	110 Wh/Kg
Recargas aproximadas soportadas	1000	500	4000
Tiempo de recarga	8-15 h	11-15 h	2-5 h
Nivel de mantenimiento	Bajo	Bajo	Medio
Costo	Bajo	Bajo	Alto

Para el presente proyecto, teniendo en consideración los aspectos presentados y la utilización de un alternador automotriz, se procede a la selección de una batería automotriz de ácido-plomo por las siguientes razones:

- Nivel de mantenimiento bajo.
- Su costo es bajo.
- Soporta corrientes altas.
- Soporta un flujo bidireccional de corriente.

1.7.2 MÉTODO DE CARGA

1.7.2.1 Recargas lentas

Es el método más recomendado para cargar completamente una batería. Su principio de operación es entregar cantidades pequeñas de energía, con ello se evita el sobrecalentamiento en la batería y se asegura que el electrolito se encuentre en el nivel adecuado y en plena capacidad de recargar la batería [21].

El tiempo aproximado para cargar la batería, depende de energía suministrada (la corriente) y el grado de descarga a la que esté sometida la batería.

Idealmente la carga de la batería se la debe realizar con el 5% de la capacidad nominal (Ah), es decir para una batería de 80 Ah, la corriente ideal de carga es de 4 A, esta corriente debe ser suministrada constantemente durante el tiempo de carga, dependiendo de las especificaciones de la batería y su vida útil [21].

1.7.2.2 Recargas rápidas

Las recargas rápidas se las utiliza en situaciones de emergencia, su carga no es completa, se produce una carga superficial, dado que el incremento de la temperatura interna origina un transitorio de activación energética. Este tipo de recargas deteriora y acorta la vida útil, ya que la corriente elevada, el aumento de temperatura deteriora las placas internas al igual que su electrolito. Se recomienda realizar esta carga con máximo 10% de la capacidad nominal, por ejemplo en el caso de una batería de 80 Ah, la corriente máxima recomendada es de 8 A [21].

1.8 LUMINARIA LED

El led (diodo emisor de luz), es un elemento muy utilizado en iluminación tanto en pequeños dispositivos como en grandes aplicaciones como alumbrado público, también son utilizados en tecnologías de comunicaciones y control.

Existen varios tipos de led, entre ellos se tiene:

- Led tradicional, consta de un diodo dentro de una carcasa de plástico duro.
- Led SMD, se ensambla de manera superficial, encapsulado de resina semi-rígida.

- Led COB, se incluyen varios leds en un mismo encapsulado, emite mayor intensidad lumínica que los anteriores.

1.8.1 VENTAJAS DE LUMINARIAS LED

Las ventajas de la luminaria led en un sistema son:

- Bajo consumo de energía, ahorro energético.
- Mayor eficiencia y tiempo de vida útil.
- Son de tamaño reducido y resistente a vibraciones.
- Tiempo de encendido corto.
- La emanación de calor es reducida, al igual que la creación de campo magnético.
- No contiene elementos nocivos para la salud.
- No requieren mantenimiento.

1.9 CONVERTIDORES DC-DC

Los convertidores DC-DC tienen como función convertir un voltaje DC de entrada en otro voltaje DC de menor o mayor valor en el nivel de voltaje deseado, permiten un manejo de la potencia con una alta eficiencia [22]. En el actual proyecto, se utilizará los convertidores DC-DC reductores.

1.9.1 CONVERTIDOR BUCK (REDUCTOR)

El convertidor Buck proporciona a su salida un voltaje medio de salida más bajo que el voltaje DC de entrada. Se los utiliza en fuentes de energía DC regulada y control de velocidad de motores DC, su esquema se presenta en la Figura 1.7 [22].

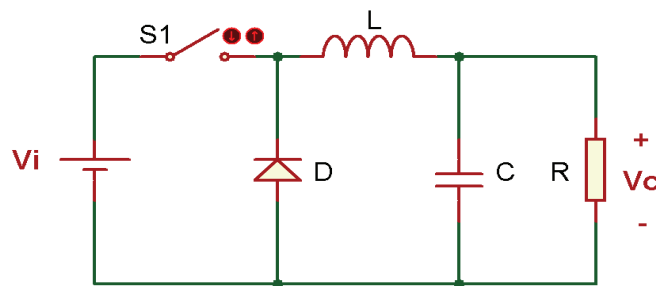


Figura 1.7. Esquema básico de un convertidor Buck [22].

El convertidor tiene 2 modos de funcionamiento, que dependen de la corriente que cae en el inductor, si la corriente es mayor a cero, durante el periodo de conmutación, el convertidor está en modo de conducción continua, y si la corriente es cero durante la conmutación el convertidor se encuentra en modo de conducción discontinua [22].

1.9.1.1 Modo de conducción continuo

El convertidor asume dos estados, cuando S1 está cerrado, la energía se almacena en el capacitor C, el diodo D no conduce, como se muestra en la Figura 1.9. Cuando S1 está abierto, el diodo conduce y la carga se alimenta por el condensador, como se muestra en la Figura 1.10. El condensador es grande de forma que V_o prácticamente no tiene rizado, las formas de onda principales se muestra en la Figura 1.8 [22].

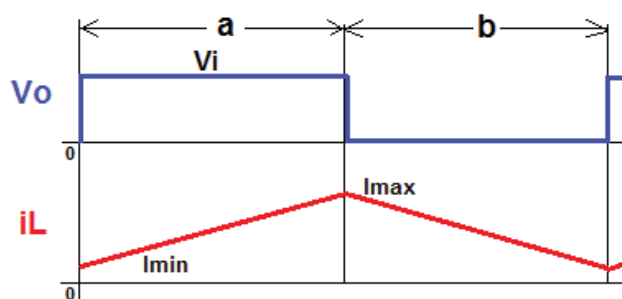


Figura 1.8. Formas de onda del convertidor Buck, conducción continua [22].

Las ecuaciones que surgen a partir de los estados son:

Para: $0. \leq t \leq a$

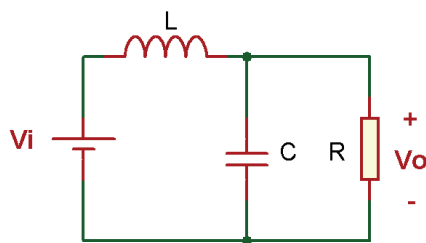


Figura 1.9. Formas de onda del convertidor Buck, conducción continua, S1 cerrado [22].

$$\Delta I = \frac{\Delta V}{L} * \Delta t \quad (1.1)$$

$$I_{max} - I_{min} = \frac{V_i - V_o}{L} * \delta * T$$

Para: $0 \leq t \leq b$

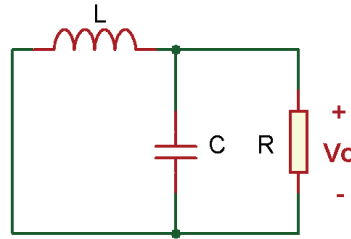


Figura 1.10. Formas de onda del convertidor Buck, conducción continua, S1 abierto [22].

$$\Delta I = \frac{\Delta V}{L} * \Delta t$$

$$I_{max} - I_{min} = -\frac{V}{L} * (1 - \delta) * T$$

$$L = \frac{V_i - V_o}{\Delta I} * \delta * T \quad (1.2)$$

El capacitor de salida depende de la corriente de rizado y la variación de voltaje:

$$V_C = \frac{1}{C} \int i * dt$$

$$\Delta V = \frac{1}{4 * f * C} (I_{max} - \frac{I_o}{R})$$

$$C > \frac{(1-\delta)*V_o}{8*L*f^2*\Delta V} \quad (1.3)$$

Voltaje DC en la carga es cero, $V_{LDC} = 0$

$$V_{LDC} = 0 = \frac{1}{T} * \left[\int_0^a (V_i - V_o) * \delta T + \int_0^b (-V_o) * \delta t \right]$$

$$(V_i - V_o) * \delta - V_o * (1 - \delta) = 0$$

$$V_i * \delta - V_o * \delta - V_o + V_o * \delta = 0$$

$$V_o = V_i * \delta \quad (1.4)$$

1.9.1.2 Modo de conducción discontinuo

En este modo de conducción se tienen tres estados, cuando S1 está activado y el diodo D no conduce, cuando S1 se desactiva y el diodo D conduce y el otro estado cuando S1 se desactiva al igual que el diodo D. El último estado se debe a que el inductor tiene el tiempo suficiente para descargar la energía acumulada, reflejada en la forma de onda del voltaje de salida, como se muestra en la Figura 1.11 [22].

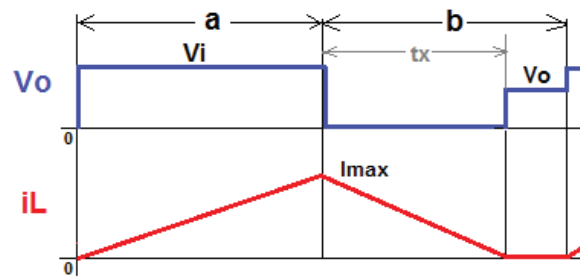


Figura 1.11. Formas de onda de un convertidor Buck, conducción discontinua [22].

Voltaje DC en la carga es cero, $V_{LDC} = 0$

$$V_{LDC} = 0 = \frac{1}{T} * \left[\int_0^a (V_i - V_o) * \delta T + \int_0^{tx} (-V_o) * \delta t \right]$$

$$(V_i - V_o) * \delta T - V_o * (tx) = 0$$

$$V_o * tx = (V_i - V_o) * a$$

$$tx = \frac{V_i - V_o}{V_o} * a \quad (1.5)$$

CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

En este capítulo se describe el diseño de cada uno de los componentes, mecánicos y electrónicos, que conforma el prototipo de máquina isotónica para su funcionamiento. En primer lugar se realizará el diseño de la estructura del prototipo, para seguir con el diseño de generación de energía eléctrica, de almacenamiento y distribución de la energía y la adquisición de los valores provenientes de los sensores.

El diseño del prototipo, de manera general debe asegurar que el sistema trabaje de una forma práctica y sencilla, donde el usuario se concentre en disfrutar del ejercicio y los beneficios que obtiene al generar energía eléctrica.

2.1 DISEÑO MECÁNICO

El sistema mecánico del prototipo contempla, la transformación de una bicicleta convencional a un sistema de pedaleo para la conversión de energía, para ello se diseña la estructura del prototipo, el acople del alternador al sistema de pedaleo, tratando de conseguir que el sistema en general sea funcional, ligero y no presente problemas en su operatividad.

2.1.1 BICICLETA CONVENCIONAL

La bicicleta convencional es activada por el esfuerzo muscular de las piernas de la persona que esta sobre ella. Sus componentes básicos son las dos ruedas, un asiento, un cuadro que es la estructura que integra a los otros componentes, un volante con el cual se da dirección a la bicicleta y un sistema de transmisión de pedales, que consta de un disco dentado donde la persona ejerce presión llamada catalina o plato, que es la rueda conductora, un piñón o cassette que consta de varios discos dentados de diferente diámetro que son las ruedas conducidas y una cadena la cual une a la catalina y el piñón.

La bicicleta que se utiliza en el prototipo se muestra en la Figura 2.1 y tiene las siguientes características:

- Marca: Standar bycycle.
- Año de fabricación: 1980
- Cuadro: Forma diamante de acero, talla M
- Aros: Acero de 26 pulgadas.



Figura 2.1. Bicicleta convencional utilizada y sus partes.

2.1.2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO

El diseño de la estructura del prototipo, debe contemplar, la máxima utilización de los elementos de la estructura de la bicicleta convencional, al igual que ofrecer comodidad al usuario.

Consideraciones a tomar:

- Comodidad del usuario
- Altura del prototipo
- Facilidad de pedaleo
- Transformación de energía
- Revoluciones por minuto necesarias
- Diseño Final

2.1.2.1 Comodidad del usuario

La persona o usuario que utilice el prototipo debe tener un confort al momento de pedalear para generar energía eléctrica, la forma más apropiada es en la que el usuario se encuentre sentado con la espalda apoyada en un espaldar de una silla, tal y como la presentan algunas de las bicicletas de ejercicios que se presentan en

el mercado. Debido a la diferente estatura de cada persona, la longitud de las piernas también presenta esa diferencia, por lo tanto la silla debe ser regulable para cada usuario para su mayor comodidad.

2.1.2.2 Altura del prototipo

Debido a que el usuario se encontrará sentado en el prototipo, es apropiado que la altura de la silla se aproxime a la altura de una silla común, para que se de fácil acceso al subirse y al momento de bajarse del prototipo, de igual manera si desea descansar del ejercicio puede apoyar los pies en el piso.

2.1.2.3 Facilidad de pedaleo

A medida que una persona sentada levanta sus piernas encuentra mayor comodidad, entonces el plato, también llamado catalina o rueda conductora que recibe la energía proveniente de los músculos de las piernas debe situarse a una altura similar a la altura de la silla. La rueda conducida, en este caso el piñón debe colocarse a la misma altura que la rueda conductora y prever que la cadena no tope en la silla o parte de la estructura.

Para ayudar al pedaleo se adecua las ruedas de la bicicleta convencional a manera de volantes de inercia para almacenar la energía proveniente del usuario y convertir esa energía en energía cinética, las ruedas almacenarán energía en los volantes de inercia, que posteriormente ayudarán también a la generación de energía eléctrica, dado que la energía cinética almacenada en el volante de inercia se reflejará en el eje del alternador.

2.1.2.4 Transformación de energía

La cantidad de revoluciones generadas es muy importante en el alternador, dado que la generación de energía de un alternador se origina a partir de velocidades mayores a 700 rpm (revoluciones por minuto), entonces el usuario en conjunto con el prototipo deben cumplir al menos las mínimas revoluciones necesarias para que se genere la energía necesaria en el alternador y a su vez poder cargar las baterías que alimentaran al sistema y sus periféricos.

En este caso como primera transformación de energía, se tiene el gasto energético proveniente de la fuerza del usuario que se refleja en los pedales, como se muestra en la Figura 2.2.

La potencia mecánica aplicada a un objeto, en este caso los pedales, viene dado por la multiplicación de la fuerza aplicada (F) por la velocidad (v), se mide en vatios (W) y viene dado por [23]:

$$P(t) = F_T \cdot v \quad (2.1)$$

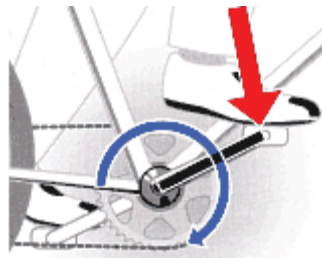


Figura 2.2. Potencia mecánica aplicada al pedal de una bicicleta.

F_T es el momento de fuerza o torque que ejerce el peso del usuario en el pedal, y la velocidad se considera las revoluciones que puede dar en un minuto (rpm). El peso viene dado por [23]:

$$P = m * g \quad (2.2)$$

El torque mide la capacidad que tiene una fuerza para alterar la velocidad de giro de un cuerpo, se obtiene de la siguiente ecuación [23]:

$$T = F * r * \text{sen}\alpha \quad (2.3)$$

Donde:

- T es el módulo del momento de la fuerza F .
- F es el módulo de la fuerza aplicada, en este caso el peso aplicado al pedal.
- r es el módulo del vector posición, que une el eje de la rueda conductora y el punto donde se aplica la fuerza.
- α es el ángulo formados por los vectores \vec{F} y \vec{r} .

El caso más crítico se da cuando alfa es igual a 90° , entonces el torque es igual a:

$$T = P * r \quad (2.4)$$

La segunda transmisión de energía se realiza mediante discos dentados. El número de revoluciones que se producen en los pedales aumentarán o disminuirán dependiendo de la relación de transmisión que tenga el sistema, la relación de cada disco está dada por [23]:

$$N_1 * Z_1 = N_2 * Z_2 \quad (2.5)$$

Donde:

- N_1 son las revoluciones del disco conductor (catalina) impulsada por el pedal.
- Z_1 es el número de dientes del disco conductor.
- N_2 son las revoluciones del disco conducido (piñón) impulsada por el disco conductor.
- Z_2 es el número de dientes del disco conducido.

El mismo número de revoluciones del disco conducido se verá reflejado en el volante de inercia, dado que comparten el mismo eje. El volante de inercia almacenará energía cinética facilitando el pedaleo.

La tercera transmisión de energía, que comprende la transmisión de energía del volante de inercia al eje del alternador, para este paso se puede acoplar el sistema de las siguientes formas [23]:

- Sistema de transmisión con discos dentados y cadena
- Sistema de transmisión por fricción de discos.
- Sistema de transmisión por poleas y banda.

La opción más viable es la opción por poleas unidas por una banda, dado que las llantas de la bicicleta reciclada se encuentran acanaladas y simulan ser una polea, además se obtienen otras ventajas como:

- Alta relación de velocidad.
- Choques amortiguados.
- Menor ruido
- Bajo costo de mantenimiento.

El número de revoluciones transmitidas por el volante de inercia (polea conductora) hacia la polea conducida que se encuentra en el eje del alternador se determina por la siguiente ecuación [23]:

$$N_1 * \phi_1 = N_2 * \phi_2 \quad (2.6)$$

Donde:

- N_1 son las revoluciones de la polea conductora (rueda).
- ϕ_1 es el diámetro de la rueda (volante de inercia).
- N_2 son las revoluciones de la polea conducida impulsada por la rueda.
- ϕ_2 es el diámetro de la polea en el alternador.

En los sistemas de poleas unidas mediante poleas, se alcanza un rendimiento aproximado del 98%, siempre y cuando el arco de cobertura sea de 180°. Cuando el arco de contacto va disminuyendo se tiene un factor de corrección al cual se debe multiplicar por el valor obtenido, el factor es mostrado en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Factor de corrección en poleas [23].

Arco de contacto	Factor
170°	0.96
160°	0.94
150°	0.92
140°	0.89
130°	0.86
120°	0.83

La última conversión de energía está determinada por la conversión rotacional o cinética a energía eléctrica que se da dentro del alternador. La potencia eléctrica generada está determinada por la siguiente ecuación [23]:

$$P(t) = V(t) * i(t) \quad (2.7)$$

Donde:

- $P(t)$ es la potencia eléctrica instantánea.
- $V(t)$ es el voltaje que genera el alternador.
- $i(t)$ es la corriente que genera el alternador.

El sistema de transmisión de energía final se muestra en la Figura 2.3.

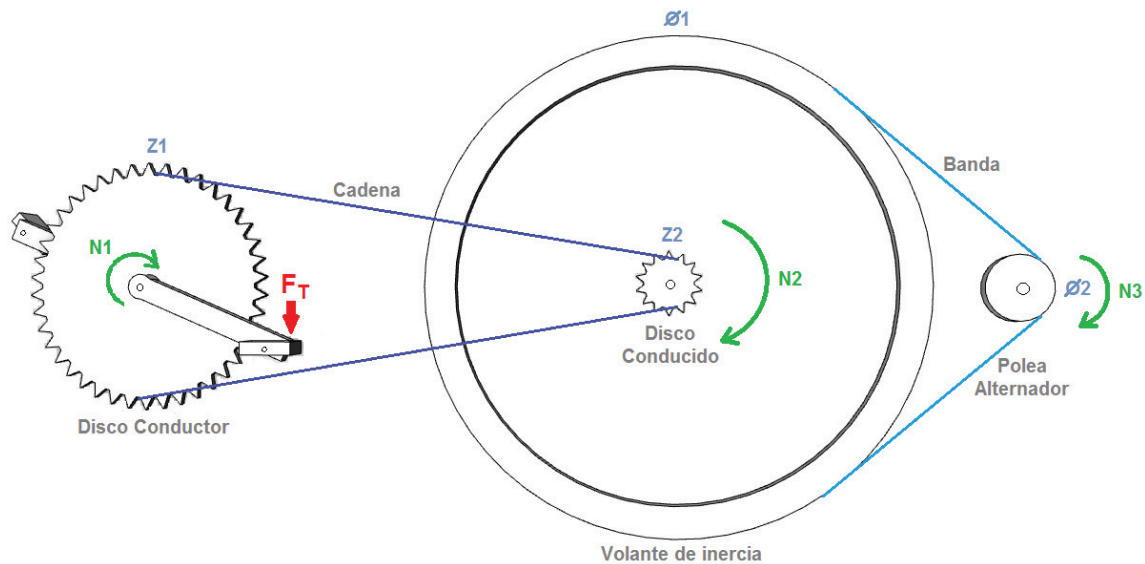


Figura 2.3. Sistema de transmisión de energía del prototipo.

2.1.2.5 Revoluciones por minuto necesarias

El alternador necesita un mínimo de 700 revoluciones en su eje para poder generar energía eléctrica, con los elementos de la bicicleta convencional adaptados a la estructura se puede obtener datos teóricos aproximados.

De la ecuación (2.2), donde m es aproximadamente 20 Kg, el peso del impulso de un ciclista promedio y g es igual 9.81 m/s, entonces se tiene:

$$P = m * g$$

$$P = 20 \text{ Kg} * 9.8 \text{ m/s}$$

$$P = 196 \text{ N}$$

El torque que se genera se lo determina mediante la ecuación (2.4), donde r es igual a 10 cm.

$$T = P * r$$

$$T = 196 \text{ N} * 0.1 \text{ m}$$

$$T = 19.6 \text{ Nm}$$

Con la fuerza que se obtiene por el pedaleo se puede obtener la potencia mecánica que se genera en la primera transformación de energía de humano a máquina. Una

persona promedio pedalea a una frecuencia de pedaleo cercana a las 60 revoluciones por minuto, entonces a 50 rpm es 5.2 rad/s, mediante la ecuación (2.1) se tiene.

$$P(t) = F_T \cdot v$$

$$P(t) = 19.6 \text{ Nm} * 5.2 \text{ rad/s}$$

$$P(t) = 102 \text{ W}$$

La generación de potencia mecánica, se debe contrarrestar con la potencia eléctrica generada, a través de la eficiencia del generador, que viene dado por la siguiente ecuación [23].

$$\eta = \frac{\text{Potencia eléctrica}}{\text{Potencia mecánica}} \quad (2.8)$$

La potencia eléctrica está determinada por la potencia instantánea de la Ecuación (2.7).

El número de revoluciones teóricas que se producen en el eje del alternador, se determina con los siguientes datos:

- Número de dientes del disco conductor Z1 = 44 dientes.
- Velocidad del disco conductor N1 = 60 rpm
- Número de dientes del disco conductor Z2 = 18 dientes.

