



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*



## **ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

### **DISEÑO DE DISPOSITIVOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA HUMANA: DISEÑO DE UN GENERADOR DE FLUJO AXIAL ACTIVADO A MANIVELA**

**AUTOR: Claudia Estefanía Loiza Aldeán**

**Proyecto de Tesis previa obtención del Título de  
Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones**

**DIRECTOR: Ing. Jorge Luis Jaramillo**

**Loja - Ecuador**

**Agosto 2011**





## **ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO**

Yo, Claudia Estefanía Loaiza Aldeán, declaro conocer y aceptar la disposición del artículo 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

---

Claudia Estefanía Loaiza Aldeán



## AUTORÍA

Las ideas, opiniones, conclusiones, y, contenidos expuestos en el presente informe de investigación son de exclusiva responsabilidad de la autora.

Claudia Estefanía Loaiza Aldeán



## DEDICATORIA

*A mis padres, Yuri y Teresa, porque ellos me enseñaron a amar lo que hago y a perseverar sin doblegarme hasta alcanzar mis metas.*

*A ellos les dedico mis alegrías, mis triunfos, esta tesis.*

*Claudia Estefanía Loaiza Aldeán*



## AGRADECIMIENTO

*A Dios, mi amigo verdadero, gracias por nunca haberme soltado de la mano, por guiarme, por protegerme, por amarme tanto.*

*Al ingeniero Jorge Luis Jaramillo, quien me guió y motivó durante la realización de este trabajo. Gracias por el entusiasmo mostrado, más allá de su labor como director.*

*A todos mis compañeros que compartieron conmigo estos cinco años de vida universitaria e hicieron más placentero el estudio de esta carrera.*

*A mis amigas, mis comadres, gracias por tantas risas y llantos, por tantas pláticas, por tantas malas noches, por permanecer juntas siempre.*

*A Byron Fabián, que siempre me da una mano, una sugerencia, un componente. Gracias por tus múltiples muestras de cariño y ayuda incondicional.*

*A Julián, gracias por estar a mi lado desde el inicio de esta tesis.*

*A Gabriela y Santiago, mis hermanos, gracias por acompañarme en este largo viaje de altos y bajos que culmina con éxito por medio de este trabajo.*

*Pero sobretodo, a mis viejitos, Yuri y Teresa, que mantuvieron esa sonrisa y esa visión positiva en mí. Gracias por cada una de sus enseñanzas, por su comprensión, su paciencia, su apoyo, gracias por ser mis mejores amigos... y sí mis señores... hoy su hija se hizo ingeniera... ya vieron?... lo logré...!!!....=)*

*Claudia Estefanía Loaiza Aldeán*



## INTRODUCCIÓN

La energía constituye la fuerza que impulsa a las sociedades modernas, pero lamentablemente, esta no está disponible en forma ilimitada. Hoy por hoy, la escasez energética se ha convertido en un grave problema. El agotamiento de fuentes de energía no renovables, el aumento de la población, las nuevas aplicaciones tecnológicas, la contaminación del medio ambiente, y, el calentamiento global, definen la situación actual.

Esta situación ha favorecido el empleo de fuentes renovables como nueva alternativa para proveer servicios de energía que, se caractericen por su limpieza, eficiencia, accesibilidad, y, fiabilidad.

Por otra parte, el creciente uso de productos electrónicos portátiles, ha creado las oportunidades para el aprovechamiento de la energía humana (human power) como una alternativa viable. Human Power es una energía renovable absolutamente no convencional, definida en términos de ingeniería, y, en el dominio del tiempo, como la tasa de trabajo efectuado por el ser humano.

Cuando el ser humano realiza un trabajo, sólo una parte del esfuerzo realizado cubre la demanda de energía necesaria, mientras que otro tanto se disipa. La energía disipada puede ser aprovechada, almacenándola y convirtiéndola en electricidad para la alimentación de dispositivos electrónicos.

Los sistemas de energía humana se caracterizan por bajo costo, mínimo de exigencia de recursos para generar energía eléctrica auxiliar, sencillez, seguridad, poco mantenimiento, y, respeto al medio ambiente. Estas características han alentado al desarrollo de una variedad de productos que aprovechan la energía humana como fuente de energía.



Este trabajo pretende describir el proceso de diseño de un stand demostrativo de generación de energía eléctrica para iluminación, sobre la base del aprovechamiento de la energía humana.



## OBJETIVOS

- Elaborar una línea base sobre las distintas iniciativas de aprovechamiento de energía humana.
- Definir los requerimientos de diseño de un prototipo.
- Definir la arquitectura del prototipo a diseñar.
- Diseñar los componentes de la arquitectura propuesta.