Con la ayuda de la ecuación (2.5) se puede calcular la velocidad del disco conducido.

$$N_1 * Z_1 = N_2 * Z_2$$

$$60 \text{ rpm} * 44 \text{ dientes} = N_2 * 18 \text{ dientes}$$

$$N_2 = 146.47 \text{ rpm} \approx 147 \text{ rpm}$$

Con lo cual se tiene que N2 es la velocidad con la que también giran los volantes de inercia, el diámetro de la rueda de inercia donde se conecta la banda es de 66.04 cm y el diámetro de la polea del alternador es de 5.08 cm, con la ecuación (2.6) se obtiene la velocidad a la que gira el eje del alternador.

$$N_2 * \phi_1 = N_3 * \phi_2$$

$$147 \text{ rpm} * 66.04 \text{ cm} = N_3 * 5.08 \text{ cm}$$

$$N_3 = 1911 \text{ rpm}$$

A este valor se lo debe multiplicar por el factor de la Tabla 2.1 y que se determina por el ángulo de fricción de la banda y polea, el factor es de 0.86, se tiene:

$$N_3 = 1911 \text{ rpm} * 0.86$$

$$N_3 = 1643 \text{ rpm}$$

Con lo cual se asegura que se cumple el número de revoluciones necesarias para la generación de energía eléctrica en el alternador.

2.1.2.6 Diseño final

El diseño de la estructura, parte de la bicicleta convencional, en el software 123 Design de Autodesk se realiza una simulación de la estructura original y las partes que la constituye, como se muestra en la Figura 2.4.



Figura 2.4. Simulación de la bicicleta convencional.

Tomando en cuenta los parámetros previamente vistos para la elaboración del prototipo se procede a realizar la estructura del prototipo, se plantea la siguiente estructura, proveniente de partes de la bicicleta convencional.

En la Figura 2.5, se observa la transformación de las partes de la bicicleta convencional en la estructura del prototipo.

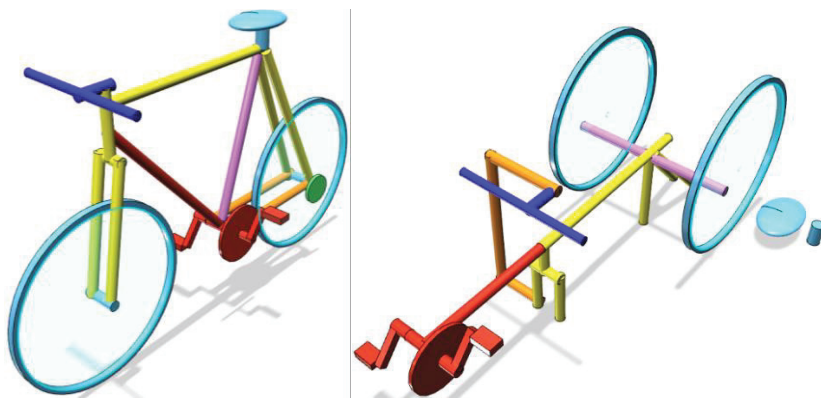


Figura 2.5. Estructura de prototipo sin asiento.

Para la comodidad del usuario en el momento del pedaleo, se cambia el asiento de la bicicleta por una silla, como se muestra en la Figura 2.6.



Figura 2.6. Estructura del prototipo con asiento.

Para darle mayor estabilidad a la estructura y soportar el eje con los dos volantes de inercia (llantas) se le añaden unos soportes laterales, como se muestra en la Figura 2.7.

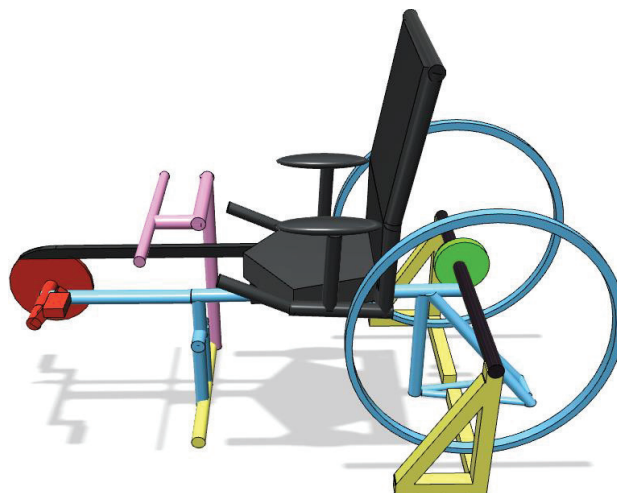


Figura 2.7. Estructura del prototipo con soportes laterales.

A continuación se monta el alternador, que será conectado mediante una banda al volante de inercia, con lo cual se tendría el diseño de la estructura, como se muestra en la Figura 2.8.

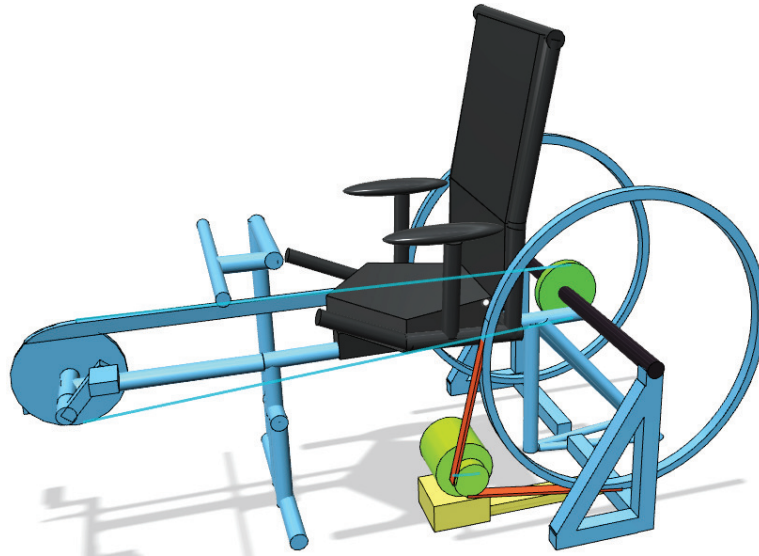


Figura 2.8. Estructura del prototipo con soporte para el alternador.

2.1.3 IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO

Partimos del despiece de la bicicleta convencional, como se muestra en la Figura 2.9. En la Figura 2.10 se muestra la estructura base, en la Figura 2.11 se muestra la incorporación de los volantes de inercia y soportes laterales, en la Figura 2.12 se muestra la integración de las rieles y soporte del alternador, finalmente en la Figura 2.13 se muestra la estructura final del prototipo.



Figura 2.9. Bicicleta convencional despiezada.



Figura 2.10. Estructura base del prototipo.



Figura 2.11. Estructura del prototipo con los volantes de inercia y soportes laterales.



Figura 2.12. Estructura del prototipo con rieles para el asiento, y soporte para el alternador.



Figura 2.13. Estructura final del prototipo, incluido asiento y agarradera.

2.2 DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

El sistema eléctrico y electrónico del prototipo debe garantizar la transformación, almacenamiento y distribución de la energía eléctrica generada. Se realiza una descripción de los elementos, acondicionamiento de señales, diseño de circuitos electrónicos que son necesarios para el óptimo desempeño del prototipo.

2.2.1 GENERACIÓN, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA GENERADA

A continuación de la elaboración de la estructura es la generación de la energía eléctrica, el prototipo debe generar la energía necesaria para alimentar a todos sus elementos periféricos y a sus placas electrónicas.

2.2.1.1 Generación y regulación

La generación de energía eléctrica se la realiza con el alternador, se implementó en el diseño mecánico que el sistema alcance las revoluciones necesarias para

generar energía, pero en el alternador se debe tener en cuenta otras características para la generación de energía como son:

- Alternador
- Excitación del alternador
- Voltaje de saturación del regulador.

2.2.1.1.1 Alternador

El alternador utilizado en este proyecto, es el mostrado en la Figura 2.14, cumple con las siguientes características: voltaje 12 V y corriente de 35 A, sin regulador, con numeración de placa OEM 27020-22010, se muestra una figura del alternador utilizado a continuación [24]:



Figura 2.14. Alternador utilizado en el proyecto [24].

2.2.1.1.2 Excitación del alternador

La función principal del alternador es la generación de corriente, la corriente entregada es proporcional a la demanda solicitada por la carga. La corriente de excitación genera un campo magnético en el rotor, provocando en el bobinado del estator una corriente alterna, que luego será rectificada por un puente de diodos.

Si la corriente de excitación se reduce, también se reduce la corriente de salida, al igual que aumenta si la corriente de excitación aumenta [25].

Como se conoce la resistencia del rotor y el voltaje en sus terminales, la corriente de campo está determinada por [25]:

$$I_{campo} (A) = \frac{\text{Voltaje bornes (V)}}{\text{Resistencia rotor } (\Omega)} \quad (2.9)$$

2.2.1.1.3 Voltaje de saturación del regulador

El alternador necesita una corriente de excitación, el elemento que controla la corriente de excitación es un regulador, existen alternadores que vienen incluido el

regulador de fábrica, en el caso de este proyecto se coloca un regulador externo, como se observa en la Figura 2.15. Todo regulador de voltaje provoca una caída de tensión, a esta caída de voltaje se la llama voltaje de saturación, generalmente no supera los dos voltios, teniendo que la corriente de excitación es igual a [25]:

$$I_{\text{campo}} (A) = \frac{\text{Voltaje bornes (V)} - \text{Voltaje saturación (V)}}{\text{Resistencia rotor } (\Omega)} \quad (2.10)$$



Figura 2.15. Regulador automotriz externo utilizado en el proyecto.

El alternador y regulador que se utiliza cuentan con las siguientes entradas y salidas, debidamente identificadas con siglas, como se especifica en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Entradas y salidas del alternador y regulador [26].

Letra	Significado
E	Maza o tierra
F	Campo del rotor
N / S	Neutro del estator
B	Batería (+) alternador
I	Ignición
A	Batería (+) regulador

2.2.1.2 Almacenamiento de Energía

El alternador al igual que los otros elementos del prototipo necesitan de una fuente de alimentación, en este caso, la alimentación para el campo del rotor, la cual es controlada con el regulador, el alternador tiene una salida B (+) que es dedicada específicamente para la salida del voltaje generado, esta salida se coloca en el borne positivo de la batería, como se muestra en la Figura 2.16.

La salida B(+) del alternador se encuentra aislada eléctricamente de la carcasa y puntos de conexión del alternador y es el punto positivo del puente rectificador de diodos.

La luz piloto que se encuentra en el esquema, es la luz que aparece en el tablero del automóvil y señala la condición de la batería, más concretamente si el alternador está suministrando corriente a la batería, además cumple la función de consumir corriente y reducir los picos de corriente.

La luz piloto se apaga al momento de que la batería suministra corriente al regulador, esto se produce inmediatamente se realiza el contacto con el switch SW, entonces se tiene una misma polaridad a los extremos de la luz piloto, apagándola.

El switch SW es el accionamiento que realiza el conductor al colocar y girar la llave en la ranura de encendido del vehículo, para este proyecto, se reemplaza por un relé que será comandado por la señal proveniente de un microcontrolador, que accionará el relé cuando el usuario del prototipo haya acumulado suficiente energía cinética en los volantes de inercia para facilitar el pedaleo.

Se utiliza un relé por la corriente que soporta el elemento de conmutación, para voltajes de 30 VDC soporta una corriente de 10 A.

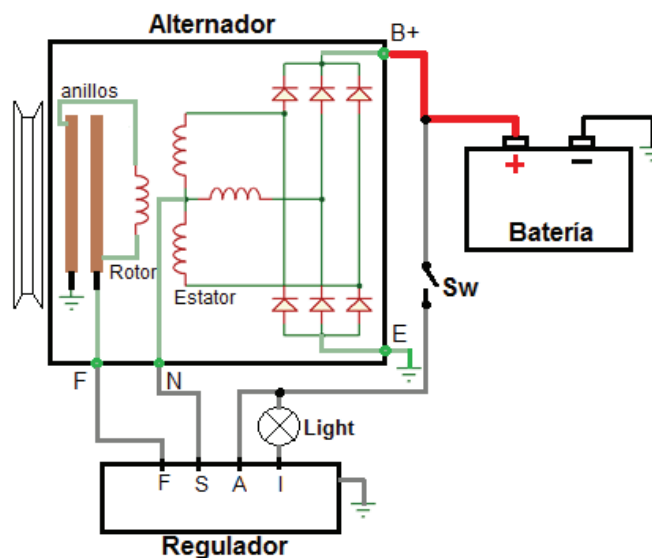


Figura 2.16. Esquema de conexión alternador, regulador y batería.

Adicional para cargar al power bank (batería externa constituida por baterías de litio, con salida USB), como se muestra en la Figura 2.17, tiene integrado un sistema

de control de carga, controlado por un microchip, detectando un dispositivo conectado y entrega la corriente que el dispositivo requiera, ciertos power bank tienen protección contra sobrecorriente y cortocircuito, poseen de al menos un puerto USB de salida. Comúnmente se determina la capacidad del power bank mediante mAh (miliamperio hora), dependiendo de la capacidad que se requiera aumenta el tamaño y precio.



Figura 2.17. Power bank comercial Remax [27].

En el presente proyecto se utilizará un power bank de 10000 mAh, que tiene un tiempo de independencia de al menos 2 horas y un tiempo de carga inferior a 3 horas, conectado a la entrada de alimentación del power bank se encontrará un convertidor DC-DC que disminuye el voltaje de la batería de 12 V a 5 V.

2.2.1.3 Circuitos distribuidores de energía, convertidores DC-DC reductores

La batería automotriz entrega un voltaje nominal de 12 V, los periféricos, placas electrónicas y sensores utilizan un voltaje de 5 V, por lo tanto es necesario la utilización de convertidores DC-DC (Buck) para poder alimentar los elementos del prototipo.

En el Capítulo 1 de este proyecto se revisó los convertidores DC-DC reductores. Como valores para el diseño tenemos: $V_i = 12 \text{ v}$, $V_o = 5 \text{ v}$, $I_o = 0.5 \text{ A}$, $R = 2 \ \Omega$, $f = 150 \text{ kHz}$, por lo tanto de la ecuación (1.4) se tiene:

$$V_o = V_i * \delta$$

$$\delta = \frac{V_o}{V_i} = \frac{5 \text{ v}}{12 \text{ v}} = 0.417$$

De la ecuación (1.2), se puede calcular la inductancia:

$$L = \frac{V_i - V_o}{\Delta I} * \delta * T$$

$$L = \frac{12 \text{ V} - 5 \text{ V}}{0.4 * 0.5 \text{ A} * 150 \text{ kHz}} * 0.417 = 97.2 \text{ uH} \approx 100 \text{ uH}$$

De la ecuación (1.3), se calcula el condensador que se necesita:

$$C > \frac{(1 - \delta) * V_o}{8 * L * f^2 * \Delta V}$$

$$C > \frac{(1 - 0.417) * 5 V}{8 * 100 \mu H * (150 \text{ kHz})^2 * (50 * 10^{-3})} = 3.24 \mu F$$

$$C > 3.24 \mu F, \text{ se selecciona uno de } 10 \mu F$$

Se selecciona el semiconductor o circuito integrado a partir de la corriente, la corriente media que circula por el elemento es igual a la corriente de entrada del convertidor, entonces se tiene:

$$P_i = V_i * I_q \quad (2.11)$$

$$P_o = V_o * I_o = \eta * P_i \quad (2.12)$$

Despejando I_q de la ecuación (2.11) y reemplazando P_i de la ecuación (2.12) tenemos:

$$I_q = \frac{P_o}{\eta * V_i} \quad (2.13)$$

$$I_q = \frac{5 V * 0.5 A}{0.9 * 12 V} = 0.23 A$$

La corriente que debe soportar el elemento de apertura y cierre es pequeña. Existen en el mercado algunos elementos que pueden servir para el proyecto, las características de los más utilizados se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Características de elementos de conmutación [28].

Elemento	Función	Voltaje de entrada (V)	Voltaje de salida (V)	Corriente de salida (A)	Frecuencia de operación (kHz)
LM2596	Conmutador Simple	1.2 - 37	3.3 - 12	3	150
MC34063 A	Convertidor DC-DC Buck y Boost	3 - 40	2 - 45	1.5	100
SP84064	Convertidor DC-DC Buck	10 - 30	5 ± 2.5%	1	120

Se selecciona la opción más acorde a las necesidades del proyecto, el SP8064, convertidor DC-DC Buck, cuya configuración recomendada por el fabricante se muestra en la Figura 2.18.

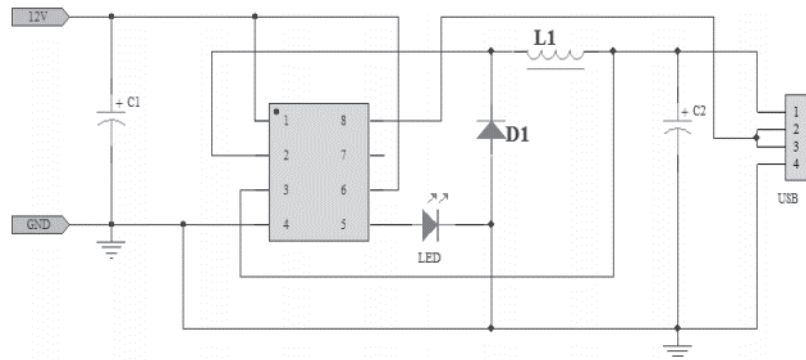


Figura 2.18. Esquema de la configuración recomendada por el fabricante. Convertidor Buck SP84064 [29].

Del esquema de la Figura 2.18 se puede añadir la inductancia y el capacitor previamente calculados, el diodo D1 no es necesario que sea un elemento de accionamiento rápido, se utilizará un diodo que soporte máximo 2 A, como el 1N4007 y el capacitor de entrada evita la filtración de ruidos, con lo que se coloca un capacitor cerámico de 0.1 uF.

Este circuito entrega un voltaje y corriente constantes, con lo cual se obtiene la fuente de alimentación para los periféricos y placas electrónicas, este convertidor DC-DC se necesita replicarlo en tres ocasiones, para obtener todas las fuentes necesarias.

2.2.2 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES

Todas las señales que van a ser ingresadas al microcontrolador son controladas y monitorizadas, las señales deben ser acondicionadas para evitar daños dentro del microcontrolador.

2.2.2.1 Medición de variables

Se obtiene las señales de los diferentes tipos de sensores para monitorear y tomar decisiones en el microcontrolador para ejecutar acciones en pro de la eficiencia energética y aprovechamiento de la energía.

En el presente proyecto se consideran las variables que se muestran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Variables a medir

Variable	Lugar de medición	Sensor o elemento de medición
Voltaje	En los bornes de la batería, bus DC.	Divisor de voltaje + amplificador operacional
Corriente	Terminal positivo de la batería	Sensor de corriente de efecto hall
Revoluciones generadas	En el volante de inercia	Sensor óptico
Frecuencia Cardíaca	Dedo pulgar derecho del usuario.	Sensor de pulso cardíaco

2.2.2.2 Voltaje

La medición de voltaje se la realiza en los bornes de la batería, que sería el bus DC del proyecto, donde se conectan en paralelo los convertidores DC-DC, con esta medición se monitorea el voltaje con el que se encuentra la batería, posteriormente se la visualiza ese voltaje en un vúmetro.

Tomando en consideración las diferentes alternativas para medir el voltaje, se selecciona la opción más práctica para la medición de voltaje es mediante un divisor de voltaje, formado por dos resistencias, adicional al divisor se debe colocar un seguidor de voltaje con un amplificador operacional de impedancia de entrada alta, también con el seguidor de voltaje se obtiene un aislamiento como medida de protección.

La entrada de conversión análoga a digital del microcontrolador, soporta 5 V, 500 mA, se coloca el seguidor de voltaje por la alta impedancia de entrada, al aplicarse la ley de Ohm $I = V / R$, se puede observar que si la impedancia es alta, la corriente que circula es muy pequeña, entonces no habrá un consumo significativo de corriente de la batería en la medición de voltaje, el esquema del sensor se muestra en la Figura 2.19.

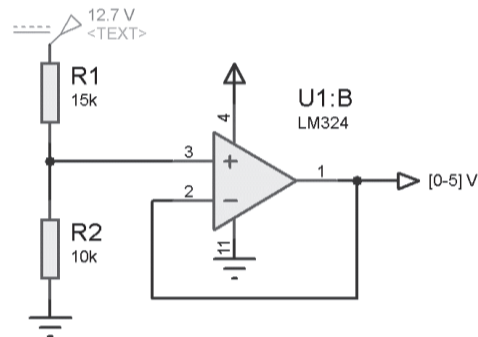


Figura 2.19. Sensor de voltaje de la batería.

2.2.2.3 Corriente

La medición de corriente en el terminal positivo de la batería es un punto de entrada y salida de corriente, entonces se debe verificar que no exceda la corriente que circula por ese terminal, como medida de protección de la vida útil de la batería y de los componentes del sistema electrónico del prototipo.

Se utiliza un sensor de corriente de efecto Hall, debido a que es un elemento de medida bidireccional y lineal, que ante circulación de corriente crea un voltaje de salida, su medición es magnética y no influencia en la circulación de la corriente. Se utiliza el sensor ACS712, que comercialmente se lo encuentra integrado en una pequeña placa, permite obtener medidas lineales tanto de señales alternas y continuas de corriente. Tiene una sensibilidad de 185 mV/A [30].

La conexión del dispositivo es sencilla, se dispone de tres pines, Out es la salida de voltaje que será conectado a un pin de analógico/digital del microcontrolador, Vcc y Gnd es la alimentación de la placa, su voltaje de operación es de 4.5 V a 5.5 V, como se muestra en la Figura 2.20.