## TABLA DE CONTENIDO

|  |      |
|--|------|
| ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO.....  | II   |
| AUTORÍA.....   | III  |
| DEDICATORIA.....   | IV   |
| AGRADECIMIENTO.....  | V    |
| INTRODUCCIÓN.....  | VI   |
| OBJETIVOS.....   | VIII |
| TABLA DE CONTENIDOS.....   | IX   |
| LISTA DE FIGURAS.....  | XIII |
| LISTA DE TABLAS.....   | XVI  |
| <br>   |      |
| 1. CAPÍTULO 1.....   | 1    |
| ESTADO DEL ARTE EN EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HUMANA.....                            | 1    |
| 1.1. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE ENERGÍA HUMANA<br>.....                   | 1    |
| 1.2. PROYECTOS QUE UTILIZAN ENERGÍA HUMANA PARA ACCIONAR<br>DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS..... | 7    |
| 1.2.1. Computadora Portátil con pedales en Afganistán.....                                 | 7    |
| 1.2.2. sOcket.....   | 8    |
| 1.2.3. Waterforpeople.....   | 9    |
| 1.2.4. Pedal generador de electricidad de Windstream.....                                  | 10   |
| 1.2.5. Watt.....   | 10   |
| 1.2.6. Human Powered Workout Gym Concept.....  | 11   |
| 1.2.7. Yoyo cargador de teléfono móvil.....  | 12   |
| 1.2.8. Cubo mágico de Rubik.....   | 13   |
| 1.2.9. Dedo potencial para la batería del teléfono.....                                    | 13   |
| 1.2.10. Yo-yo.....   | 14   |
| 1.2.11. Energía eléctrica al pulsar un botón.....  | 15   |
| 1.2.12. Boon Edam.....   | 16   |



|   |    |
|---|----|
| 1.2.13. Producción de electricidad con la voz.....  | 17 |
| 1.2.14. Pie Wesa.....   | 18 |
| 1.2.15. Licuadora bicicletera.....  | 18 |
| 1.2.16. Cruces peatonales.....  | 19 |
| 1.2.17. Cargador Golf Club.....   | 19 |
| 1.2.18. Cargador de empuñadura.....   | 20 |
| 1.2.19. Arm band.....   | 20 |
| 1.2.20. Roll Charger.....   | 21 |
| 1.2.21. YoGen.....  | 21 |
| 1.2.22. NightStar.....  | 22 |
| 1.2.23. Cargador a manivela.....  | 23 |
| 1.2.24. Generador de mano portable AladdinPower.....  | 23 |
| 1.2.25. Radio sin pilas.....  | 24 |
| 1.2.26. Rodillera generadora de electricidad.....   | 24 |
| <br>  |    |
| 2. CAPÍTULO II.....   | 26 |
| DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN STAND DEMOSTRATIVO DEL<br>APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA HUMANA: DISEÑO PRELIMINAR..... | 26 |
| 2.1. METODOLOGÍA DE DISEÑO.....   | 26 |
| 2.2. ARQUITECTURA FUNCIONAL DEL SISTEMA.....  | 26 |
| 2.3. BLOQUE DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA.....   | 29 |
| 2.3.1. Conversión electromagnética.....   | 29 |
| 2.3.2. Conversión piezoeléctrica.....   | 32 |
| 2.4. BLOQUE DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.....   | 33 |
| 2.4.1. Almacenamiento de energía previo a la conversión.....  | 33 |
| 2.4.1.1. Almacenamiento en altitud.....   | 33 |
| 2.4.1.2. Almacenamiento en gas comprimido.....  | 33 |
| 2.4.1.3. Almacenamiento en resortes.....  | 33 |
| 2.4.1.4. Almacenamiento de la energía en un volante.....  | 34 |
| 2.4.2. Almacenamiento de energía luego de la conversión.....  | 34 |
| 2.4.2.1. Almacenamiento en baterías electroquímicas.....  | 34 |
| 2.4.2.2. Almacenamiento eléctrico.....  | 35 |



|  |    |
|--|----|
| 2.5. BLOQUE DE CIRCUITO DE CONTROL.....  | 37 |
| 3. CAPÍTULO III.....   | 38 |
| EVALUACIÓN DISEÑO ELECTROMECAÁNICO DE UN GENERADOR DE ROTACI3N DE FLUJO AXIAL..... | 38 |
| 3.1. INTRODUCCI3N.....   | 38 |
| 3.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....  | 40 |
| 3.3. DISEÑO DEL GENERADOR DE FLUJO AXIAL.....                                      | 49 |
| 3.3.1. Base.....   | 49 |
| 3.3.2. Rotor.....  | 51 |
| 3.3.2.1. Discos de hierro.....   | 52 |
| 3.3.2.2. Buje.....   | 53 |
| 3.3.2.3. Imanes.....   | 54 |
| 3.3.3. Estator.....  | 54 |
| 3.3.4. El eje.....   | 58 |
| 4. CAPÍTULO IV.....  | 60 |
| DISEÑO EL3CTRICO DE UN GENERADOR DE ROTACI3N DE FLUJO AXIAL.....                   | 60 |
| 4.1. C3LCULO DE LA TENSI3N DE SALIDA DEL GENERADOR.....                            | 60 |
| 4.2. CONEXI3N DE BOBINAS.....  | 69 |
| 4.3. RECTIFICADOR.....   | 71 |
| 4.4. POTENCIA Y CORRIENTE.....   | 72 |
| 5. CAPÍTULO V.....   | 74 |
| ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.....   | 74 |
| 5.1. INTRODUCCI3N.....   | 74 |
| 5.2. BATERÍA DE NICD.....  | 74 |
| 5.3. SELECCI3N DE LA BATERÍA.....  | 76 |
| 6. CAPÍTULO VI.....  | 80 |
| 6.1. CONTROLADOR DE CARGA.....   | 80 |



|  |     |
|--|-----|
| 6.2. INVERSOR CD/AC.....   | 82  |
| 7. CAPÍTULO VII.....   | 84  |
| 7.1. TIPOS DE LÁMPARAS.....  | 84  |
| 7.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LAS<br>LÁMPARAS..... | 87  |
| 7.3. SELECCIÓN DE LÁMPARAS.....  | 88  |
| 8. CAPÍTULO VIII.....  | 92  |
| 8.1. COSTOS EN MATERIAL.....   | 92  |
| 8.2. COSTOS EN EQUIPOS.....  | 93  |
| 8.3. COSTO DE MANO DE OBRA CALIFICADA.....                               | 93  |
| CONCLUSIONES.....  | 95  |
| REFERENCIAS.....   | 97  |
| ANEXOS.....  | 103 |



## LISTA DE FIGURAS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Fig. 1.1.  | Diagrama de flujo de conversión de energía alimenticia en energía mecánica.....        | 3  |
| Fig. 1.2.  | Modelo básico de generación de energía eléctrica a partir de energía humana.....       | 5  |
| Fig. 1.3.  | Oportunidades de alimentación de productos electrónicos utilizando energía humana..... | 6  |
| Fig. 1.4.  | Computador portátil con pedales.....   | 7  |
| Fig. 1.5.  | Sistema de iluminación basada en el sOccket.....                                       | 9  |
| Fig. 1.6.  | Estructura de un sistema para bombear agua de PlayPumps International.....             | 9  |
| Fig. 1.7.  | Pedal de Windstream.....   | 10 |
| Fig. 1.8.  | Watt. Pista de baile.....  | 11 |
| Fig. 1.9.  | Gimnasio flotante.....   | 12 |
| Fig. 1.10. | Yoyo cargador de teléfono móvil.....   | 12 |
| Fig. 1.11. | Cubo mágico de Rubik.....  | 13 |
| Fig. 1.12. | Dedo potencial para la batería de un teléfono.....                                     | 14 |
| Fig. 1.13. | Yo-yo cargador de teléfono móvil.....  | 15 |
| Fig. 1.14. | Computador Compaq energizado al pulsar sus teclas.....                                 | 16 |
| Fig. 1.15. | Generación de energía eléctrica utilizando una puerta giratoria.....                   | 17 |
| Fig. 1.16. | Celular que genera su electricidad con la voz.....                                     | 17 |
| Fig. 1.17. | Pie Wesa.....  | 18 |
| Fig. 1.18. | Licuada bicicletera.....   | 18 |
| Fig. 1.19. | Cruce peatonales.....  | 19 |
| Fig. 1.20. | Cargador GolfClub.....   | 20 |
| Fig. 1.21. | Cargador de empuñadura.....  | 20 |
| Fig. 1.22. | Arm band.....  | 21 |
| Fig. 1.23. | Roll charger.....  | 21 |
| Fig. 1.24. | YoGen.....   | 22 |
| Fig. 1.25. | Night Star.....  | 22 |