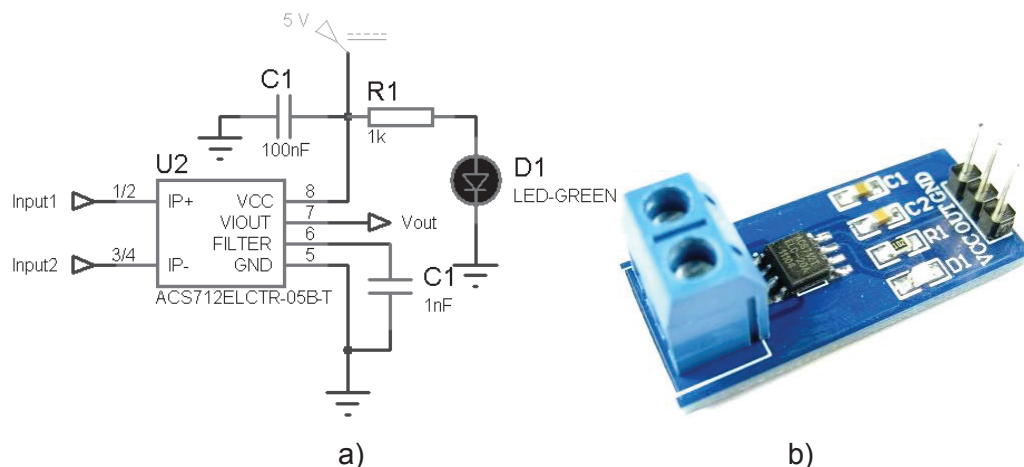


Figura 2.20. ACS712 a) Pines y forma de conexión, b) Imagen placa real [30]

2.2.2.4 Revoluciones generadas

Se detecta el número de revoluciones para indicar las revoluciones a la que giran las ruedas del prototipo, simulando un recorrido del mismo, dado que permanece en un lugar estático, también se determina la velocidad relativa a la que se desplazaría, adicional se puede indicar el desplazamiento del prototipo.

Existen algunas alternativas para la medición de las revoluciones, entre las más conocidas se tiene, la medición por ultrasonido, magnéticas, contacto y ópticas.

Se selecciona la medición óptica debido a que el objeto a medir, en este caso una rueda de bicicleta, es de un gran tamaño y como cumple la función de volante de inercia se debe evitar colocar sensores no invasivos que no detengan su libre movimiento.

Concretamente se utiliza un sensor óptico de barrera, este sensor está constituido por un diodo led que emite un haz de luz (por debajo del espectro visible, infrarrojo) y un foto receptor que recepta el haz de luz que envía una señal de corriente a la recepción de la luz.

El sensor óptico tiene una ranura en el centro, con lo cual se puede adaptar un sistema que corte el haz de luz del sensor y de esa manera poder tener la medición de las revoluciones generadas.

El fototransistor al recibir el corte del haz de luz, pasa de un estado de saturación a corte, registrando un pulso, la amplitud de los pulsos de salida es igual al voltaje de alimentación del transistor.

El sensor óptico de barrera comercialmente se lo puede encontrar en placa, adicionalmente se encuentra acoplado un amplificador operacional configurado como comparador de voltaje (LM393), el cual ayuda en la sensibilidad del sensor y nos entrega una señal cuadrada que puede ingresar directamente al microcontrolador [31].

Su configuración y versión comercial se muestra en la Figura 2.21.

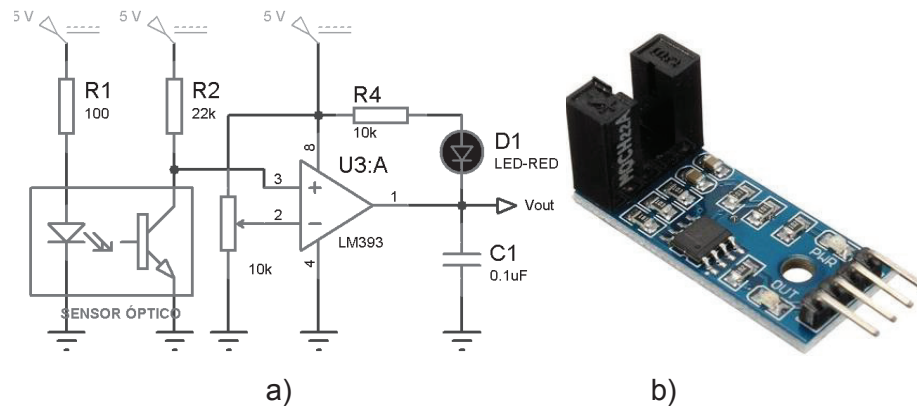


Figura 2.21. Sensor óptico y comparador: a) Esquema de conexión, b) Imagen de placa real [31].

2.2.2.5 Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca es importante medirla debido a que es uno de los mejores indicadores de la salud de una persona en su vida diaria y cuando realiza algún tipo de ejercicio físico, en el caso de este proyecto se toma la medición de la frecuencia cardíaca mediante un sensor de pulso cardíaco.

El sensor de pulso seleccionado se llama Sensor de Pulso Amped, funciona bajo el principio de un fotopleletismógrafo, que es un dispositivo médico para la monitorización no invasiva del ritmo cardíaco. La señal de salida de este dispositivo es una fluctuación analógica en voltaje y tiene una forma definida, esta onda se llama fotopleletismograma o PPG, como se muestra en la Figura 2.22 [32]:

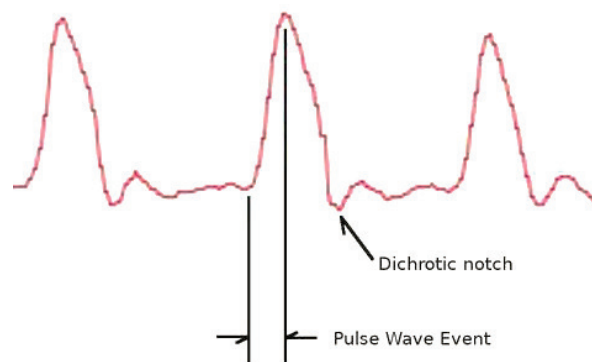


Figura 2.22. Forma de onda PPG o fotopleletismograma [32].

Una vez detectada esta señal el sensor amplifica esta señal y normaliza la onda de pulso alrededor de $V/2$ (voltaje medio). El sensor responde a cambios de intensidad de la luz, si la luz incidente es constante, el valor de la señal oscilara por el valor 512 del ADC, a más luz la señal sube y baja si la luz decrece.

La luz led verde que se emite, cambia durante cada pulso. El sensor capta los latidos cardíacos instantáneos y mide el tiempo entre cada uno, a esto se le conoce como IBI (Inter Beat Interval) en la onda PPG.

La base médica para este suceso se debe porque el corazón bombea sangre a través del cuerpo, con cada latido hay una onda de pulso que se desplaza mediante las venas por el cuerpo hasta el tejido de los dedos donde se coloca el sensor.

Comenzamos a seguir a la señal desde el punto T de la onda PPG, las señales tienen un aumento rápido, a veces el pico hacia abajo es más pronunciado, pero la señal se estabiliza al final de que llegue el siguiente pulso [32].

Debido a que la onda es repetitiva y predecible se puede elegir casi cualquier punto de referencia y medir la frecuencia cardíaca.

Los inventores del sensor en base de investigaciones médicas, en su afán de encontrar el momento instantáneo del latido del corazón, aseguran que esto sucede en algún momento durante ese aumento rápido en la forma de onda PPG como se muestra en la Figura 2.23 [32].

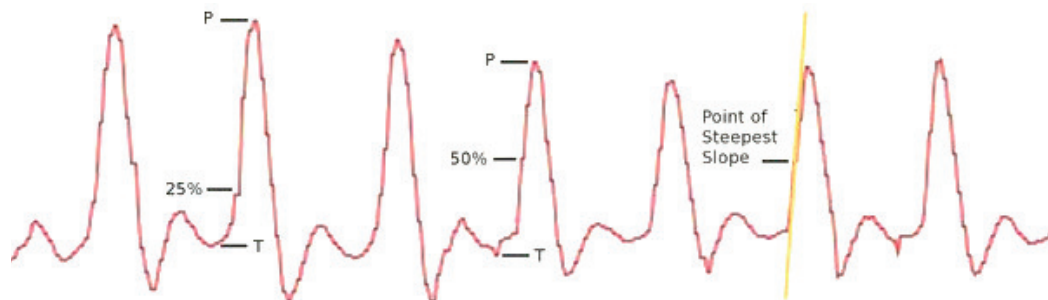


Figura 2.23. Forma de onda PPG de un tren de pulsos [32].

Los fabricantes del sensor de pulso cardíaco, garantizan que la mejor forma de determinar el pulso cardíaco es midiendo el IBI, mediante la sincronización entre el instante que la señal cruza el 50 % de la amplitud de la onda en el aumento rápido.

El BPM (beats por minuto) se obtiene cada pulso de un promedio de los 10 anteriores IBI veces. En la Figura 2.24 se presenta los elementos utilizados en el sensor y en la Figura 2.25 su versión comercial.

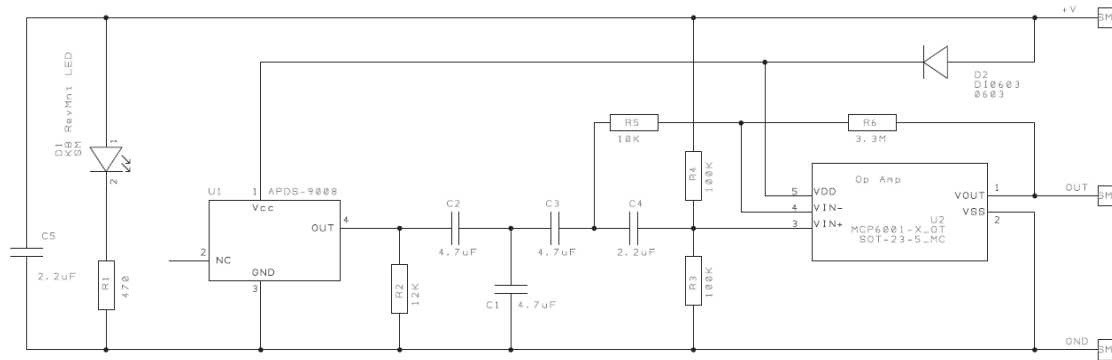


Figura 2.24. Esquema electrónico del sensor de pulso Amped [32].

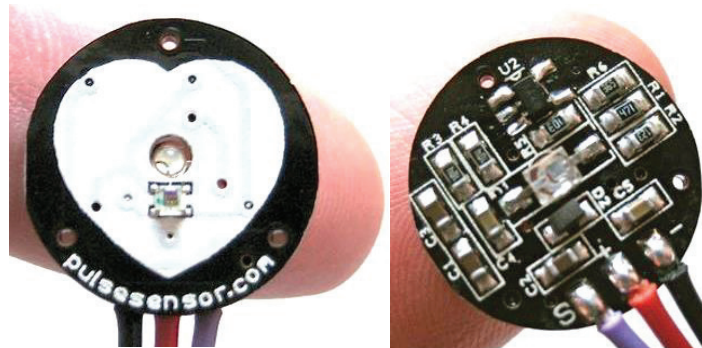


Figura 2.25. Sensor de pulso Amped, vista frontal y posterior [32].

2.2.2.6 Reloj en tiempo real DS1307

Se utiliza el reloj en tiempo real DS1307, como reloj externo, entrega información desde segundos, hasta años con compensación de año bisiesto válido hasta el 2100. Posee una comunicación serial I2C con la que se comunica con un microcontrolador regularmente a 100 KHz, además consta con su propia alimentación, regularmente una pila de litio de 3 V.

Generalmente el DS1307 opera como esclavo en la comunicación I2C, existiendo la posibilidad de controlar las condiciones de inicio y parada. La línea de reloj debe permanecer en alto, los cambios en la línea de datos son interpretados como inicio o parada.

Se transfiere datos mientras el reloj está en alto y existe un cambio en la línea de datos de alto a bajo, y se deja de transmitir cuando este pasa de bajo a alto. Este dispositivo cuenta con acknowledge (bit de reconocimiento) el microcontrolador puede generar un pulso extra asociado a este bit [33].

De maestro a esclavo la transmisión se realiza con el primer bit enviado por el maestro, a continuación sigue una serie de bytes de datos, el esclavo devuelve un bit de confirmación después de cada byte recibido, los datos se transfieren primero con el bit más significativo (MSB).

De esclavo a maestro, la transmisión comienza con el primer byte (la dirección del esclavo) se transmite por el maestro, el esclavo devuelve entonces un bit de confirmación, el esclavo transmite un número de bytes de datos.

El maestro devuelve un bit de confirmación después de todos los bytes recibidos que no sea el último byte. En el final del último byte recibido, se devuelve un "no reconocimiento". El dispositivo maestro genera todos los impulsos de reloj en serie y las condiciones de inicio y parada [33].

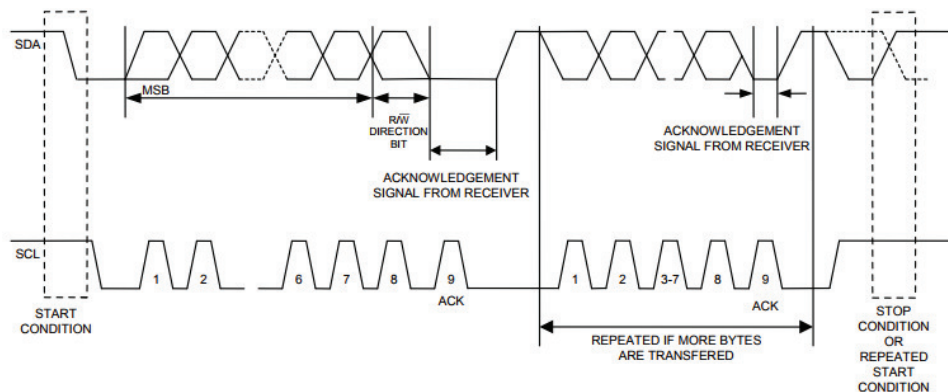


Figura 2.26. Transferencia de datos en el bus serial I2C [33].

Comercialmente se lo puede encontrar integrado en una placa electrónica, como se lo muestra en la Figura 2.27, consta con un socket para colocar una pila de 3 V que se la utiliza cuando el módulo no tiene alimentación para mantener la información almacenada, caso contrario cuando se desconecte la alimentación primaria de 5 V, el reloj se reinicia.

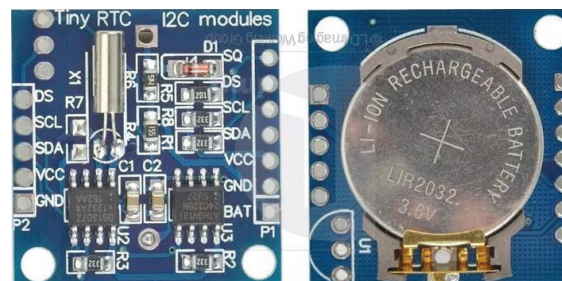


Figura 2.27. Reloj de tiempo real DS1307, vista frontal y posterior [34].

2.2.2.7 Relé

Se conectan elementos de accionamiento a la salida del microcontrolador, para tener el control de encendido y apagado de algunos de los periféricos. Al salir del microcontrolador la señal que emite debe ser acondicionada para poder efectuar la acción, en este caso el accionamiento se lo realiza mediante relés que son dispositivos electromagnéticos que abren o cierran el circuito y son comandados por la saturación de un transistor que dependiendo de la señal que se coloque en la base, entra en conducción. El esquema empleado se muestra en la Figura 2.28.

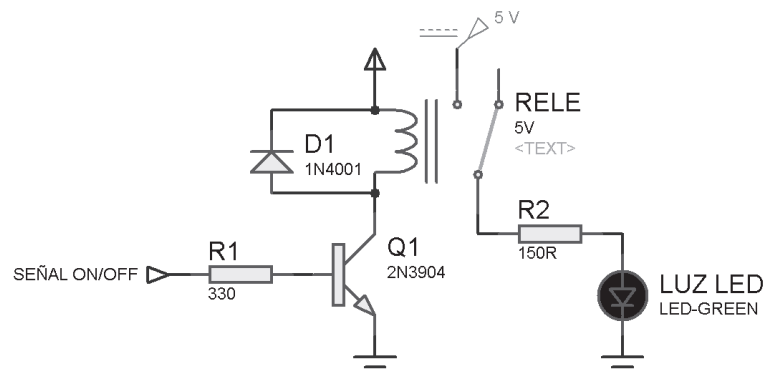


Figura 2.28. Conexión de un relé, accionado por la señal del microcontrolador.

2.2.2.8 Switch Electrónico

Son integrados que poseen en su interior varios switch de conmutación digital y no electromecánico como los relés, se caracterizan por manejar señales de hasta 40 Mhz, pueden conmutar y multiplexar señales analógicas y digitales, son bidireccionales.

Se los utiliza en aplicaciones que requieren un consumo bajo de corriente, cada terminal de control es activado en alto (al menos 70% de V_{cc}) enviado desde un microcontrolador. En este proyecto se utiliza el integrado CMOS 4066, que posee 4 interruptores bilaterales. La configuración de pines se muestra en la Figura 2.29 [35].

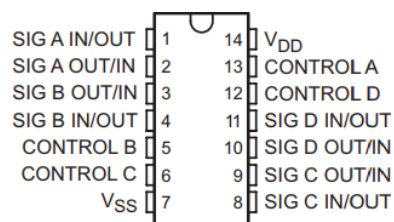


Figura 2.29. Configuración de pines integrado CMOS 4066 [35].

2.2.3 INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA

El interfaz hombre máquina está constituido por un LCD en el cual se podrá observar el voltaje generado, además el prototipo consta de botones los cuales comandan el encendido y apagado de la luminaria led de emergencia y lectura. Adicionalmente todos los datos de revoluciones generadas, velocidad, frecuencia cardíaca, voltaje en la batería y control de la luminaria, se las podrá visualizar por medio de la aplicación para smartphones con sistema operativo Android.

2.2.3.1 LCD

Con el fin de monitorear las variables involucradas en el proceso, entre ellas, el voltaje de la batería, ritmo cardíaco y la velocidad relativa del prototipo se utiliza una pantalla de cristal líquido abreviada LCD 16x2 que mostrará los valores obtenidos, con el fin de que el usuario monitoree su progreso durante la utilización del prototipo. El porcentaje mostrado en la pantalla va de acuerdo con la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Porcentaje de voltaje en la batería [36]

Voltaje batería (v)	Porcentaje %
10.5	0
11	25
11.5	50
12	75
12.7	100

2.2.3.2 Pulsadores

La señal que comanda el encendido y apagado de las luminarias de emergencia y lectura, para el caso del manejo local del prototipo, provienen de pulsadores situados al alcance del usuario. Los pulsadores deben ser acondicionados para el ingreso al microcontrolador, se coloca un filtro anti rebotes conformados por una resistencia y un condensador, como se muestra en la Figura 2.30.

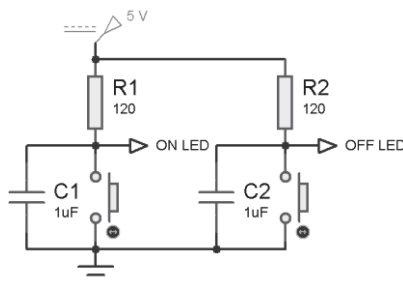


Figura 2.30. Conexión de pulsadores

2.2.4 COMUNICACIÓN BLUETOOTH

La comunicación bluetooth se la realiza entre el microcontrolador y un teléfono celular con sistema operativo Android, específicamente con la aplicación, en la cual se podrá visualizar valores en tiempo real de las revoluciones generadas, velocidad, distancia recorrida, frecuencia cardíaca y el porcentaje de batería que se encuentra generando el prototipo.

Para lograr establecer esta comunicación se utiliza un módulo de comunicación bluetooth HC-05, como se muestra en la Figura 2.31, este módulo tiene un alcance máximo de 10 metros a una velocidad de transmisión de 1200 bps a 1.3 Mbps. Trabaja con un chip BC417143 y el módulo trabaja con un voltaje desde 3.3 V a 5 V [37].

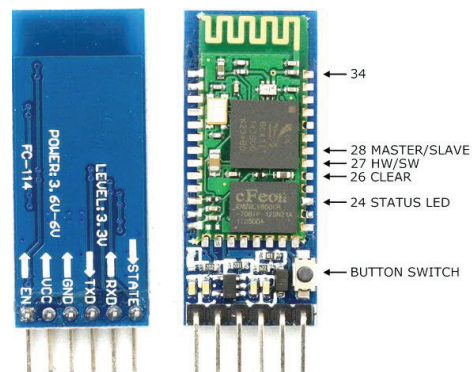


Figura 2.31. Módulo bluetooth HC05, vista trasera y frontal [37].

2.2.5 MICROCONTROLADOR

El microcontrolador es el dispositivo encargado de recibir las variables acondicionadas de los sensores, y en base a su programación ejecutar una acción y a través de sus pines comandar el accionamiento de otro dispositivo.

En el presente proyecto se utilizó el microcontrolador Atmega 164P, debido a que cumple con todas las características técnicas que se requieren para este proyecto, entre las principales, posee una comunicación serial, comunicación I2C, entradas de conversión analógicas a digital y un número suficiente de pines de entrada y salida tanto para el ingreso de las variables medidas, como para la salida de las señales de control para manipular los periféricos externos del prototipo.

En la Figura 2.33 se presenta la distribución de pines que posee el microcontrolador Atmega 164P, y en la Tabla 2.6 se muestra los recursos utilizados en este proyecto, tanto entradas como salidas.

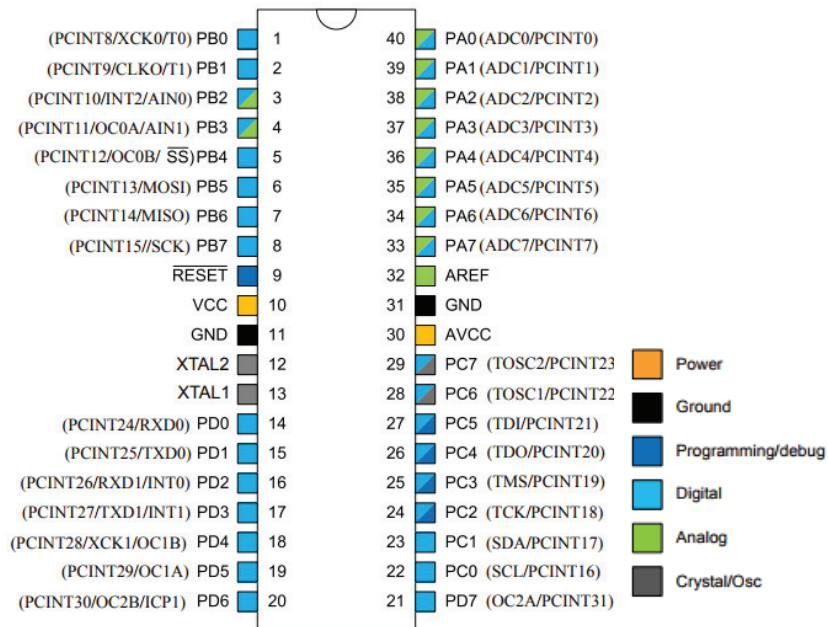


Figura 2.33. Distribución de pines del microcontrolador Atmega 164P [38].