|            |  |    |
|------------|--|----|
| Fig. 1.26. | Cargador a manivela.....   | 23 |
| Fig. 1.27. | Generador de mano portable AladdinPower.....   | 24 |
| Fig. 1.28. | Radio sin pilas.....   | 24 |
| Fig. 1.29. | Rodillera generadora de electricidad.....  | 25 |
| Fig. 2.1.  | Arquitectura funcional del stand demostrativo del aprovechamiento de la energía humana en la generación de energía eléctrica para iluminación..... | 29 |
| Fig. 2.2.  | Generador de flujo radial.....   | 30 |
| Fig. 2.3.  | Generador de agitación.....  | 31 |
| Fig. 2.4.  | Generador de flujo axial.....  | 31 |
| Fig. 2.5.  | Generador de flujo paralelo.....   | 32 |
| Fig. 3.1.  | Generador de flujo axial.....  | 39 |
| Fig. 3.2.  | Disposición de un Generador de Flujo Axial.....  | 40 |
| Fig. 3.3.  | Disposición de los conductores y campo magnético en un arreglo axial....   | 42 |
| Fig. 3.4.  | Disposición de imanes permanentes.....   | 43 |
| Fig. 3.5.  | Disposición de polaridad de imanes en cada disco del generador.....  | 43 |
| Fig. 3.6.  | Unión de imanes de acuerdo a la polaridad inducida.....  | 44 |
| Fig. 3.7.  | Disposición de bobinas.....  | 44 |
| Fig. 3.8.  | Disposición de fem en un segmento conductor.....   | 46 |
| Fig. 3.9.  | Espira en Generador.....   | 46 |
| Fig. 3.10. | Base del generador axial.....  | 50 |
| Fig. 3.11. | Disposición de agujeros en base.....   | 51 |
| Fig. 3.12. | Disco del rotor.....   | 52 |
| Fig. 3.13. | Geometría del disco del rotor.....   | 53 |
| Fig. 3.14. | Disposición de los imanes en los discos.....   | 54 |
| Fig. 3.15. | Disposición de bobinas respecto a los imanes.....  | 55 |
| Fig. 3.16. | Geometría del estator.....   | 56 |
| Fig. 3.17. | Diseño de la carcasa de bobinas.....   | 57 |
| Fig. 3.18. | Ensamblaje del estator en el generador.....  | 57 |
| Fig. 3.19. | Eje del generador.....   | 58 |
| Fig. 3.20. | Ensamblaje del generador.....  | 59 |
| Fig. 3.21. | Generador de flujo axial ensamblado.....   | 59 |
| Fig. 4.1.  | Posicionamiento de una bobina respecto los imanes del rotor.....   | 62 |



|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Fig. 4.2. | Líneas de campo magnético y su ocupación entre los imanes.....           | 64 |
| Fig. 4.3. | Conexión en doble estrella.....  | 70 |
| Fig. 4.4. | Esquema equivalente de conexión de los 2 rectificadores monofásicos...71 |    |
| Fig. 5.1. | Batería Tipo NiCd.....   | 75 |
| Fig. 5.2. | Batería Tipo NiCdHowell.....   | 77 |
| Fig. 5.3. | Esquema del prototipo hasta el almacenamiento de energía.....            | 79 |
| Fig. 6.1. | Esquema del circuito controlador de carga.....                           | 81 |
| Fig. 6.2. | Esquema del circuito para batería cargada.....                           | 81 |
| Fig. 6.3. | Inversor CD/AC INVERTRONIC PLUS-IMETRILEC.....                           | 82 |
| Fig. 7.1. | Partes de una lámpara de filamento.....                                  | 84 |
| Fig. 7.2. | Lámpara LED.....   | 85 |
| Fig. 7.3. | Lámpara fluorescente compacta.....                                       | 86 |
| Fig. 7.4. | Lámpara de filamento A75.....  | 89 |
| Fig. 7.5. | Lámpara LED Light Bulb SP70.....   | 90 |
| Fig. 7.6. | Lámpara CFL S7384.....   | 91 |



## LISTA DE TABLAS

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Tabla 1.1. | Formas de energía producidas por el cuerpo humano.....                        | 4  |
| Tabla 1.2. | Energía humana necesaria para diversas tareas.....                            | 4  |
| Tabla 1.3. | Estimaciones de potencia máxima para la energía humana.....                   | 5  |
| Tabla 1.4. | Consumo energético de productos electrónico portátiles.....                   | 6  |
| Tabla 2.1. | Generación pasiva de energía.....   | 27 |
| Tabla 2.2. | Generación activa de energía.....   | 27 |
| Tabla 2.3. | Capacidad de generación de energía de los movimientos de la mano y brazo..... | 28 |
| Tabla 2.4. | Características de las baterías secundarias.....                              | 35 |
| Tabla 2.5. | Comparación de Métodos de Almacenamiento.....                                 | 36 |
| Tabla 4.1. | Relación entre la inducción remanente y la inducción exterior.....            | 65 |
| Tabla 5.1. | Especificaciones de Batería Tipo NiCdHowell.....                              | 77 |
| Tabla 6.1. | Especificaciones del Inversor CD/ AC.....                                     | 83 |
| Tabla 7.1. | Características técnicas de los tipos de lámparas.....                        | 87 |
| Tabla 7.2. | Otros parámetros de las lámparas.....   | 88 |
| Tabla 7.3. | Especificaciones de la lámpara de filamento A75.....                          | 89 |
| Tabla 7.4. | Especificaciones de la lámpara LED Light Bulb SP70.....                       | 90 |
| Tabla 7.5. | Especificaciones de la lámpara CFL S7384.....                                 | 91 |
| Tabla 8.1. | Presupuesto de los materiales a emplear en el prototipo.....                  | 92 |
| Tabla 8.2. | Presupuesto de los equipos adicionales.....                                   | 93 |
| Tabla 8.3. | Presupuesto de la mano de obra calificada.....                                | 93 |
| Tabla 8.4. | Presupuesto final de la construcción del prototipo.....                       | 94 |





## RESUMEN

Este trabajo describe el proceso de diseño de un stand demostrativo del aprovechamiento de la energía humana en la generación de energía eléctrica para iluminación.

Se parte de un análisis sobre las diferentes formas de aprovechamiento de energía humana para generar energía eléctrica, y, de un inventario de proyectos existentes.

Se define la arquitectura funcional del sistema a diseñar. Un dispositivo de manivela convierte la energía humana en energía eléctrica, esta se almacena en una batería. Un circuito controlador proporciona la energía suficiente para alimentar la carga.

Se seleccionó la conversión electromagnética a través de un generador de rotación de flujo axial, activado a manivela. Para el almacenamiento se utilizará una batería de tipo NiCd. El circuito controlador estará formado por dos componentes: un controlador de carga, y, un inversor CD/AC. La carga constará de lámparas: de filamento, LED, y, CFL. Se expone el presupuesto de implementación física del prototipo.



## CAPÍTULO I

### ESTADO DEL ARTE EN EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HUMANA

En este capítulo, se analiza la información base existente sobre las diferentes formas de aprovechamiento de energía humana para generar energía eléctrica.

#### 1.1. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE ENERGÍA HUMANA

El principal combustible utilizado en la producción de energía humana es la energía proporcionada por los alimentos ingeridos. El cuerpo humano, utiliza la energía almacenada en los enlaces químicos de los compuestos (carbohidratos, proteínas, grasas y fibras) como combustible para los procesos metabólicos que mantienen la vida, y, para las funciones metabólicas que apoyan la actividad física[1].

La conversión de la energía de los alimentos, en energía mecánica externa (durante la actividad física), presenta una eficiencia de entre el 2,6 y el 6,5%, dependiendo del tipo de actividad física que se realice. A pesar de la baja eficiencia del proceso de conversión, la alta disponibilidad de energía mecánica y térmica durante la actividad física, convierte a la energía humana en potencialmente utilizable como energía renovable [1].

La energía de los alimentos se mide comúnmente en Kilocalorías (Kcal) o calorías de alimentos (cal). En el sistema internacional de unidades (SI), la energía de los alimentos se mide en Joules (J), ( $4184 \text{ J} = 1 \text{ cal}$ ).

Para calcular la eficiencia global de la conversión ( $eff$ ) del contenido total de energía de los alimentos (GE), en energía total que pueda ser utilizada para las funciones



metabólicas (ME), se utiliza la expresión (1.1). Los valores de ME son siempre inferiores a valores de GE, ya que se producen pérdidas de energía (LE) durante el proceso de digestión [1].

$$eff = \frac{m_p ME_p + m_c ME_c + m_f ME_f + m_a ME_a + m_{df} ME_{df}}{m_p GE_p + m_c GE_c + m_f GE_f + m_a GE_a + m_{df} GE_{df}} \quad (1.1)$$

En dónde:

- $m_p$ ,  $m_c$ ,  $m_f$ ,  $m_a$ , y  $m_{df}$ , son las masas consumidas de proteínas, carbohidratos, grasas, alcohol, y, fibra dietética.
- $ME_p$ ,  $ME_c$ ,  $ME_f$ ,  $ME_a$ , y  $ME_{df}$ , son las densidades de energía del metabolismo de las proteínas, carbohidratos, grasas, alcohol, y, fibra dietética (KJ / g).
- $GE_p$ ,  $GE_c$ ,  $GE_f$ ,  $GE_a$ , y  $GE_{df}$ , son las densidades de energía total de proteínas, carbohidratos, grasas, alcohol, y, fibra dietética (KJ / g).