Tabla 2.6 Recursos utilizados por el microcontrolador.

PIN	I/O	TIPO	DESCRIPCIÓN
PA0	Entrada	Analógica	Sensor del voltaje de la batería
PA1	Entrada	Analógica	Sensor de corriente
PA2	Entrada	Analógica	Sensor de pulso cardíaco
PA3	Entrada	Digital	Pulsador, encendido luz lectura
PA4	Entrada	Digital	Pulsador, apagado luz lectura
PA5	Entrada	Digital	Pulsador, encendido luz emergencia
PA6	Entrada	Digital	Pulsador, apagado luz emergencia
PB0	Salida	Digital	On/off luz lectura
PB1	Salida	Digital	On/off luz emergencia
PB2	Salida	Digital	On/off Power Bank
PB3	Salida	Digital	On/off relé de conexión de batería
PB4	Salida	Digital	On/off relé de conexión de regulador
PB5	Salida	Digital	On/off relé de conexión de convertidor DC-DC
PC0	Salida	Digital	SCL, señal de reloj para comunicación I2C
PC1	Entrada	Digital	SDA, señal de datos para comunicación I2C

PIN	I/O	TIPO	DESCRIPCIÓN
PC4	Salida	Digital	Pin de datos 4 del LCD
PC5	Salida	Digital	Pin de datos 5 del LCD
PC6	Salida	Digital	Pin de datos 6 del LCD
PC7	Salida	Digital	Pin de datos 7 del LCD
PD0	Entrada	Digital	RX, recepción datos comunicación bluetooth
PD1	Salida	Digital	TX, transmisión datos com. bluetooth
PD2	Entrada	Digital	SEG, señal segundos Clock DS1307
PD3	Entrada	Digital	Interrupción revoluciones generadas
PD4	Entrada	Digital	Pin Enable del LCD
PD5	Entrada	Digital	Pin RS del LCD
PD6	Entrada	Digital	Pin RW del LCD
9	Entrada	Digital	Reset del microcontrolador
10	Entrada	Digital	Voltaje VCC
11	Salida	Digital	GND
30	Entrada	Digital	Voltaje AVCC
31	Salida	Digital	GND de AVCC
32	Entrada	Digital	Referencia ADC

2.2.6 PROTECCIONES

Las protecciones cumplen un rol muy importante dentro de la seguridad del prototipo, se utiliza fusibles a la salida del convertidor que tiene como carga la luminaria led de emergencia debido a que se pueden generar cortocircuitos, al igual se coloca un fusible en la batería como medida de protección por sobrecargas. En la Figura 2.34 se muestra la ubicación de cada fusible.

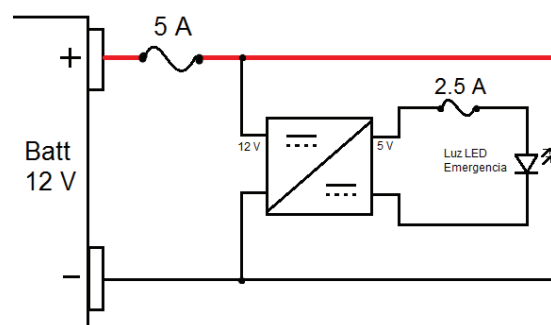


Figura 2.34. Protecciones del prototipo.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL SOFTWARE Y HARDWARE

En este capítulo se detalla la programación del microcontrolador, donde el microcontrolador ejecuta una acción dependiendo del valor de la variable ingresada, se desarrollan los algoritmos y valores para su funcionamiento.

La programación se lo desarrollo en Atmel Studio en lenguaje C, al igual que se utilizó el simulador Proteus para verificar el funcionamiento de la programación.

3.1 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR

La programación del microcontrolador se la realiza en el lenguaje C en el programa Atmel Studio 6.2, se desarrollan librerías para facilitar la utilización de varios dispositivos, de igual manera se acondicionan las entradas de los convertidores análogo a digital, se manejan interrupciones externas, se establecen protocolos de comunicación tanto en recepción y transmisión.

El programa en el microcontrolador debe garantizar el aprovechamiento máximo del voltaje producido y del voltaje de la batería, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- La alimentación del rotor del alternador, se dará siempre y cuando se determine que el usuario comience a pedalear, dando así paso a la generación de energía.
- Se desconectará la alimentación del rotor del alternador una vez que la batería alcance el voltaje máximo de carga 12.7 V, es decir el 100%.
- Se conectará o desconectará la alimentación de la batería externa (power bank) cuando su voltaje sea 0 V o esté completamente cargada respectivamente.
- Si no existe pedaleo por parte del usuario por lo menos en 10 segundos, el sistema desconectará el sistema de carga de la batería.
- Se podrá utilizar la luz de lectura, hasta que el voltaje de la batería supere el 25% de su capacidad (10 V).

3.1.1 PROGRAMA PRINCIPAL, DIAGRAMA DE FLUJO

El programa principal se encarga del modo de trabajo del prototipo, determina acciones específicas como la gestión de la energía producida que se proyecta en la batería, la conexión y desconexión de algunos dispositivos, visualización de variables en el LCD y el sistema de protección de sobrecargas, como se muestra en la Figura 3.1.

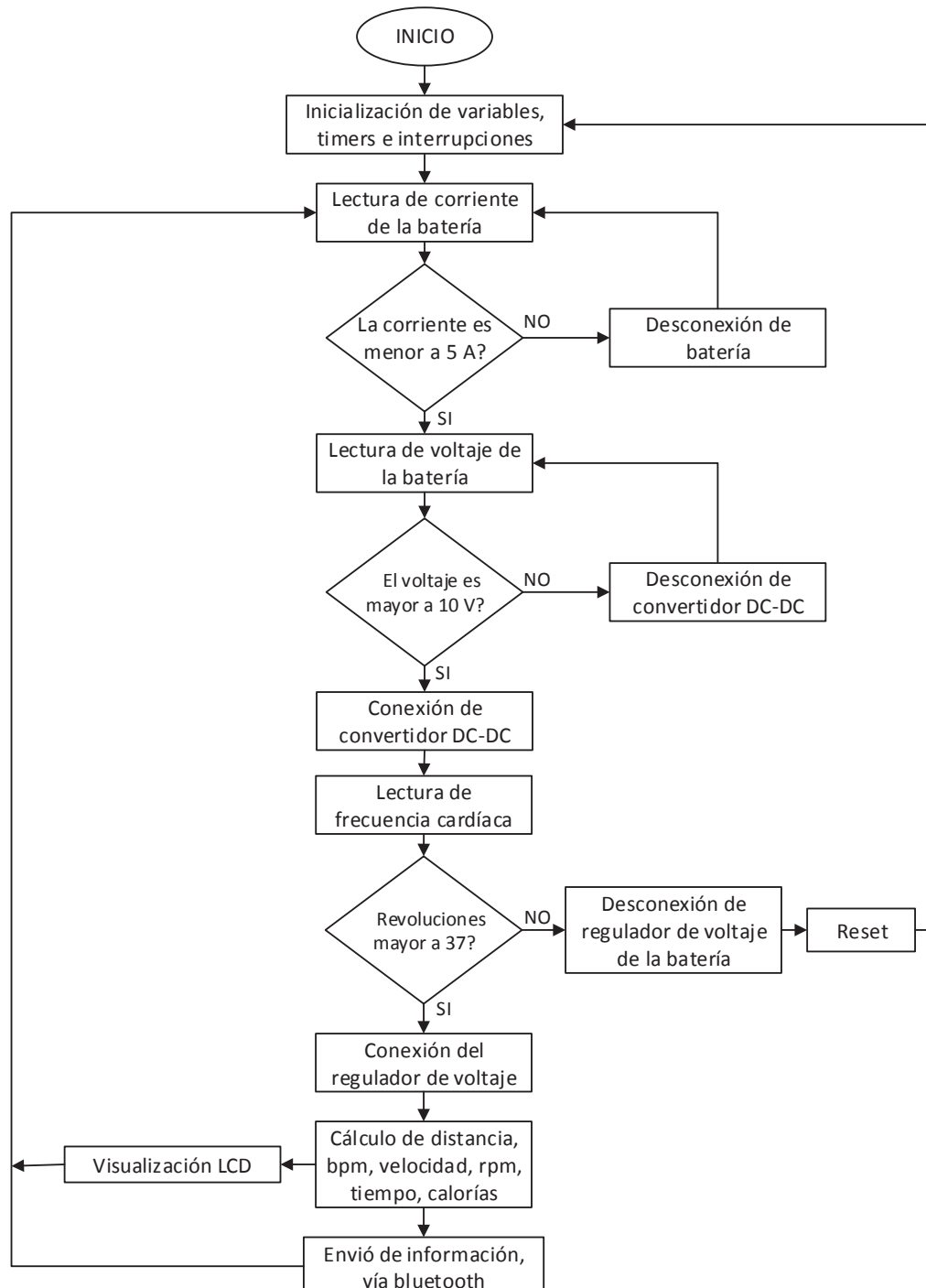


Figura 3.1. Lazo principal del programa de control del prototipo.

La distancia recorrida se determina mediante cada revolución realizada por el volante de inercia, multiplicada por la longitud del volante de inercia.

$$\text{Distancia recorrida} = \text{Contador de revoluciones} * \text{longitud rueda} \quad (3.1)$$

Donde la longitud de la rueda es de 0.6289 y está determinada por $2 \text{ por } \pi$ por el radio de la rueda, en este caso 1 m.

La velocidad lineal se determina por la distancia recorrida en el tiempo de duración del ejercicio como indica la ecuación 3.2.

$$\text{Velocidad lineal} = \frac{\text{Distancia Recorrida}}{\text{tiempo de duración}} \quad (3.2)$$

Las calorías quemadas aproximadas se determinan mediante la ecuación 3.3, donde se involucra el peso y el tiempo de duración del ejercicio [5].

$$\text{Calorías quemadas} = 0.049 * (\text{peso} * 2.2) * \text{tiempo de duración} \quad (3.3)$$

Se selecciona un peso de 60 Kg sin alterar significativamente el resultado final.

3.1.2 SUBROUTINA LECTURA DE ADC'S

La subrutina se encarga de inicializar el ADC del microcontrolador, con referencia externa a AVCC, espera el ADC a convertir, retorna el valor de la conversión, como se muestra en la Figura 3.2.

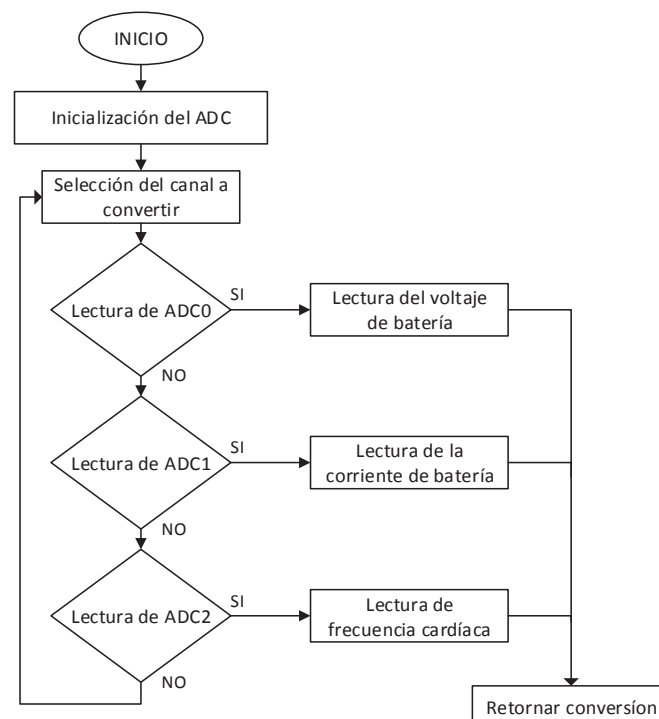


Figura 3.2. Diagrama de flujo de la conversión ADC.

3.1.3 SUBROUTINA RELOJ DS1307

La subrutina se encarga de establecer la comunicación I2C entre el módulo DS1307 y el microcontrolador, inicializa el módulo y recibe información de tiempo y fecha, genera un segundo para actualizar la información en el LCD, como se muestra en la Figura 3.3.

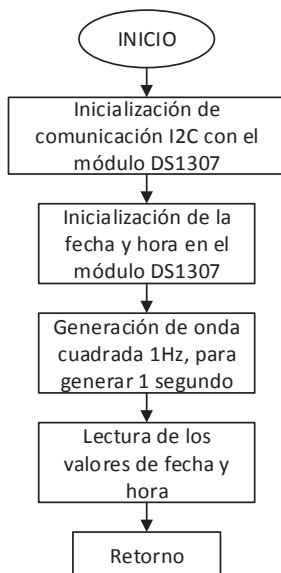


Figura 3.3. Diagrama de flujo subrutina módulo DS1307.

3.1.4 SUBROUTINA REGISTRO DE DATOS

Esta subrutina se encarga de configurar la velocidad de transmisión, modo de operación y habilitar la recepción y transmisión de los datos, como se muestra en la Figura 3.4.

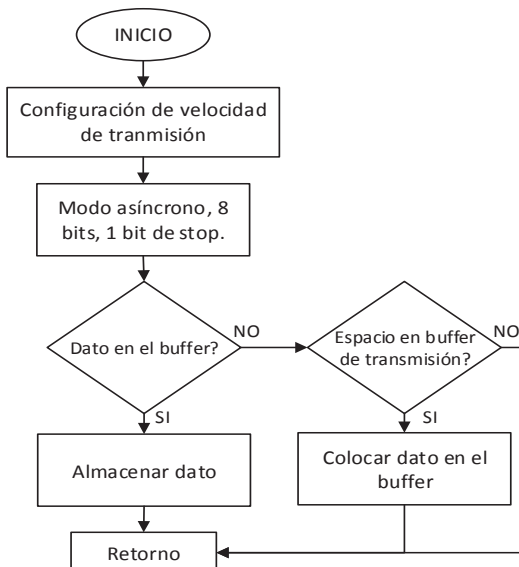


Figura 3.4. Diagrama de flujo subrutina registro de datos.

3.1.5 SUBROUTINA LUMINARIAS LED

En esta subrutina se encarga del encendido y apagado de las luminarias que tienen la capacidad de encendido local mediante pulsadores y remoto mediante la aplicación de dispositivos móviles para el sistema operativo Android, como se muestra en la Figura 3.5.

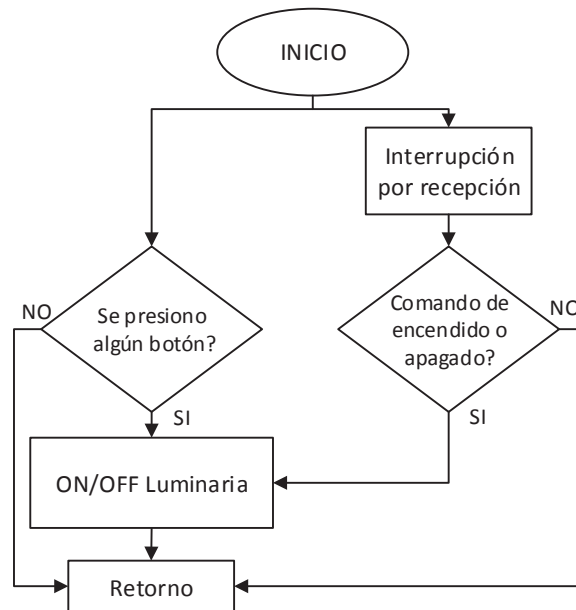


Figura 3.5. Diagrama de flujo subrutina de encendido y apagado de la luminaria led.

3.1.6 INTERRUPCIONES

El programa solicita realizar funciones específicas en un determinado tiempo y ejecutar una acción, para ello se requiere utilizar un recurso del microcontrolador, las interrupciones, suspenden el programa principal y atienden cuando se ejecuta una interrupción, se atiente la interrupción, luego el programa continúa en el punto dejado al momento de la interrupción. Se utiliza algunos tipos de interrupciones como se indica a continuación:

3.1.6.1 Interrupción externa INT0

Se utiliza esta interrupción para la entrada de la señal cuadrada de 1 Hz enviada desde el reloj externo DS1307, con el fin de conseguir una interrupción cada segundo, obteniendo la unidad de tiempo en el Sistema Internacional de Unidades,

con lo cual se puede hacer cálculos de tiempo de ejecución y velocidad, como se muestra en la Figura 3.6.

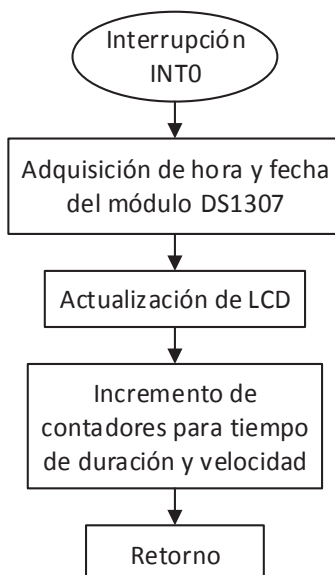


Figura 3.6. Diagrama de flujo interrupción externa INT0.

3.1.6.2 Interrupción externa INT1

La interrupción INT1 se la utiliza como entrada de la señal de revoluciones generadas por las ruedas, la señal proviene de un encoder óptico, con la ayuda del Timer1 se genera un segundo para encontrar el periodo y frecuencia de cada pulso, con ello se calcula las RPM (revoluciones por minuto) y distancia recorrida, como se muestra en la Figura 3.7.

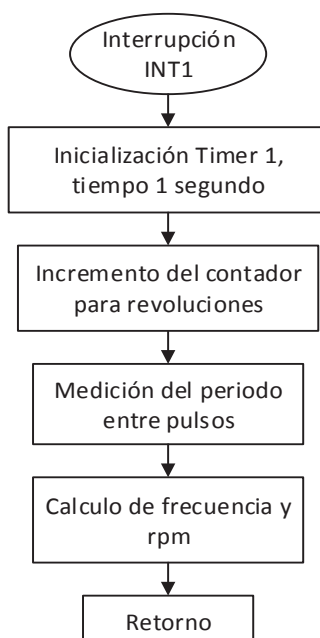


Figura 3.7. Diagrama de flujo interrupción externa INT1.

3.1.6.3 Interrupción por comparación, Timer2

Se configura el Timer2, para que genere una interrupción por comparación cada 2 ms, que es el tiempo de muestreo que se debe generar para recibir la señal de frecuencia cardíaca, la señal es procesada dentro de la interrupción para encontrar el bpm (beats por minuto) del usuario, como se muestra en la Figura 3.8.

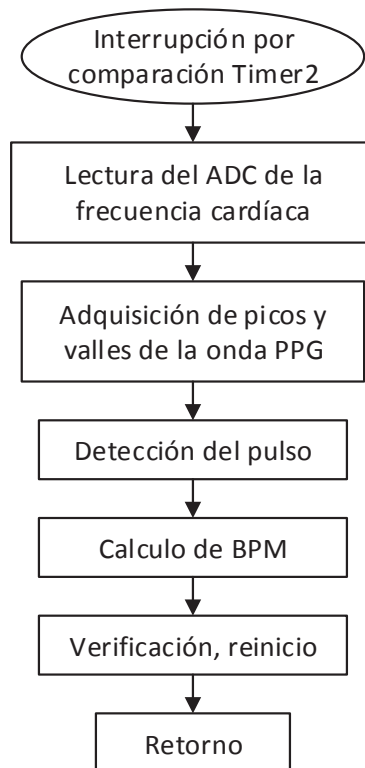


Figura 3.8. Diagrama de flujo interrupción por comparación, cada 2 ms, Timer2.

3.1.6.4 Interrupción por recepción RX

Esta interrupción se activa cuando el microcontrolador detecta que ha llegado un dato al buffer de recepción RX, se procede a decodificar la información receptada y ejecutar una acción, los datos enviados provienen de la aplicación para smartphones con sistema operativo Android conectado vía bluetooth.

La interrupción por recepción es utilizada en este proyecto para el encendido y apagado de la luminaria led de lectura y la luminaria led de emergencia a través de la aplicación para celulares vía bluetooth.

En la Figura 3.9 se muestra el diagrama de flujo de la interrupción por recepción.

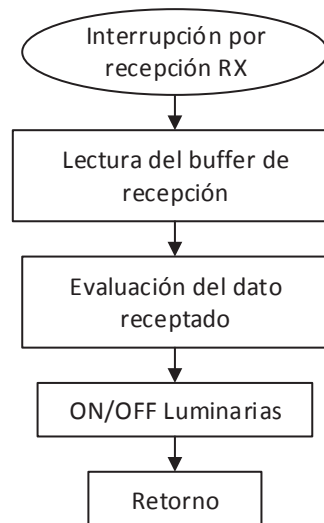


Figura 3.9. Diagrama de flujo interrupción por recepción RX.

3.2 PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES

La aplicación para dispositivos móviles de este proyecto se la realizó específicamente para smartphones con el sistema operativo Android, su interfaz gráfica y programación se la realizó en el programa online MIT App Inventor 2 creado por Google Labs, cuyas librerías son desarrolladas por el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts). Su principal característica radica en que es software de código abierto y gratuito, además de poseer una interfaz amigable y fluida para el programador [39].

Al ingresar a la página oficial de la aplicación (<http://ai2.appinventor.mit.edu>), se debe acceder con una cuenta de Gmail, una vez validada la información se accede al programa, donde se da clic en crear un nuevo proyecto y el usuario puede iniciar con el desarrollo de la aplicación.

3.2.1 PROGRAMACIÓN DE ENTORNO (DESIGNER)

Designer es el ambiente de desarrollo en el que se realiza el diseño del entorno que tendrá la interfaz gráfica con el usuario, en esta sección se colocará los elementos que posteriormente en blocks se programará, para este proyecto se colocarán pantallas de visualización, botones, cuadros de texto, imágenes,

deslizadores que se encuentran en la pestaña User Interface, como se muestra en la Figura 3.10.