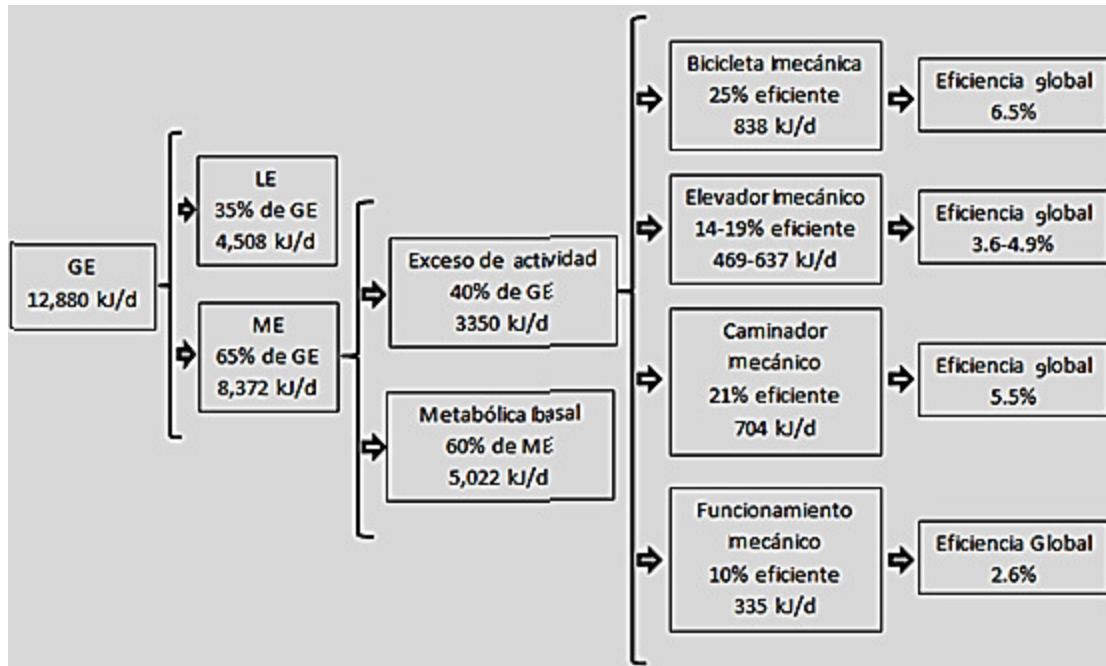
El cuerpo humano utiliza una porción significativa del consumo de energía para alimentar las funciones metabólicas. La ME varía de persona a persona en función del sexo, de la edad, de la etnia, de la masa corporal, del nivel de actividad, y, de la eficiencia metabólica. Por lo general, el consumo diario de ME está entre el 50% y el 70% de la GE[1]. El resto de energía se emplea para dar fuerza a los tejidos musculares y generar energía cinética necesaria para las actividades físicas.

Por otro lado, la eficiencia de la conversión de energía humana en energía mecánica, depende principalmente de la actividad que se realiza (ciclismo, levantamiento, caminar, correr, etc.) El ciclismo es considerado una de las formas más eficientes de transferencia de energía humana en energía mecánica.

La figura 1.1 muestra la eficiencia global de conversión de energía de los alimentos en energía mecánica externa, en función de los procesos presentes en cada una de las



formas de actividad física. La eficiencia global se calcula dividiendo la energía disponible para la actividad entre el valor de GE [1].



**Fig. 1.1.** Diagrama de flujo de conversión de energía alimenticia en energía mecánica [1]

El ser humano tiene un gran potencial como fuente de energía. Diariamente, el promedio de consumo calórico de un humano es de 2500 Kcal [4], lo que equivale a 10.5 MJ o aproximadamente 3KWh. Esto equivale a la energía almacenada en 1050 baterías alcalinas.

La energía humana tiene distintos “formatos” en función del segmento corporal en el que es producida. La Tabla 1.1, resume esas formas de energía.

Estudios realizados [3], [5] muestran la energía humana requerida para realizar una actividad concreta durante 2 min (ver Tabla 1.2).