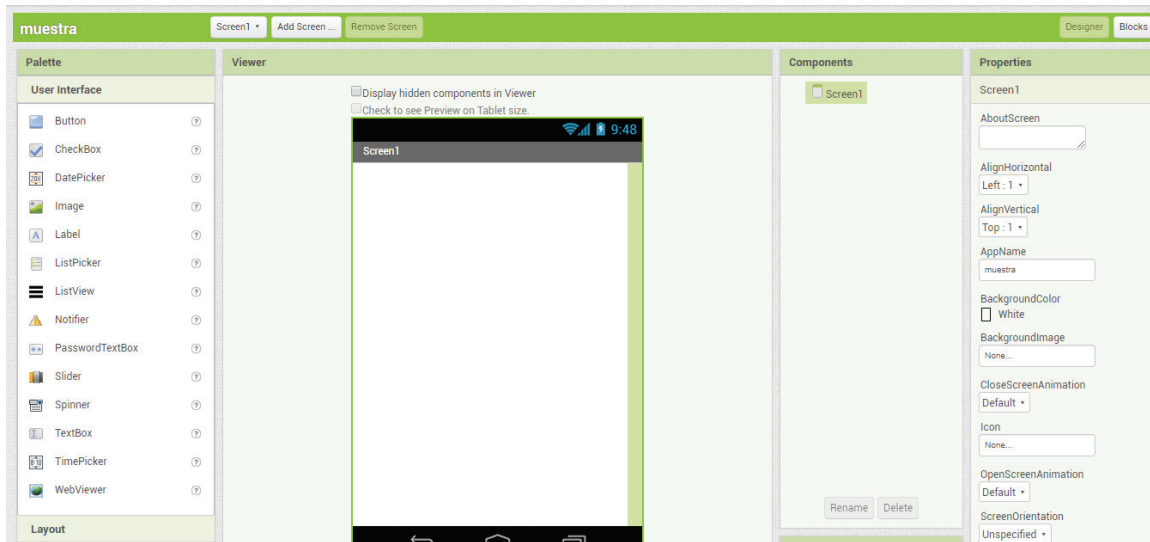


Figura 3.10. Recursos del menú User Interface, MIT App Inventor.

En el menú Layout, se encuentra los distribuidores de espacio para la interfaz gráfica, estos bloques se encargan de centrar y alinear todos los elementos de nuestra aplicación, en la Figura 3.11 se muestran los espaciadores disponibles.

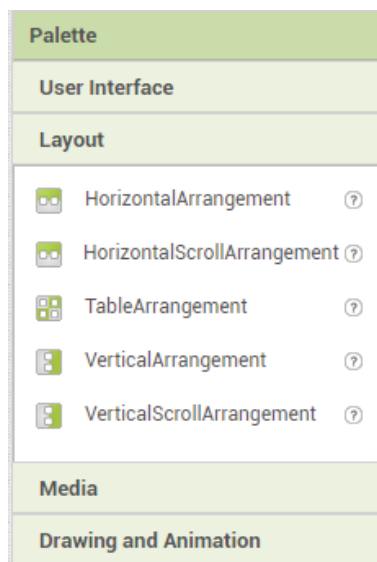


Figura 3.11. Recursos del menú Layout, MIT App Inventor.

En el menú Connectivity, se encuentra la opción de conexión vía Bluetooth que servirá para realizar la conexión entre la aplicación de dispositivos móviles y el módulo Bluetooth HC-05 conectado al microcontrolador.

En la Figura 3.11 se muestra los elementos disponibles del menú Connectivity.

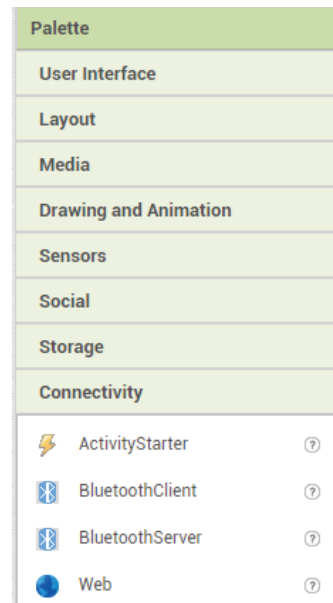


Figura 3.12. Recursos del menú Connectivity, MIT App Inventor.

3.2.2 PROGRAMACIÓN DE ENTORNO (BLOCKS)

La programación en el entorno Blocks se lo realiza mediante bloques, los bloques están basados en [http://Blockly] de JavaScript para crear un lenguaje visual, cada elemento contiene varias alternativas de bloques que son la manera de colocar las instrucciones a realizar [36].

En esta sección se encuentran bloques definidos, como los de control con condicionales lógicos, bloque de lógica, bloque de operaciones matemáticas básicas, de texto, concatenación de actividades, colores, variable declarables y procesos.

Se toma el elemento pulsador (Button) del menú User Interface para ejemplificar la programación en el entorno blocks.

En la Figura 3.13 se muestra las diferentes opciones que se tiene para programar el elemento pulsador mostradas en la pantalla Viewer, cada opción a programar depende del elemento seleccionado en el menú Blocks.



Figura 3.13. Bloques de programación de un pulsador, MIT App Inventor.

Como se puede observar al presionar en el elemento, se despliega una lista donde se encuentra varias acciones con la que se puede programar al pulsador, por ejemplo si se requiere que al presionar el pulsador, este salte a una nueva pantalla, se debe seleccionar el bloque que refiera que al hacer click en ese pulsador este salte a una nueva ventana.

En el entorno blocks se selecciona la opción de abrir una nueva pantalla y con un bloque de texto se coloca el nombre de la pantalla a saltar, como se muestra en la Figura 3.14.

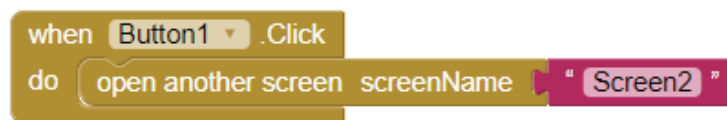


Figura 3.14. Programación de un pulsador, MIT App Inventor.

3.2.3 DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN MÓVIL

En la Figura 3.15 se muestra el diseño de la pantalla de inicio de la aplicación del prototipo, la cual consta de una corta presentación del proyecto, se programa a esta pantalla que se mantenga activa durante 5 segundos, ejecute una animación durante este tiempo y se dirija a una nueva pantalla, la programación para abrir una nueva pantalla se muestra en la Figura 3.16.



Figura 3.15. Diseño de la pantalla inicial, app móvil del prototipo.

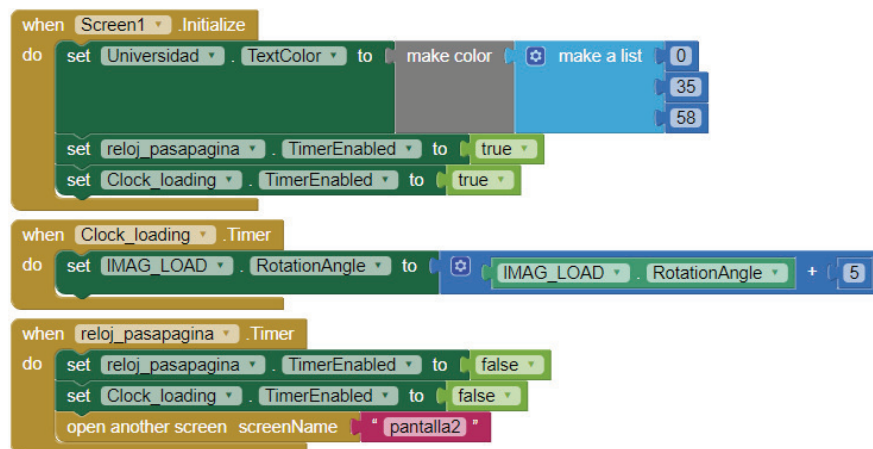


Figura 3.16. Programación de la pantalla inicial, app móvil del prototipo.

La pantalla 2 de la aplicación móvil consta de 4 secciones, distribuidas de la siguiente manera:

- Barra de menú principal
- Display
- Menú de selección
- Inicialización/resultados

3.2.3.1 Barra de menú principal

En esta barra se puede encontrar la opción para seleccionar el bluetooth del prototipo HC-05, si se da click en el icono bluetooth se despliega una nueva

ventana, como se muestra en la Figura 3.17, donde se seleccionará el dispositivo HC-05. A continuación el mensaje de la barra pasará de desconectado a conectado.

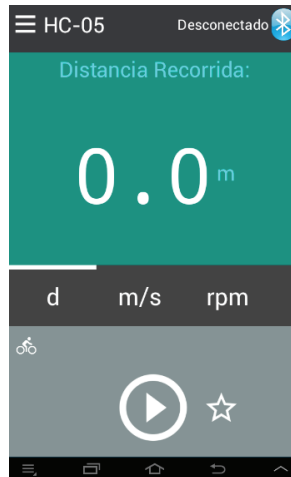


Figura 3.17. Diseño de la pantalla de visualización, app móvil del prototipo.

En el entorno blocks, se programa la conexión bluetooth, antes de seleccionar el dispositivo, el programa carga todos los dispositivos emparejados con el celular, como se muestra en la Figura 3.18.

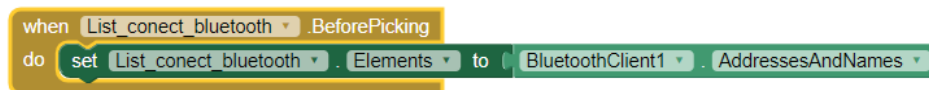


Figura 3.18. Programación del bluetooth antes de la conexión.

Luego de seleccionar el dispositivo HC-05, se entabla una conexión y el dispositivo se encuentra listo para transmitir y recibir datos, como se muestra en la Figura 3.19.

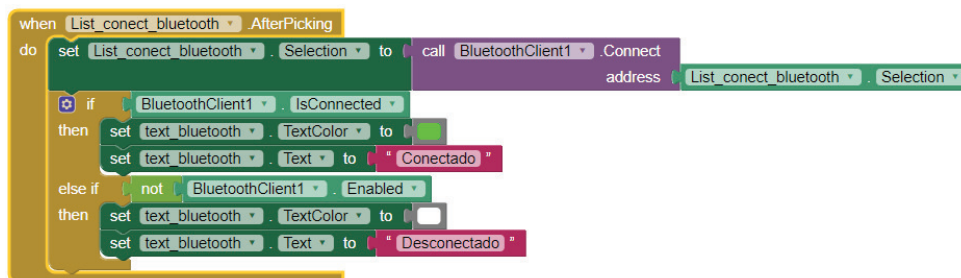


Figura 3.19. Programación de conexión del bluetooth.

En la barra de menú principal también se encuentra un botón para desplegar un menú lateral, donde se puede reiniciar los datos, desconectar el vínculo bluetooth, salir de la aplicación y un texto con información de la aplicación, como se muestra en la Figura 3.20.



Figura 3.20. Menú lateral de la aplicación móvil.

3.2.3.2 Display

En esta sección se visualiza los datos con sus respectivas unidades, obtenidos de los sensores, en la opción luces, el display cambia a una botonera para encender o apagar la luminaria led del prototipo, como se muestra en la Figura 3.21.

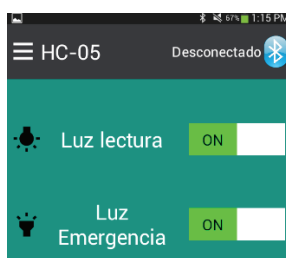


Figura 3.21. Botonera luminaria led de la app móvil.

Para visualizar los datos en el display, es necesario, crear una variable global donde se almacene el paquete de datos enviado por el microcontrolador, con la ayuda de un reloj los datos receptados se separan en variables diferentes, para ser visualizadas independientemente, como se muestra en la Figura 3.22.

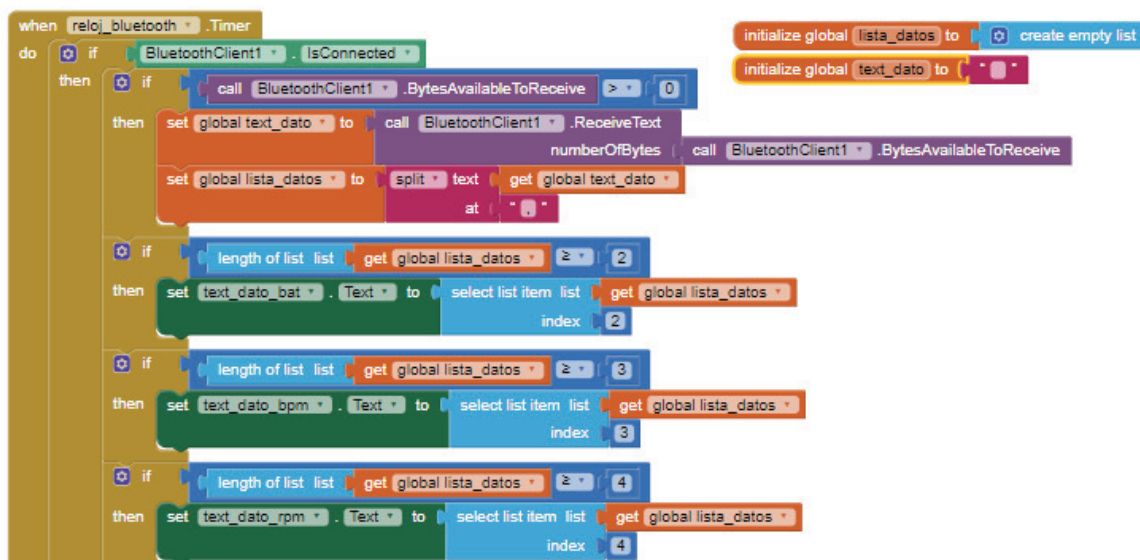


Figura 3.22. Programación para visualizar los datos recibidos.

3.2.3.3 Barra de menú selección

En esta barra de menú se selecciona la variable que se desea conocer o monitorear su estado, se tiene la distancia recorrida, velocidad, rpm, calorías quemadas, bpm, porcentaje de batería, tiempo de duración y el control de la luminaria led, como se muestra en la Figura 3.23.



Figura 3.23. Barra de menú sección.

3.2.3.4 Inicialización/Resultados

En esta sección se da la orden de inicio y parada la visualización de los datos, al hacer click en el botón play, inicia la adquisición de datos al igual inicia una animación. Adicional se encuentra un botón de resultados donde se presenta en resumen los datos del usuario durante la utilización del prototipo, como se muestra en la Figura 3.24.

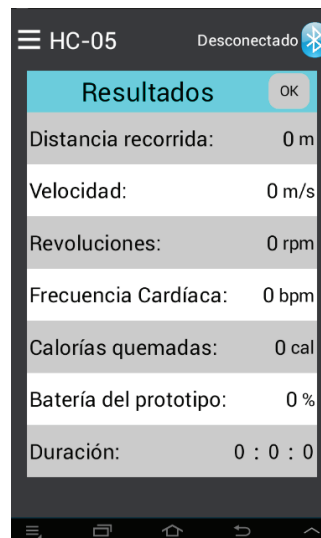


Figura 3.24. Resultados durante la utilización del prototipo.

3.3 ELABORACIÓN DE PLACAS ELECTRÓNICAS

Para la elaboración de las placas electrónicas del prototipo, se realizaron simulaciones en el software ISIS de Proteus 7, una vez comprobado su funcionamiento simulado, se procede a crear el PCB del circuito con ARES de Proteus 7, donde consta el montaje final de los elementos y las pistas de conexión.

3.3.1 PLACA DE POTENCIA

La placa de potencia consta de la entrada del voltaje de la batería, la protección ante sobrecorriente, la adquisición de la corriente y voltaje mediante sensores. Los convertidores estáticos DC-DC reductores que alimentan a los diferentes periféricos del prototipo y se realiza la activación del regulador de voltaje del alternador. En la Figura 3.25 se presenta la simulación, en la Figura 3.26 el PCB y en la Figura 3.27 se presenta la placa de potencia.

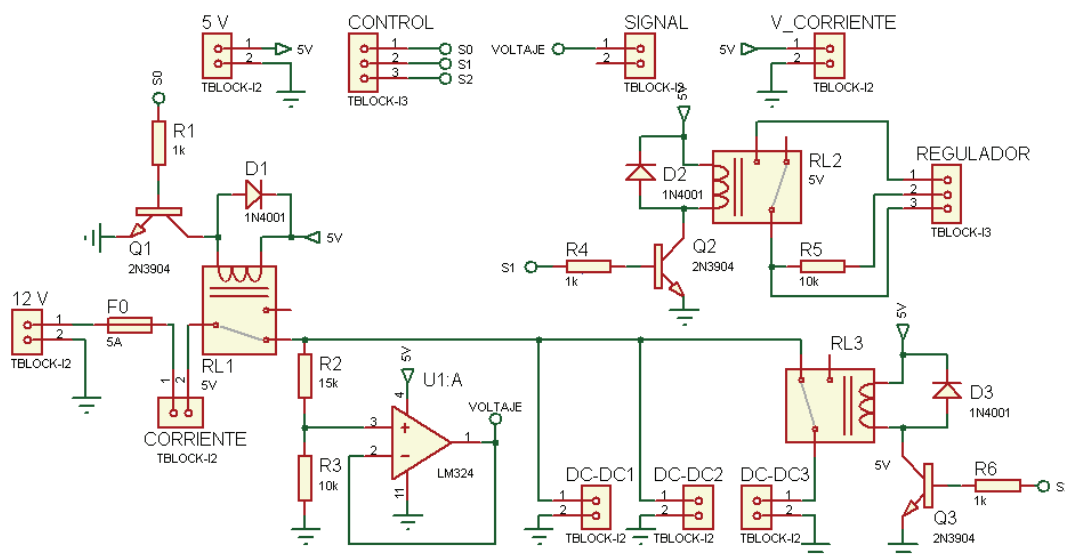


Figura 3.25. Esquema electrónico en ISIS de Proteus 7, placa de potencia.

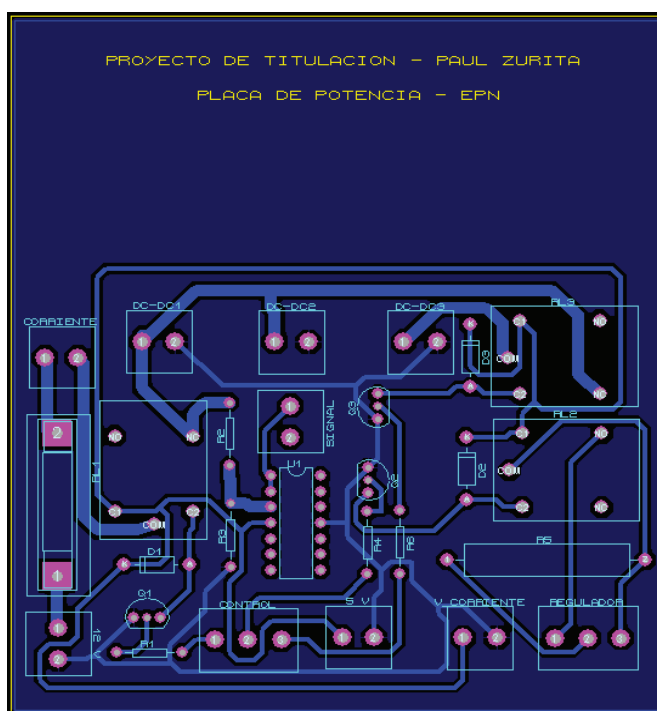


Figura 3.26. PCB en ARES de Proteus 7, placa de potencia.

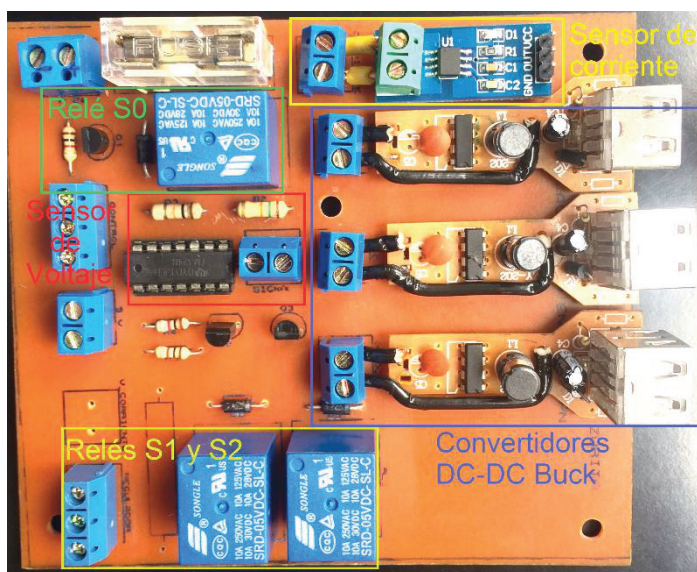


Figura 3.27. Placa de potencia, montaje final de los elementos.

3.3.2 PLACA DE CONTROL

La placa de control está constituida por el microcontrolador Atmega 164p, entradas de los sensores, conexión con el HMI del prototipo, reloj externo, pulsadores, switch electrónico y conexión con el módulo bluetooth para entablar una comunicación inalámbrica. En la Figura 3.28 se muestra la simulación de la placa de control.

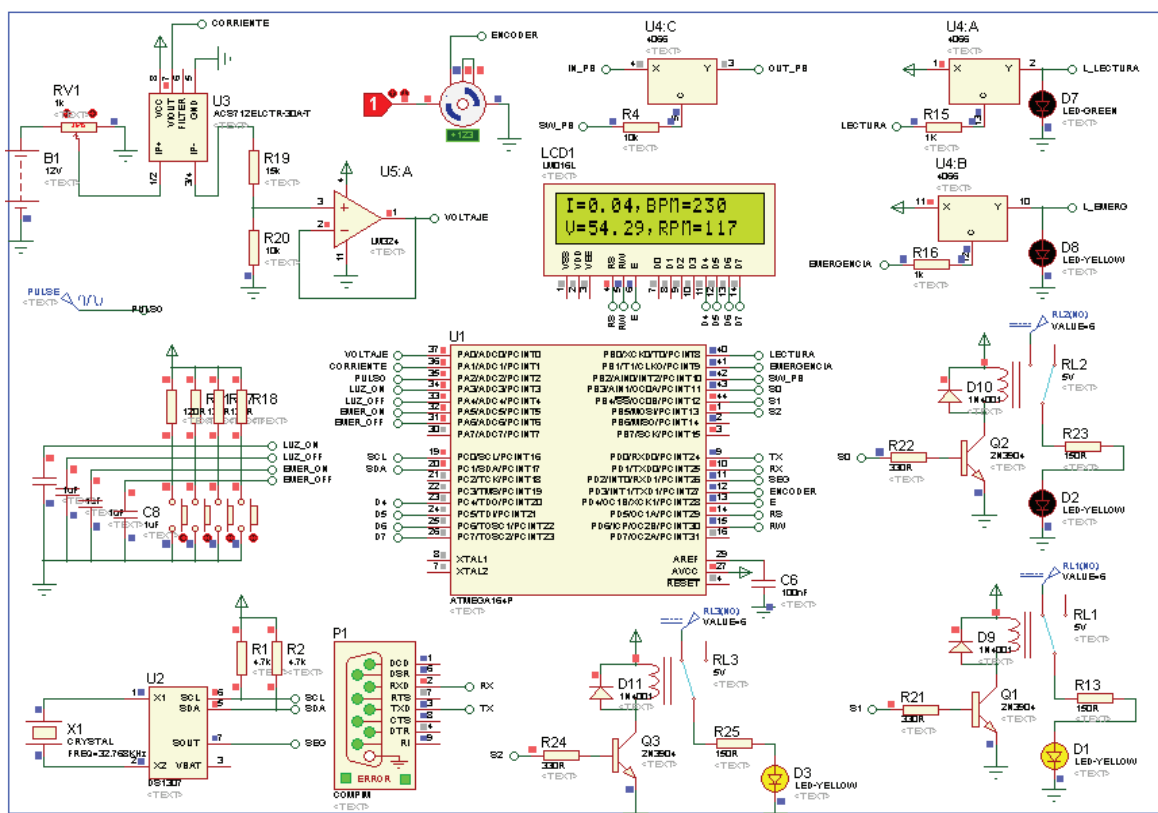


Figura 3.28. Esquema electrónico en ISIS de Proteus 7, placa de control.

En la Figura 3.29 se muestra el PCB de la placa, en la Figura 3.30 se muestra la placa de control y en la Figura 3.31 se muestra el prototipo final.

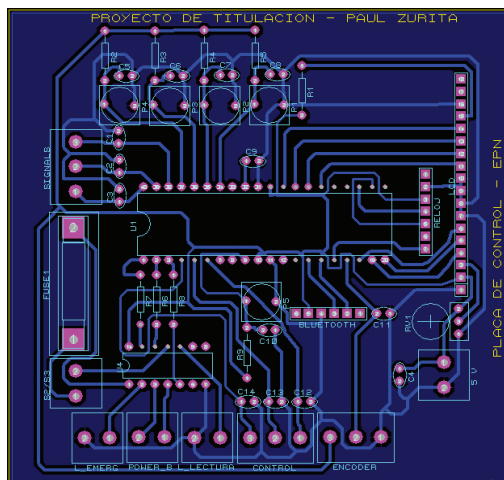


Figura 3.29. PCB en ARES de Proteus 7, placa de control.

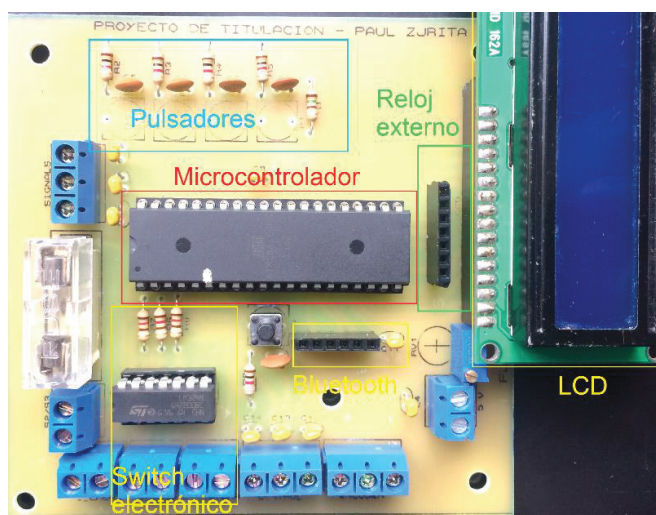


Figura 3.30. Placa de control, montaje final de los elementos.

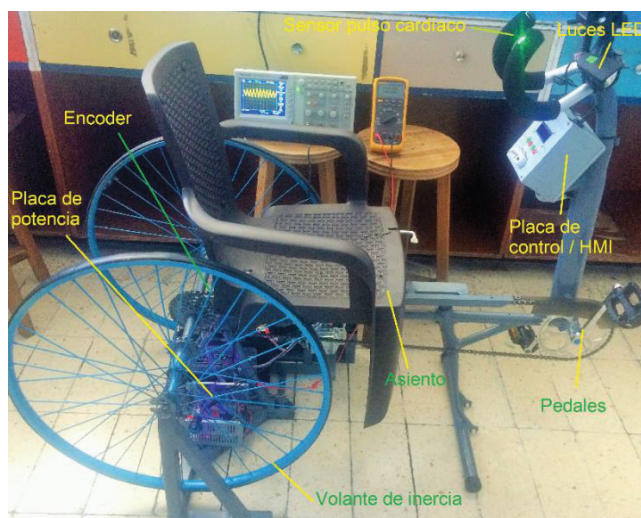


Figura 3.31. Prototipo electrónico de máquina isotónica autosustentada con energía de humano-propulsión.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En este capítulo se realizan las pruebas necesarias para obtener el correcto funcionamiento del prototipo, para ello se efectúa pruebas de los componentes más representativos del sistema con la ayuda de medidores externos como el osciloscopio, multímetro, tacómetro y oxímetro para convalidar la información de los elementos que integran el sistema.

4.1 PRUEBA DE GENERACIÓN DE VOLTAJE

Se realiza una medición en el borne B+ que es la salida positiva de voltaje del alternador, para realizar esta medición se desconecta el terminal de la batería y se conecta con el osciloscopio para obtener la forma de onda, como se muestra en la Figura 4.1.

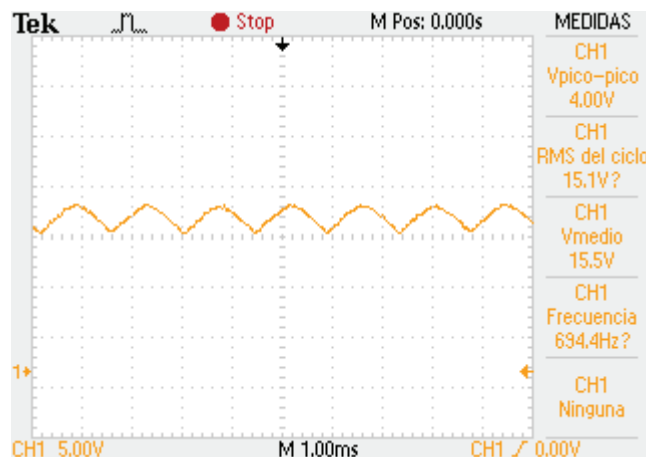


Figura 4.1. Forma de onda del voltaje generado por el alternador.

En la forma de onda se observa un rizado con voltaje pico a pico de 4 V y un voltaje medio de 15.5 V. En la Figura 4.2 se observa el valor de la corriente.



Figura 4.2. Valor de la corriente generada por el alternador.

Con la Ecuación (2.7) se calcula la potencia eléctrica saliente del sistema.

$$P(t) = V(t) * i(t)$$

$$P(t) = 15.5 V * 2.63 A$$

$$P(t) = 40.77 W$$

Con la Ecuación (2.8) se calcula el rendimiento del sistema, donde la potencia mecánica calculada es aproximadamente 102 W.

$$\eta = \frac{\text{Potencia eléctrica}}{\text{Potencia mecánica}} * 100$$

$$\eta = \frac{40.77 W}{102 W} * 100$$

$$\eta = 40 \%$$

La eficiencia obtenida refleja un bajo valor con respecto a la potencia mecánica de entrada, alrededor del 50 % se pierde en fricción, sea por el sistema mecánico de plato-piñón con cadena, poleas con bandas, anillos rozantes e inducido del rotor en el alternador.

La eficiencia presenta un bajo valor debido a que la potencia mecánica con la que se calcula la eficiencia es teórica y se trabaja en un estado ideal de los valores, para obtener un valor más real, se debería realizar un análisis mecánico tomando esfuerzos y torques en cada una de los puntos de interés.

4.2 PRUEBA DE REGULADOR DE VOLTAJE DE BATERÍA

La prueba en el regulador se lo realiza midiendo la corriente en el terminal que alimenta el campo del rotor en el alternador, de igual modo se mide el voltaje que entrega el regulador, una de las medidas de corriente se muestra en la Figura 4.2. y en la Figura 4.3 se muestra la forma de onda de voltaje del regulador.

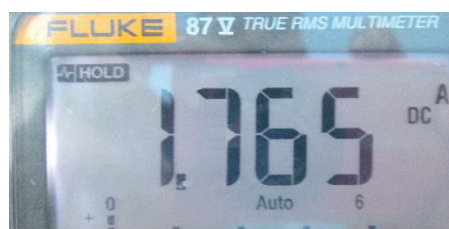


Figura 4.2. Corriente de alimentación al campo del rotor.



Figura 4.3. Voltaje generado por el regulador hacia el alternador.

Como se puede observar en la Figura 4.2 y 4.3 la corriente y el voltaje generado por el regulador corresponde a los valores regulares que debe ingresar al campo del alternador, de esta manera se asegura el funcionamiento del alternador. La corriente y el voltaje son directamente proporcional a las revoluciones reflejadas en eje del alternador.

Con la Ecuación (2.7) se calcula la potencia eléctrica del regulador.

$$P(t) = V(t) * i(t)$$

$$P(t) = 9.78 V * 1.7A$$

$$P(t) = 16.6 W$$

La potencia eléctrica generada por el regulador del alternador es 16.6 W. El valor de la potencia varía en el tiempo y está determinado por la corriente que requiera el alternador.

4.3 PRUEBA DE LAS SEÑALES ACONDICIONADAS

Se realiza las pruebas de las señales acondicionadas, provenientes de los sensores.

4.3.1 VOLTAJE

El voltaje acondicionado para el ingreso en el microcontrolador se mide en los bornes de la batería, esta medición es transformada a porcentaje para su posterior visualización tanto en el LCD como la aplicación de dispositivos móviles.

En la Figura 4.4 se muestra el voltaje obtenido mediante la medición con el osciloscopio y en la Figura 4.5 se muestra el valor obtenido en el LCD.

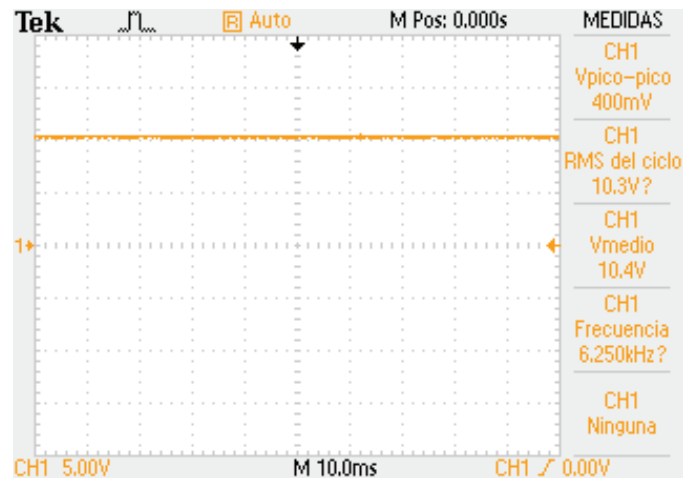


Figura 4.4. Voltaje del bus DC, bornes de la batería



Figura 4.5. Voltaje sentido, visualización en LCD.

Con los valores obtenidos se puede obtener un error para verificar el funcionamiento de sensado de voltaje, se toma como valor real el valor medido por el osciloscopio y se transforma de porcentaje a un valor en voltios el valor medido.

$$\text{Valor medido} = \frac{\text{medida en Volts} \times \text{porcentaje}}{100 \%} \quad (4.1)$$

$$\text{Valor medido} = \frac{15.5V \times 70\%}{100 \%}$$

$$\text{Valor medido} = 10.85 V$$

$$\text{Error}\% = \frac{\text{Valor real} - \text{Valor medido}}{\text{Valor real}} \times 100 \quad (4.2)$$

$$\text{Error}\% = \frac{10.4 - 10.85}{10.4} \times 100$$

$$\text{Error}\% = 4.3 \%$$

Se puede observar que el error es aceptable y que la medición de voltaje es correcta.

4.3.2 CORRIENTE

La corriente que ingresa al sistema, la entrega la batería, para lograr la medición de corriente se coloca un amperímetro entre el borne positivo de la batería y la placa de potencia. En la Figura 4.6 se muestra el valor de la corriente obtenida por el multímetro y en la Figura 4.7 se muestra la corriente obtenida por el sensor.

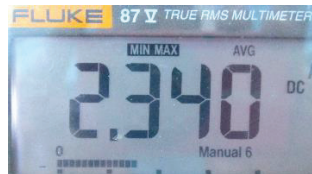


Figura 4.6. Corriente entregada por la batería.

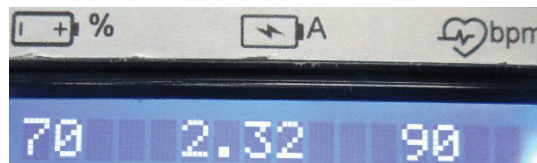


Figura 4.7. Corriente, visualización en LCD.

En la Figura 4.7 se observa el valor de corriente sentido por el sensor ACS712 y se calcula el error, tomando como valor real el valor marcado por el amperímetro.

$$Error\% = \frac{Valor\ real - Valor\ medido}{Valor\ real} \times 100 \quad (4.2)$$

$$Error\% = \frac{2.34 - 2.32}{2.34} \times 100$$

$$Error\% = 0.85 \%$$

En error de la medición es aceptable menor al 5 %, el error se debe en gran medida al constante ingreso y consumo de la corriente en la batería.

4.3.3 FRECUENCIA CARDÍACA

Para poder comparar el valor obtenido mediante el sensor de pulso cardiaco Amped colocado en el prototipo, se toma la medida de la frecuencia cardiaca del mismo usuario con la ayuda de un pulsómetro digital, como se muestra en la Figura 4.8.



Figura 4.8. Sensado de la frecuencia cardiaca, antes y después de colocar el dedo pulgar en el sensor.

Como se puede observar el valor en la medición del sensor se aproxima al valor obtenido del pulsómetro, con lo cual se puede calcular el error.

$$Error\% = \frac{64 - 63}{64} \times 100 = 1.54 \%$$

Se puede observar que es un error aceptable y que las variaciones entre el pulsómetro y el sensor en el prototipo se deben a que cada dedo tiene una irrigación sanguínea diferente, además se debe tener en cuenta la presión con la que se coloque el dedo pulgar en el sensor.

4.3.4 ENCODER, RPM

Las revoluciones por minuto, al igual que la velocidad, distancia recorrida se las determina con el encoder situado en el volante de inercia del prototipo, para obtener una medida comparativa se utiliza un tacómetro.

En la Figura 4.9 se muestra el valor obtenido por el tacómetro y en la Figura 4.10 se muestra el valor de las revoluciones obtenidas con el encoder.



Figura 4.9. Medición de las rpm, tacómetro.

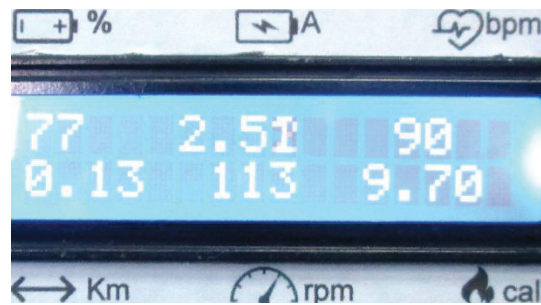


Figura 4.10. Medición de las rpm, encoder.

Se calcula el error en la medición, tomando como valor real la medición obtenida con el tacómetro.

$$Error\% = \frac{119 - 113}{119} \times 100 = 5.04 \%$$

El error es aceptable y se debe en gran medida al pedaleo no constante del usuario y oscilaciones mecánicas generadas en el volante de inercia.

4.4 PRUEBA DE RECEPCIÓN Y TRANSMISIÓN

La transmisión de datos se la realiza mediante bluetooth, a través de un teléfono celular o tableta con sistema operativo Android, como se puede observar en las mediciones de los sensores anteriores, la transmisión se efectúa de manera óptima y se visualiza los datos en la pantalla de la aplicación, los datos son recopilados y se los puede obtener haciendo click en el botón de resultados.

En la Figura 4.11 se muestra una fotografía tomada del menú resultados dentro de la aplicación para dispositivos con sistema operativo Android.

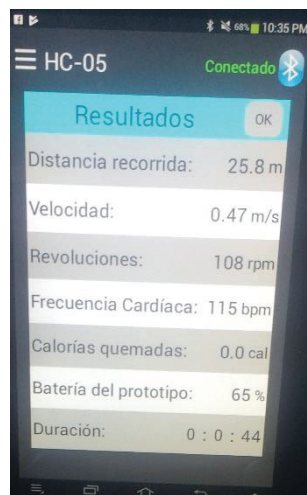


Figura 4.11. Transmisión de información y visualización de resultados.

4.5 PRUEBA DE ENCENDIDO Y APAGADO LUMINARIA LED

La activación y desactivación de la luminaria led de lectura y emergencia se la efectúa de manera local en el dispositivo a través de la botonera y mediante la aplicación para dispositivos móviles. En la Figura 4.12 se muestra el encendido de la luminaria de lectura y como se visualiza en la aplicación Android.

En la Figura 4.13 se muestra el encendido de la luminaria led de emergencia y como se visualiza en la aplicación para dispositivos móviles con sistema operativo Android.

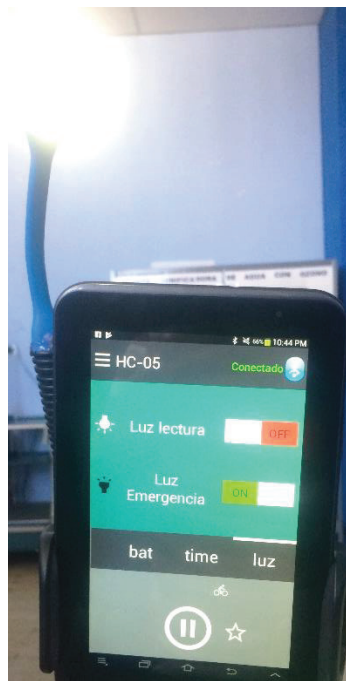


Figura 4.12. Encendido de la luminaria led de lectura

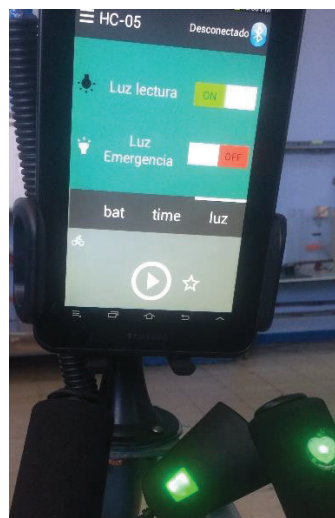


Figura 4.13. Encendido de la luminaria led de emergencia

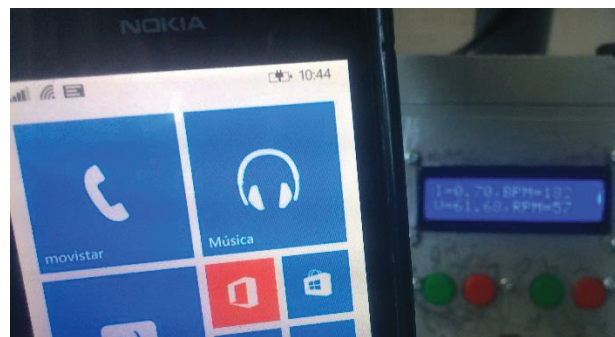
4.6 PRUEBA DE ALIMENTACIÓN DE DISPOSITIVOS

Se realiza la prueba final de funcionamiento, sometiendo al prototipo a la máxima utilización, que conlleva la carga simultanea de dos dispositivos móviles conectados a los puertos de carga USB, el encendido de la luminaria led de lectura y emergencia, encendido y recepción de información de los sensores y la alimentación del regulador de voltaje de la batería y las placas electrónicas del prototipo.

En la Figura 4.14 se muestra los dispositivos conectados a los puertos de carga utilizando de forma simultanea la luminaria led del prototipo.



a)



b)



c)

Figura 4.14. a) Visualización de las variables en LCD, encendido de luminaria LED y carga de 2 dispositivos, b) Dispositivo 1 alimentado y c) Dispositivo 2 alimentado.

4.7 ESTIMACIÓN DEL COSTO ECONÓMICO

La estimación del costo económico del sistema está determinado por el costo económico de la materia prima y los materiales, más el costo económico de producción que incluye la el trabajo realizado en diseño e implementación.

En la Tabla 4.1 se muestra el tipo de material o materia prima utilizada, la cantidad, su precio unitario y costo de todas las unidades.

Tabla 4.1. Costos de la materia prima del prototipo.

MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO USD	COSTO TOTAL USD
Bicicleta reciclada	1	15	15
Batería automóvil 12v	1	60	60
Alternador + regulador reciclado	1	25	25
Tubo cuadrado 1m	3	1.50	4.50
Platina 1m	2	1.20	2.40
Regulador asiento reciclado	1	8	8
Banda C-80	1	8	8
Cadena	1	1.50	1.50
Asiento plástico	1	12	12
Pintura	4	1.20	4.80
Caja metálica recicladas	2	1	2
Soporte celulares	1	10	10
Linterna led emergencia	1	21	21
Luz led lectura	1	4	4
Power Bank	1	14	14
Sensor de corriente AC712	1	6	6
Sensor de pulso cardiaco	1	9	9
Sensor de velocidad	1	5	5
Reloj DS1307	1	4	4
Modulo Bluetooth HC-05	1	7	7
LCD 16x2	1	5	5
Atmega 164p	1	6	6
Convertidores DC-DC	3	3	9

MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO USD	COSTO TOTAL USD
Baquelita 10x20	2	2.50	5
Relé 5v	3	0.50	1.50
Borneras	15	0.30	4.50
Switch 4066	1	0.50	0.50
LM324	1	0.50	0.50
Foco 12v 2W	1	1.50	1.50
Resistencia	14	0.02	0.28
Capacitores	12	0.05	0.60
Diodos	5	0.05	0.25
Transistores	3	0.05	0.15
Pulsadores	5	0.30	1.50
Fusibles	2	0.15	0.30
Cable par trenzado 1 m	2	0.60	1.20
Cable 16 AWG 1m	1	0.50	0.50
		TOTAL	261.48 USD

El costo económico de producción mano de obra, diseño e implementación se visualiza en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Costo económico de producción.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO USD	COSTO TOTAL USD
Mano de obra	1	400	400
Diseño y construcción	1	400	400
		TOTAL	800

Se observa que el costo total para la elaboración del prototipo es de **1061,48 USD**, este costo inicialmente es alto por ser el primer prototipo, también se debe a que algunos precios de materiales comprados por unidad son bastante altos, sin embargo es un precio competitivo con una máquina de ejercicio para extremidades inferiores y con una planta de energía de pequeña potencia DC.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de la realización de pruebas y con los resultados obtenidos, se ha llegado a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

5.1 CONCLUSIONES

- El presente proyecto ha cumplido con los objetivos planteados, se diseñó e implementó un máquina de ejercicio isotónico que sensa parámetros como la frecuencia cardiaca, revoluciones por minuto y determina la distancia recorrida, velocidad y tiempo de ejecución, además de generar energía eléctrica para su auto sustentación tanto como para generar energía para cargar dispositivos de baja potencia y controlar un sistema de iluminación, siendo monitoreado el sistema en general mediante una aplicación para dispositivos móviles con sistema operativo Android.
- El modo de control implementado durante la utilización del prototipo, se encarga de prever que el sistema se quede sin voltaje en la batería o se descargue a su mínima capacidad, sensando el voltaje y corriente en la fuente de almacenamiento, para garantizar el correcto funcionamiento del prototipo y alarga la vida útil de la batería.
- Se implementó el diseño mecánico tomando en consideración las revoluciones necesarias para generar energía eléctrica, tomando en cuenta que la corriente de excitación que controla el campo del rotor es directamente proporcional al número de revoluciones que se transfieran al eje del alternador, estableciendo un rango mínimo de 700 rpm para generar energía eléctrica aprovechable.
- El rendimiento de generación eléctrica del sistema se ve afectado en gran medida por la fricción en los sistemas de transmisión mecánica de energía como son el sistema de plato-piñón unido por una cadena, el sistema de

poleas unidas por banda y el sistema de alimentación del rotor del alternador mediante anillos rozantes.

- La simulación con un software computacional ofrecen una visión aceptable del resultado en cuanto a medición de variables, no obstante en la parte de implementación es imprescindible la observación, calibración y corrección en la medición de variables.
- Las interfaces con el usuario, ya sea local mediante la visualización en el LCD o remota en la pantalla del celular o Tablet a través de la aplicación móvil se diseñaron para visualizar y almacenar las variables sensadas en el proyecto, monitorizando el desempeño, fallas del sistema y el estado del usuario.
- La comunicación inalámbrica bluetooth con el teléfono celular permite entablar una comunicación segura a varias velocidades de transmisión con una cobertura de hasta 10 m, para monitorizar los parámetros y encender la luminaria led a distancia, como medida de emergencia o seguridad.
- Las variables obtenidas como velocidad, rpm, distancia recorrida, tiempo de duración en conjunto con la medida del pulso cardíaco, se las puede utilizar para crear un plan de entrenamiento mediante ejercicios a las extremidades inferiores y monitorizar el avance en cada sesión.
- La generación de energía eléctrica de pequeña potencia, como en el actual proyecto, sería de mucha utilidad en sectores rurales donde no existe un sistema eléctrico público o su servicio es deficiente, o en lugares donde se lo puede utilizar además de un sistema de generación de emergencia como un sistema de análisis de la salud humana.
- La implementación de la máquina eléctrica de ejercicio isotónico, es una manera viable para producir energía eléctrica de baja potencia, realizar ejercicio isotónico de las extremidades inferiores y ejercicio cardiovascular,

además es una forma medioambiental sostenible de involucrar a las personas a la utilización de energías alternativas, concientizar sobre el consumo desmesurado de la energía y la reutilización de recursos mediante el reciclaje.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda antes de realizar alguna acción dentro del prototipo, leer el manual de usuario y de realizar los trabajos necesarios de manera preventiva que constan en el manual de mantenimiento del proyecto.
- Se recomienda que en la fase de diseño y posteriormente en la implementación, se tome en cuenta las fuerzas de rozamiento presentes en el sistema, ya sea en el sistema de transmisión mediante cadena, banda y poleas ya que cada rozamiento adicional disminuye el rendimiento final del sistema.
- Se recomienda tomar en cuenta el tipo de material a utilizar, dando preferencia a trabajar con elementos resistentes de bajo peso, como el aluminio, al reducir el peso aumentamos la eficiencia del sistema.
- Adicionalmente para mejorar y aprovechar el sistema de generación y almacenamiento de energía se puede colocar otra batería con un sistema independiente o sistema dual de carga, la energía almacenada puede ser utilizada para más aplicaciones.
- Se recomienda, con el afán de mejorar la visualización de la aplicación para dispositivos móviles, realizarla en Android Studio, que es un programa de uso profesional para crear aplicaciones.
- Se recomienda realizar más proyectos interdisciplinarios de generación de energía en la Escuela Politécnica Nacional, apostando por la generación medioambientalmente sostenible y la reutilización de recursos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio de electricidad y energía renovable, “Electrificación con energías renovables”, Ecuador, 2014, pp. 1.
- [2] Instituto Tecnológico de Canarias, “Energías renovables y eficiencia energética”, Canarias, 2008, pp. 5-9.
- [3] Paz Ávila, «Energías renovables convencionales y no convencionales», 2005. [En línea]. Disponible: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=263>. [Último acceso: 20 Enero 2017].
- [4] Terra ecología práctica, «Energía de propulsión humana en bicicleta », 2010. [En línea]. Disponible: <http://www.terra.org/categorias/articulos/energia-de-propulsion-humana-en-bicicleta>. [Último acceso: 21 Enero 2017].
- [5] Allen H., “Ciclismo entrenamiento avanzado”, España, Tutor, 2013, pp. 25-26.
- [6] Health Keeper, «Ejercicios isotónicos», 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.axahealthkeeper.com/blog/ejercicios-isotonicos/>. [Último acceso: 15 Febrero 2017].
- [7] J. M. Good, O. Gregory, “Gymnasticon”, Londres, Cyclopedia, 1819.
- [8] Fitseven, «Máquinas de gimnasio», 2014. [En línea]. Disponible: <http://fitseven.net/vida/articulos-deportivos/maquinas-de-gimnasio>. [Último acceso: 19 Febrero 2017].
- [9] Herlihy D., “Bicycle: The History”, Estados Unidos, Yale University Press, 2004, pp. 200-250.
- [10] Decathlon, «Bicicleta estática E seat», 2017. [En línea]. Disponible: https://www.decathlon.es/bicicleta-estatica-e-seat-id_8372431.html. [Último acceso: 22 Febrero 2017].
- [11] ONU, “Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks”, Geneva, 2009, pp. 35-38.

- [12] Aguirre I., « Expo Astana 2017», 2017. [En línea]. Disponible: <http://www.viewpictures.co.uk/expo-astana-part-2/>. [Último acceso: 10 Agosto 2017].
- [13] Onicrono, «Esta bicicleta es el vehículo propulsado por un humano más rápido del planeta», 2016. [En línea]. Disponible: <http://omicronno.elespanol.com/2016/09/bicicleta-mas-rapida/>. [Último acceso: 5 Marzo 2017].
- [14] IHPVA, «Vehículo aéreo de propulsión humana», 2016. [En línea]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_a%C3%A9reo_de_propulsi%C3%B3n_humana. [Último acceso: 5 Marzo 2017].
- [15] Sinc, «Un nuevo generador convierte el movimiento en electricidad», 2014. [En línea]. Disponible: <http://www.agenciasinc.es/Noticias/Un-nuevo-generador-convierte-el-movimiento-humano-en-electricidad>. [Último acceso: 6 Marzo 2017].
- [16] Vida más verde, « ¿Cómo generar energía renovable con solo caminar? », 2014. [En línea]. Disponible: <http://vidamasverde.com/2014/cmo-generar-energa-renovable-con-solo-caminar/>. [Último acceso: 2 Marzo 2017].
- [17] Biodic, « Cicloergómetro », 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.biodic.net/palabra/cicloergometro/#.WZFXBVXyjIV>. [Último acceso: 6 Marzo 2017].
- [18] Billons in change, « Hands Free Electric », 2015. [En línea]. Disponible: <http://billionsinchange.com/solutions/free-electric/>. [Último acceso: 12 Mayo 2017].
- [19] Kuznetsov, “Fundamentos de Electrotecnia”, Moscú, Editorial Mir, 1967, pp. 15-16.
- [20] FCE, « El ABC de las baterías », 2013. [En línea]. Disponible: <http://forococheselectricos.com/2013/02/especial-baterias-parte-i-el-abc-de-las.html>. [Último acceso: 7 Marzo 2017].

- [21] SENA, « Electricidad Automotriz », 2012. [En línea]. Disponible: http://www.academia.edu/19039661/BATERIA_ARRANQUE_CARGA. [Último acceso: 21 Enero 2017].
- [22] Mohan N., Undeland and Robbin, “Power Electronics: Converters, Application and Design”, tercera edición, México D.F., McGraw Hill, 2009, pp 142-144. [Último acceso: 7 Abril 2017].
- [23] Halliday D., Resnick R. y Walker J., “Física”, volumen 2, quinta edición, México., Ayal ediciones, 2002, pp 70, 146, 261-270. [Último acceso: 16 Abril 2017].
- [24] “Alternator Toyota Forklift 27020-2201”. [En línea]. Disponible: <https://www.amazon.com/Alternator-27020-12011-27020-12012-27020-22010-27020-22011/dp/B01AGRKDS0> [Último acceso: 19 Abril 2017].
- [25] Nosso, “Voltaje de Saturación del regulador y Excitación del Alternador”. [En línea]. Disponible: http://www.nosso.com.ar/spanish/tech_topics/voltaje_saturacion01.php [Último acceso: 22 Abril 2017].
- [26] Nosso, “Designación de terminales”. [En línea]. Disponible: http://www.nosso.com.ar/spanish/tech_topics/terminal_designation.php [Último acceso: 23 Abril 2017].
- [27] “Power bank Remax”. [En línea]. Disponible: <https://egypt.souq.com/eg-en/remax-10000-mah-proda-series-power-bank-white-9557796/i/>. [Último acceso: 12 Marzo 2017].
- [28] “Vdc conversión”. [En línea]. Disponible: <https://rayshobby.net/24vac-to-5vdc-conversion/> [Último acceso: 12 Marzo 2017].
- [29] “Convertidor DC-DC SP8406”. [En línea]. Disponible: <http://www.qcsemi.com/SP84064.html>. [Último acceso: 12 Marzo 2017].
- [30] “Módulo ACS712 sensor de corriente 30 A”, 2014. [En línea]. Disponible: <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=213027.0>. [Último acceso: 12 Marzo 2017].

- [31] “Sensor óptico de barrera LM393”, 2013. [En línea]. Disponible: <https://img.banggood.com/thumb/view/2014/xiemeijuan/03/SKU201381/SKU201381A.jpg>. [Último acceso: 12 Marzo 2017].
- [32] “Sensor de Pulso Amped”, 2011. [En línea]. Disponible: <https://pulsesensor.com/pages/pulse-sensor-amped-arduino-v1dot1>. [Último acceso: 14 Marzo 2017].
- [33] “Módulo DS1307 reloj externo”, 2012 [En línea]. Disponible: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>. [Último acceso: 14 Marzo 2017].
- [34] “Módulo DS1307 reloj externo versión comercial”, 2017. [En línea]. Disponible: https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-426758715-modulo-reloj-de-tiempo-real-rtc-ds1307-_JM. [Último acceso: 15 Marzo 2017].
- [35] “Integrado CMOS 4066 switch electrónico”, 2017. [En línea]. Disponible: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4066b.pdf>. [Último acceso: 15 Abril 2017].
- [36] “Ficha técnica batería Motorex”, 2017. [En línea]. Disponible: http://www.conauto.com.ec/wp-content/uploads/2016/12/Catalogo_Baterias_Motorex.pdf [Último acceso: 15 Abril 2017].
- [37] “Módulo bluetooth HC05 master/slave”. [En línea]. Disponible: <https://www.mcucity.com/product/745/hc-05-bluetooth-serial-module-rs232-ttl-for-arduino>. [Último acceso: 15 Abril 2017].
- [38] “Microcontrolador Atmega 164P”, 2016. [En línea]. Disponible: http://www.atmel.com/Images/Atmel-42742-ATmega164P_Datasheet.pdf. [Último acceso: 12 Julio 2017].
- [39] MIT, “MIT app inventor”, 2017. [En línea]. Disponible: <http://appinventor.mit.edu/explore/about-us.html>. [Último acceso: 12 Septiembre 2017].

ANEXO A

MANUAL DE USUARIO

CONTENIDO

A.1 SEGURIDAD

A.2 INICIO

A.3 CONEXIÓN BLUETOOTH

A.4 POSIBLES FALLAS Y SOLUCIONES

A.1 SEGURIDAD

Lo invitamos a leer las instrucciones de este manual antes de utilizar el equipo.

- **¡PRECAUCIÓN!** Este equipo trabaja con una batería de alto amperaje con riesgo de explosión, corrosión y cortocircuito.
- Mantenga el equipo en un ambiente ventilado.
- **SERVICIO TÉCNICO CALIFICADO** Solo personal calificado puede instalar o reparar este producto.
- Use solo baterías y accesorios aprobados por el diseño del equipo.
- **MANTENGA EL EQUIPO SECO.** El equipo no es resistente al agua. Manténgalo seco.
- **PROTEJA SUS MANOS.** Al realizar el ejercicio en el equipo, los volantes de inercia giran a altas revoluciones y la cadena que une plato con piñón también. Mantenga alejadas manos y cualquier otro objeto.

A.2 INICIO

Antes de comenzar a usar el equipo, asegúrese que estén conectados dos cables rojos con conectores lagartos al borne positivo de la batería y un cable negro con conector lagarto negro al borne negativo de la batería.

- Con la palanca situada debajo del asiento del equipo, regule la distancia del asiento a los pedales (altura mínima: 1.50 m).
- Coloque los dispositivos, si se requiere, en los puertos de carga, existen dos puertos, uno de ellos de 1 A y otro de 2 A.
- Coloque uno de ellos en el soporte para celulares para su mayor comodidad.

- Tome asiento, apoye la planta de sus zapatos en los pedales y comience con el uso del equipo.
- Monitoree su avance y variables en el LCD incluidos en el equipo.

A.3 CONEXIÓN BLUETOOTH

Para poder entablar una comunicación inalámbrica con la aplicación para dispositivos móviles, siga las siguientes instrucciones:

- Su dispositivo celular o Tablet debe funcionar con el sistema operativo Android.
- Instale la aplicación para dispositivos móviles.
- Una vez instalada la aplicación, encienda el bluetooth del dispositivo.
- Vincule el equipo al dispositivo, el nombre del equipo se encuentra como: HC-05.
- Abra la aplicación y haga click en el ícono bluetooth de la aplicación como se muestra en la Figura A.1.

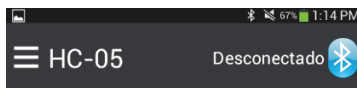


Figura A.1. Ícono bluetooth.

- Se despliega una lista con direcciones de dispositivos, seleccione la opción que tenga en el nombre HC-05.
- Presione el botón play para empezar a recibir la información del equipo.
- Para desconectar el bluetooth, despliegue el menú lateral, seleccione la opción “Desconectar”.

A.4 POSIBLES FALLAS Y SOLUCIONES

A continuación se detallan las posibles fallas que pueden suceder y sus posibles soluciones.

Si el LCD y sensores no se prenden

- Compruebe que estén conectados los cables a los bornes de la batería y estos se encuentren en buen estado sin cortes.
- Compruebe que el voltaje de la batería sea superior a 8 V con carga, si el voltaje es inferior a este valor, la batería debe ser reemplazada.

- Compruebe el estado del fusible de protección en la placa de control.
- Compruebe el estado del relé S0 en la placa de control.

Si no se visualiza los datos en el LCD

- Desatornillar la tapa de la caja de control.
- Girar el potenciómetro de precisión hasta obtener valores en el LCD.
- No carga dispositivos
- Compruebe el cable de conexión de los dispositivos.
- Asegúrese de la corriente que requiere el dispositivo conectado, el puerto de máxima corriente en el equipo es de 2 A.
- No utilice los puertos de carga hasta tener un voltaje con valor de porcentaje en la batería de al menos 60 %.

Lectura alta de bpm

- Compruebe que el sensor esta prendido y emite luz verde brillante.
- Limpie la superficie del sensor.
- No presione muy fuerte con el dedo pulgar al sensor.
- Evite colocar al equipo en lugares con muchas interferencias físicas y electromagnéticas.

Luminaria led no enciende

- Verifique los cables de alimentación de la luminaria LED.
- Verifique el voltaje de salida de los convertidores de voltaje DC-DC.
- Asegúrese que el estado físico de la luminaria se encuentra en buenas condiciones, caso contrario, reemplace luminarias.

ANEXO B

MANUAL DE MANTENIMIENTO

En este manual se encuentra la información necesaria para alargar la vida útil del equipo.

- Desconecte la batería en periodos largos de inactividad del equipo.
- Coloque aceite cada 2 meses en los eslabones de la cadena, plato y piñón del sistema.
- Mantenga limpio los conectores USB.
- Limpie el sistema de volantes de inercia del polvo, grasa u otro agente externo.
- Limpie la polea del alternador del polvo, grasa u otro agente externo.
- Regule la tensión de la banda en el sistema, cada 2 meses, para su correcto funcionamiento, si se encuentra en malas condiciones, reemplazar banda.
- Engrase cada 6 meses los rodamientos del sistema de pedales y los rodamientos del sistema de volante de inercia.

ANEXO C

HOJAS DE DATOS



ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kV_{RMS} minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage




TÜV America
Certificate Number:
UBV 06 05 54214 010



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1 

Description

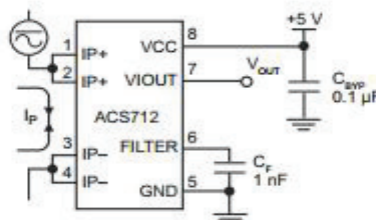
The Allegro® ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current, I_p , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Description (continued)

loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 current sensor to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _P (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{OUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		-0.1	V
Reinforced Isolation Voltage	V _{ISO}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C	2100	V
		Voltage applied to leadframe (I _P + pins), based on IEC 60950	184	V _{peak}
Basic Isolation Voltage	V _{ISO(basic)}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C	1500	V
		Voltage applied to leadframe (I _P + pins), based on IEC 60950	354	V _{peak}
Output Current Source	I _{OUT(source)}		3	mA
Output Current Sink	I _{OUT(sink)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _P	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C

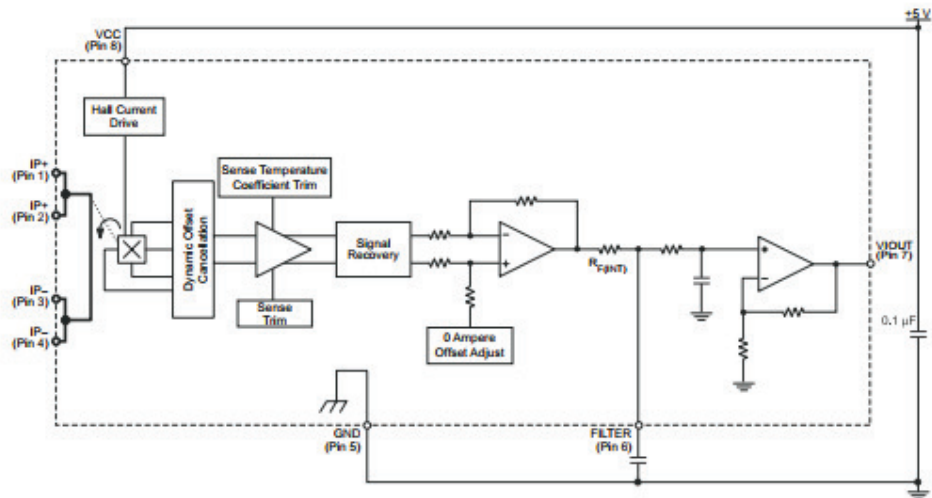
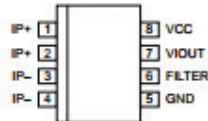
Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Functional Block Diagram**Pin-out Diagram****Terminal List Table**

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sensed; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sensed; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal



DC-DC 降压电路 AD84064

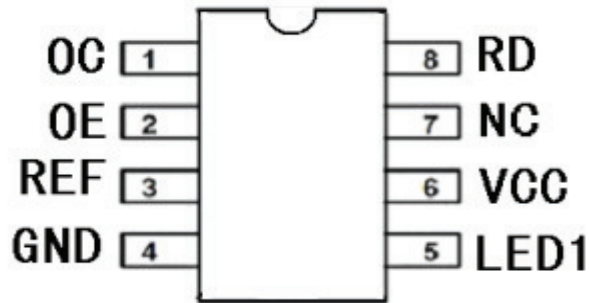
概述:

AD84064 是 DC-DC 降压变换器集成电路，内含温度补偿的参考电压源 (1.25V)、比较器、能有效限制电流及控制工作周期的振荡器、驱动器及大电流输出开关管等，外配少量元件，就能组成 DC-DC 降压电路。与 34063 产品比较，可达到使用最少的外接元件构成开关式降压变换器，广泛适用于汽车充电器、直流降压变换器等产品。

特点:

- 工作电压范围宽：3.0V~30V；
- 输出电流限制功能和输出电流保护功能；
- 静态电流小；
- 输出管电流达 0.8A；
- 工作频率可达 120KHz；
- 输出电压范围如下：
AD84064：5.0V±2.5%；
- 封装形式：Qipai8

管脚排列图:



管脚功能说明:

管脚序号	功能	符号	管脚序号	功能	符号
1	输出管集电极	OC	5	电压输出指示灯	LED1
2	输出管发射极	OE	6	输入电压	VCC
3	电压反馈	REF	7	空	NC
4	地	GND	8	电压识别	RD