**Tabla 1. 1.** Formas de energía producidas por el cuerpo humano

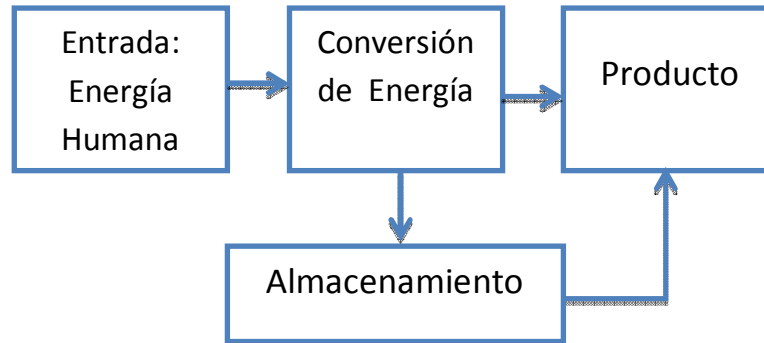
| Fuente de Energía    | Formas de Energía |           |         |         |
|----------------------|-------------------|-----------|---------|---------|
|                      | Mecánica          | Eléctrica | Térmica | Química |
| Músculos             | x                 |           |         |         |
| Movimiento           | x                 |           |         |         |
| Potencial de la piel |                   | x         |         |         |
| Transpiración        |                   |           |         | x       |
| Calor en el cuerpo   |                   |           | x       |         |

**Tabla 1. 2.** Energía humana necesaria para diversas tareas

| Descripción de la tarea  | Energía humana requerida |
|--|--------------------------|
| Pulsar botón con el pulgar   | 0,3 W                    |
| Apriete generador de mano  | 6 W                      |
| Gire la manija del radio   | 21 W                     |
| Paseo en bicicleta a 25 km / h   | 100 W                    |
| Presionar (16 N x 40 mm)   | 0.64 W                   |
| Apretar (400 N x 30 mm)  | 12 W                     |
| Girar la manivela o manija (30N x 100mm de radio x $1,5 \times 2\pi$ ) | 28 W                     |

La conversión de energía humana en energía eléctrica sigue un proceso, esquematizado en la figura 1.2 [2]:

- La entrada del sistema es la energía humana.
- En un bloque conversor, la energía humana se convierte en energía eléctrica.
- Luego, la energía eléctrica generada se almacena para su ulterior utilización. En algunos casos, la energía generada puede ser utilizada directamente.



**Fig. 1.2.** Modelo básico de la generación de energía eléctrica a partir de energía humana

La cantidad de energía obtenida del cuerpo humano, depende de los segmentos corporales utilizados, del estado físico y mental del usuario, y, del diseño de la interfaz entre el usuario y el conversor de energía [5].

El potencial de energía humana se puede estimar en referencia a la fuerza máxima promedio ejercida por un grupo de usuarios. Un estudio [5] dirigido a un grupo de hombres entre 20 y 30 años, obtuvo los resultados mostrados en la tabla 1. 3.

**Tabla 1.3.** Estimaciones de potencia máxima para la energía humana

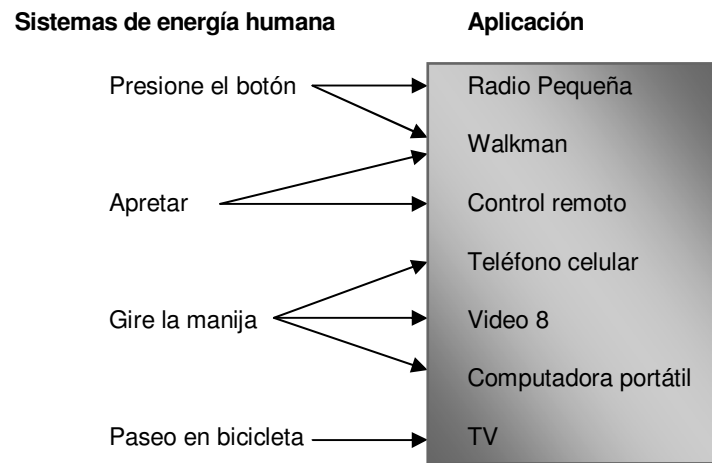
| Descripción del movimiento                                   | Máximo de energía humana |
|--|--------------------------|
| Presionar (16 N x 40 mm)                                     | 0.64 W                   |
| Apretar (400 N x 30 mm)                                      | 12 W                     |
| Girar la manivela o manija (30N x 100mm de radio x 1,5 x 2π) | 28 W                     |

Los resultados obtenidos, muestran que es posible utilizar energía humana para activar productos eléctricos portátiles, cuyos consumos se muestran en la tabla 1.4. La figura 1.3 presenta las oportunidades de activación de dispositivos portátiles utilizando energía humana.