内部结构图:

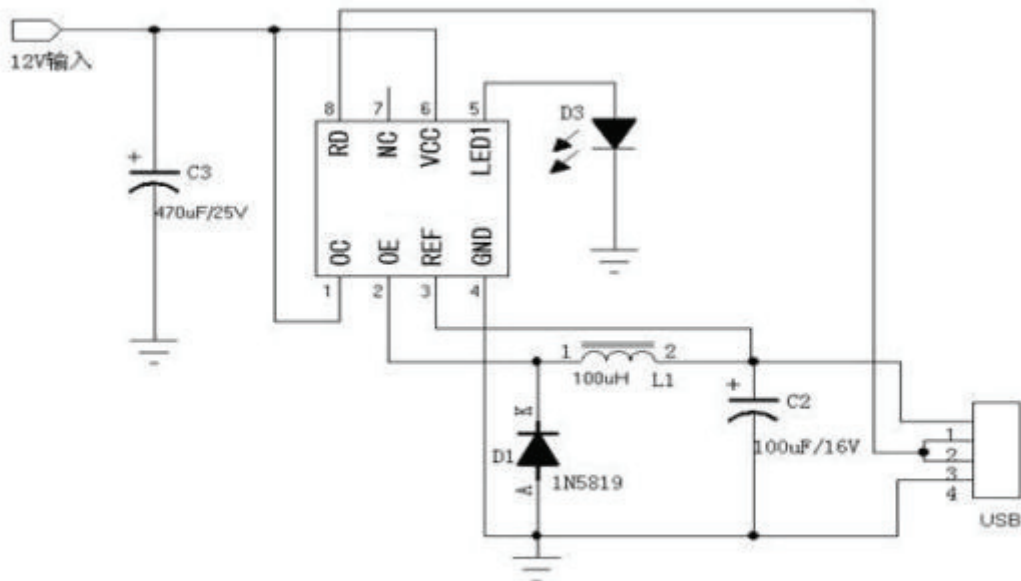
DC-DC 降压电路 AD84064

功耗	P_D		1.25	W
工作环境温度	T_A	0	+70	℃
贮存温度	T_{stg}	-65	+150	℃

电特性 ($V_{CC}=12V$, $T_A=0^{\circ}C\sim 85^{\circ}C$,除非另外规定):

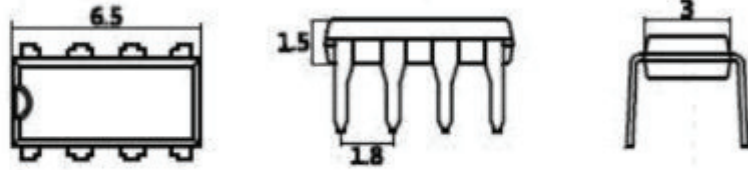
参数名称	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源电压 V_{CC}	接应用电路, 无负载	3.0	12.0	30	V
电源电流 I_{CC}	$V_{sc}=V_{CC}=12V$, 接应用电路, 无负载	--	5.0	8.0	mA
线性调整	$V_{in}=12V\sim 25V$, $I_O=700mA$	--	--	20	mV
负载调整	$V_{in}=12V$, $I_O=50mA\sim 700mA$	--	--	100	mV
输出纹波	$V_{in}=12V$, $I_O=700mA$	--	--	100	mVp-p
短路电流	$V_{in}=25V$, $R_L=0.1\Omega$	--	--	0.6	A
	$V_{in}=12V$, $R_L=0.1\Omega$	--	--	1.0	A
频率	$V_{CC}=12V$, $I_O=700mA$	80	100	120	KHz
效率	$V_{cc}=12V$, $I_O=700mA$	--	80	--	%
直流放大倍数 h_{fe}	$I_{SW}=1A$, $V_{CE}=5V$, $T_A=25^{\circ}C$	50	120		
集电极漏电流 I_C	$V_{CE}=40V$		0.01	100	μA

应用电路图:



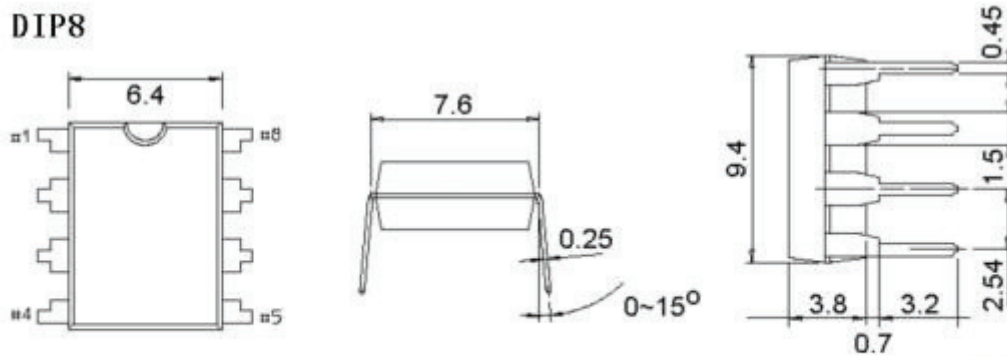
封装外形及尺寸图:

Qipai8



尺寸: mm

DIP8



电路操作注意事项:

静电在很多地方都会产生, 采取下面的防护措施, 可以有效的防止电路由于受静电放电影响而损坏:

- 操作人员要通过防静电腕带接地。
- 设备务必外壳接地。
- 装配过程中使用的工具必须接地。
- 必须使用导体包装



LMx93-N, LM2903-N Low-Power, Low-Offset Voltage, Dual Comparators

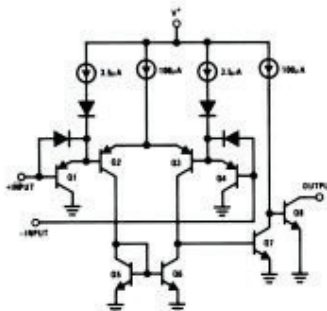
1 Features

- Wide Supply
 - Voltage Range: 2.0 V to 36 V
 - Single or Dual Supplies: ± 1.0 V to ± 18 V
- Very Low Supply Current Drain (0.4 mA) — Independent of Supply Voltage
- Low Input Biasing Current: 25 nA
- Low Input Offset Current: ± 5 nA
- Maximum Offset voltage: ± 3 mV
- Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to the Power Supply Voltage
- Low Output Saturation Voltage: 250 mV at 4 mA
- Output Voltage Compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems
- Available in the 8-Bump (12 mil) DSBGA Package
- See AN-1112 (SNVA009) for DSBGA Considerations
- Advantages
 - High Precision Comparators
 - Reduced V_{OS} Drift Over Temperature
 - Eliminates Need for Dual Supplies
 - Allows Sensing Near Ground
 - Compatible with All Forms of Logic
 - Power Drain Suitable for Battery Operation

2 Applications

- Battery powered applications
- Industrial applications

4 Simplified Schematic



3 Description

The LM193-N series consists of two independent precision voltage comparators with an offset voltage specification as low as 2.0 mV max for two comparators which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground, even though operated from a single power supply voltage.

Application areas include limit comparators, simple analog to digital converters; pulse, squarewave and time delay generators; wide range VCO; MOS clock timers; multivibrators and high voltage digital logic gates. The LM193-N series was designed to directly interface with TTL and CMOS. When operated from both plus and minus power supplies, the LM19-N series will directly interface with MOS logic where their low power drain is a distinct advantage over standard comparators.

The LM393 and LM2903 parts are available in TI's innovative thin DSBGA package with 8 (12 mil) large bumps.

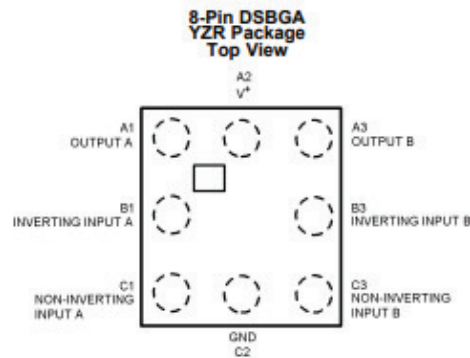
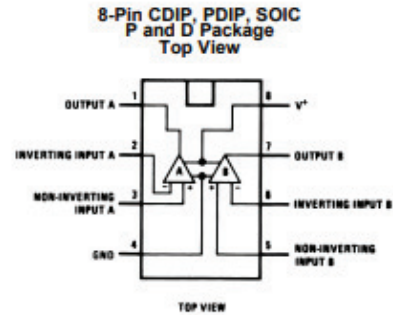
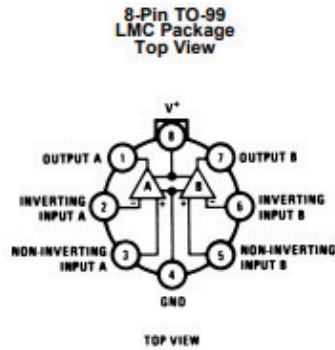
Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM193-N	TO-99 (8)	9.08 mm x 9.08 mm
LM293-N		
LM393-N	SOIC (8)	4.90 mm x 3.91 mm
LM2903-N		

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.



6 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

NAME	PIN NO.		I/O	DESCRIPTION
	PDIP/SOIC/ TO-99	DSBGA		
OUTA	1	A1	O	Output, Channel A
-INA	2	B1	I	Inverting Input, Channel A
+INA	3	C1	I	Noninverting Input, Channel A
GND	4	C2	P	Ground
+INB	5	C3	I	Noninverting Input, Channel B
-INB	6	B3	I	Inverting Input, Channel B
OUTB	7	A3	O	Output, Channel B
V+	8	A2	P	Positive power supply

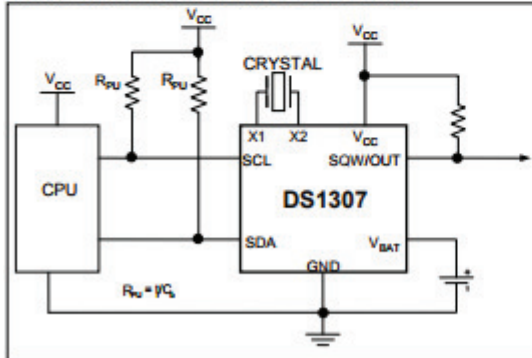


DS1307 64 x 8, Serial, I²C Real-Time Clock

GENERAL DESCRIPTION

The DS1307 serial real-time clock (RTC) is a low-power, full binary-coded decimal (BCD) clock/calendar plus 56 bytes of NV SRAM. Address and data are transferred serially through an I²C, bidirectional bus. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The end of the month date is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with AM/PM indicator. The DS1307 has a built-in power-sense circuit that detects power failures and automatically switches to the backup supply. Timekeeping operation continues while the part operates from the backup supply.

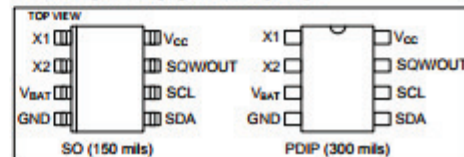
TYPICAL OPERATING CIRCUIT



BENEFITS AND FEATURES

- Completely Manages All Timekeeping Functions
 - Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the Week, and Year with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
 - 56-Byte, Battery-Backed, General-Purpose RAM with Unlimited Writes
 - Programmable Square-Wave Output Signal
- Simple Serial Port Interfaces to Most Microcontrollers
 - I²C Serial Interface
- Low Power Operation Extends Battery Backup Run Time
 - Consumes Less than 500nA in Battery-Backup Mode with Oscillator Running
 - Automatic Power-Fail Detect and Switch Circuitry
- 8-Pin DIP and 8-Pin SO Minimizes Required Space
- Optional Industrial Temperature Range: -40°C to +85°C Supports Operation in a Wide Range of Applications
- Underwriters Laboratories® (UL) Recognized

PIN CONFIGURATIONS

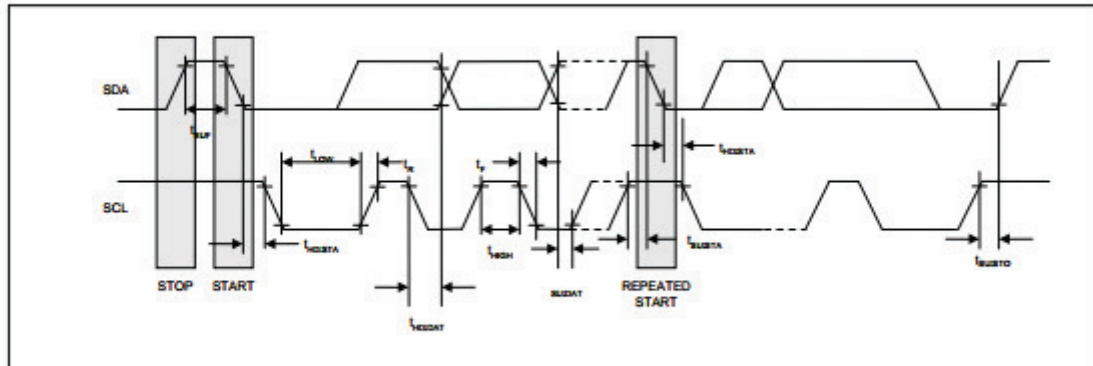
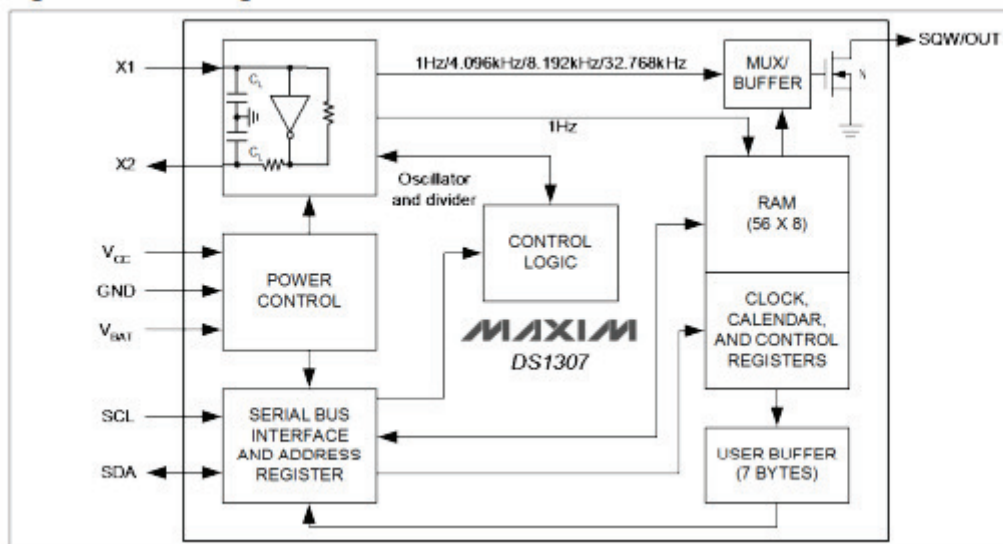


ORDERING INFORMATION

PART	TEMP RANGE	VOLTAGE (V)	PIN-PACKAGE	TOP MARK*
DS1307+	0°C to +70°C	5.0	8 PDIP (300 mils)	DS1307
DS1307N+	-40°C to +85°C	5.0	8 PDIP (300 mils)	DS1307N
DS1307Z+	0°C to +70°C	5.0	8 SO (150 mils)	DS1307
DS1307ZN+	-40°C to +85°C	5.0	8 SO (150 mils)	DS1307N
DS1307Z+T&R	0°C to +70°C	5.0	8 SO (150 mils) Tape and Reel	DS1307
DS1307ZN+T&R	-40°C to +85°C	5.0	8 SO (150 mils) Tape and Reel	DS1307N

*Denotes a lead-free/RoHS-compliant package.

*A "+" anywhere on the top mark indicates a lead-free package. An "N" anywhere on the top mark indicates an industrial temperature range device. Underwriters Laboratories, Inc. is a registered certification mark of Underwriters Laboratories, Inc.

TIMING DIAGRAM**Figure 1. Block Diagram**

CD4066B CMOS Quad Bilateral Switch

1 Features

- 15-V Digital or ± 7.5 -V Peak-to-Peak Switching
- 125- Ω Typical On-State Resistance for 15-V Operation
- Switch On-State Resistance Matched to Within 5 Ω Over 15-V Signal-Input Range
- On-State Resistance Flat Over Full Peak-to-Peak Signal Range
- High ON/OFF Output-Voltage Ratio: 80 dB Typical at $f_{is} = 10$ kHz, $R_L = 1$ k Ω
- High Degree of Linearity: <0.5% Distortion Typical at $f_{is} = 1$ kHz, $V_{is} = 5$ V_{P-P}, $V_{DD} - V_{SS} \geq 10$ V, $R_L = 10$ k Ω
- Extremely Low Off-State Switch Leakage, Resulting in Very Low Offset Current and High Effective Off-State Resistance: 10 pA Typical at $V_{DD} - V_{SS} = 10$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Extremely High Control Input Impedance (Control Circuit Isolated From Signal Circuit): 10¹² Ω Typical
- Low Crosstalk Between Switches: -50 dB Typical at $f_{is} = 8$ MHz, $R_L = 1$ k Ω
- Matched Control-Input to Signal-Output

Capacitance: Reduces Output Signal Transients

- Frequency Response, Switch On = 40 MHz Typical
- 100% Tested for Quiescent Current at 20 V
- 5-V, 10-V, and 15-V Parametric Ratings

2 Applications

- Analog Signal Switching/Multiplexing: Signal Gating, Modulators, Squelch Controls, Demodulators, Choppers, Commutating Switches
- Digital Signal Switching/Multiplexing
- Transmission-Gate Logic Implementation
- Analog-to-Digital and Digital-to-Analog Conversions
- Digital Control of Frequency, Impedance, Phase, and Analog-Signal Gain

3 Description

The CD4066B device is a quad bilateral switch intended for the transmission or multiplexing of analog or digital signals. It is pin-for-pin compatible with the CD4016B device, but exhibits a much lower on-state resistance. In addition, the on-state resistance is relatively constant over the full signal-input range.

The CD4066B device consists of four bilateral switches, each with independent controls. Both the p and the n devices in a given switch are biased on or off simultaneously by the control signal. As shown in Figure 17, the well of the n-channel device on each switch is tied to either the input (when the switch is on) or to V_{SS} (when the switch is off). This configuration eliminates the variation of the switch-transistor threshold voltage with input signal and, thus, keeps the on-state resistance low over the full operating-signal range.

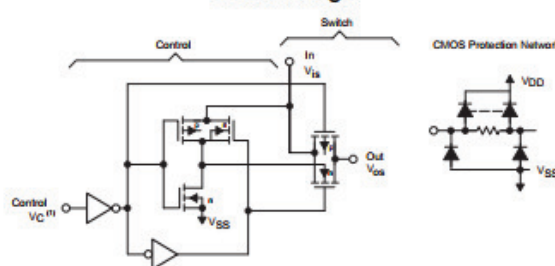
The advantages over single-channel switches include peak input-signal voltage swings equal to the full supply voltage and more constant on-state impedance over the input-signal range. However, for sample-and-hold applications, the CD4016B device is recommended.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
CD4066B	PDIP (14)	19.30 mm × 6.35 mm
	CDIP (14)	19.50 mm × 6.92 mm
	SOIC (14)	8.65 mm × 3.91 mm
	SOP (14)	10.30 mm × 5.30 mm
	TSSOP (14)	5.00 mm × 4.40 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Bidirectional Signal Transmission Via Digital Control Logic



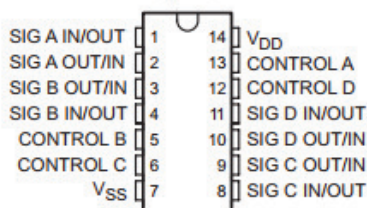
Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

5 Pin Configuration and Functions

N, J, D, NS, or PW Packages
14-Pin PDIP, CDIP, SOIC, SO, or TSSOP
Top View



Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NO.	NAME		
1	SIG A IN/OUT	I/O	Input/Output for Switch A
2	SIG A OUT/IN	I/O	Output/Input for Switch A
3	SIG B OUT/IN	I/O	Output/Input for Switch B
4	SIG B IN/OUT	I/O	Input/Output for Switch B
5	CONTROL B	I	Control pin for Switch B
6	CONTROL C	I	Control pin for Switch C
7	V _{SS}	—	Low Voltage Power Pin
8	SIG C IN/OUT	I/O	Input/Output for Switch C
9	SIG C OUT/IN	I/O	Output/Input for Switch C
10	SIG D OUT/IN	I/O	Output/Input for Switch D
11	SIG D IN/OUT	I/O	Input/Output for Switch D
12	CONTROL D	I	Control Pin for D
13	CONTROL A	I	Control Pin for A
14	V _{DD}	—	Power Pin

CD4066B

SCHS051G – NOVEMBER 1998 – REVISED JUNE 2017

www.ti.com

6 Specifications**6.1 Absolute Maximum Ratings**over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾

			MIN	MAX	UNIT
V _{DD}	DC supply-voltage	Voltages referenced to V _{SS} pin	-0.5	20	V
V _{IS}	Input voltage	All inputs	-0.5	V _{DD} + 0.5	V
I _{IN}	DC input current	Any one input		±10	mA
T _{stg}	Storage temperature		-65	150	°C

(1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

6.2 ESD Ratings

			VALUE	UNIT
V _(ESD)	Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001, all pins ⁽¹⁾	±500	V
		Charged device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101, all pins ⁽²⁾	±1500	

(1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

(2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	MAX	UNIT
V _{DD}	Supply voltage	3	18	V
T _A	Operating free-air temperature	-55	125	°C

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾		CD4066B				UNIT
		N (PDIP)	D (SOIC)	NS (SO)	PW (TSSOP)	
		14 PINS	14 PINS	14 PINS	14 PINS	
R _{θJA}	Junction-to-ambient thermal resistance	53.7	89.5	88.2	119.5	°C/W
R _{θJC(top)}	Junction-to-case (top) thermal resistance	41.0	49.7	46.1	48.2	°C/W
R _{θJB}	Junction-to-board thermal resistance	33.6	43.8	47.0	61.2	°C/W
ψ _{JT}	Junction-to-top characterization parameter	25.8	17.4	16.3	5.5	°C/W
ψ _{JB}	Junction-to-board characterization parameter	33.5	43.5	46.6	60.6	°C/W

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *Semiconductor and IC Package Thermal Metrics* application report.