**Tabla 1.4.** Consumo energético de productos electrónico portátiles

| Producto                                    | Consumo de energía |
|---|--------------------|
| Pequeña radio portátil FM                   | 30 mW              |
| Walkman modo de reproducción                | 60 mW              |
| Control remoto de TV                        | 100 mW             |
| Teléfono celular (de conversación y espera) | 2 W<br>/35 mW      |
| Linterna eléctrica (linterna)               | 4 W                |
| Video 8 (sin pantalla LCD)                  | 6 W                |
| Ordenador portátil Tecra 8000               | 10 W               |
| TV (pantalla 53/67/wide)                    | 50/74/111 W        |



**Fig. 1.3.** Oportunidades de alimentación de productos electrónicos utilizando energía humana [3]

En la actualidad, existen en el mercado una variedad de productos que aprovechan la energía humana como fuente de energía. Algunos de estos productos se describen en el siguiente apartado.



## 1.2. PROYECTOS QUE UTILIZAN ENERGÍA HUMANA PARA ACCIONAR DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

En este apartado se presenta un inventario de proyectos ya existentes, que aprovechan la energía humana para accionar diferentes dispositivos electrónicos.

### 1.2.1. Computadora portátil con pedales en Afganistán

Se trata de una computadora creada por la fundación OLPC (One Laptop Per Child), que se alimenta de energía humana a través de pedales.

El sistema está diseñado para proporcionar energía eléctrica suficiente para una computadora portátil, a través del pedaleo, sin necesidad de una batería adicional.



Fig. 1.4. Computador portátil con pedales [7]

La computadora, modelo XO, utiliza una manivela para encender el sistema. Esta manivela – generador, se encuentra debajo de la mesa. El modelo no necesita de fuentes de energía adicionales, y, es fácil de transportar por el campo y las zonas rurales.





La computadora utiliza el firmware OpenWRTFreifunkrouter. Esto permite una conexión a través del salón de clases sin conexiones de cable, al límite de permite ampliar la red a otras aulas[7].

### 1.2.2. sOcket

El futbol es uno de los deportes más practicados en el mundo. Diariamente, a este deporte se dedica tiempo y energía. Esta energía no se puede desperdiciar.

El sOcket, es un balón de fútbol que genera y almacena energía eléctrica durante un juego habitual[8]. El sOcket captura la energía del impacto del pie sobre el balón, la convierte en energía eléctrica, y, la almacena para su uso posterior.

Para la generación de energía eléctrica, el sOcket se vale de un mecanismo de bobina inductiva interna, similar al que utilizan las linternas-dínamo. Cada vez que el balón es impactado contra el suelo o impulsado por los jugadores, el movimiento de una esfera imantada a través de la bobina de metal, induce la tensión para generar electricidad.

Las bobinas inductivas tienen una gran capacidad de almacenamiento de energía, por lo que su uso, en este juego, resulta ser más efectivo que el de baterías [8]. Se ha demostrado que en 15 minutos de juego, se puede obtener la energía suficiente para alimentar una lámpara LED durante tres horas o para cargar un celular o una batería pequeña [8] (ver Fig. 1.5).



Fig. 1.5. Sistema de iluminación basada en el sOcket[9]

### 1.2.3. Waterforpeople

PlayPumps Internacional ofrece soluciones de agua potable a las comunidades en África, mediante un sistema de extracción de agua accionado por un juego de niños.

En este sistema de extracción (ver Fig. 1.6), los chicos hacen girar un carrusel que va conectado a un alternador, que a su vez, genera la energía suficiente para activar una bomba que impulsa el agua hacia un tanque de almacenamiento. A 16 rpm, se bombea agua, sin esfuerzo, hasta un tanque contiguo de 2.500 litros, que abastece a toda una comunidad[10].

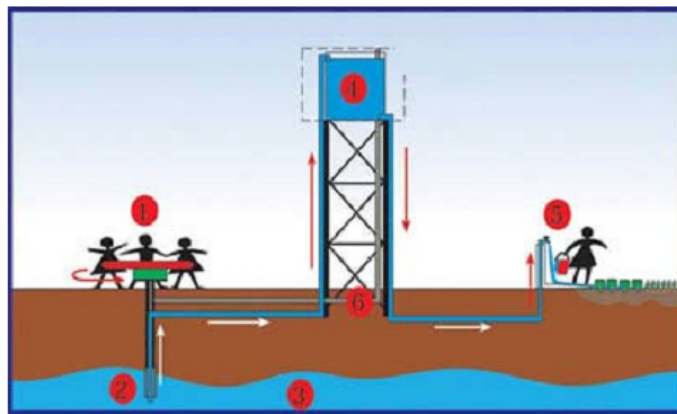


Fig. 1.6. Estructura de un sistema para bombear agua de PlayPumps Internacional. 2008



#### 1.2.4. Pedal generador de electricidad de Windstream

Esta iniciativa aprovecha la energía humana disipada al pedalear, a través de generadores de corriente continua que se adjuntan a caballetes de entrenamiento para bicicletas, o bicicletas estáticas (Ver Fig.1.7).

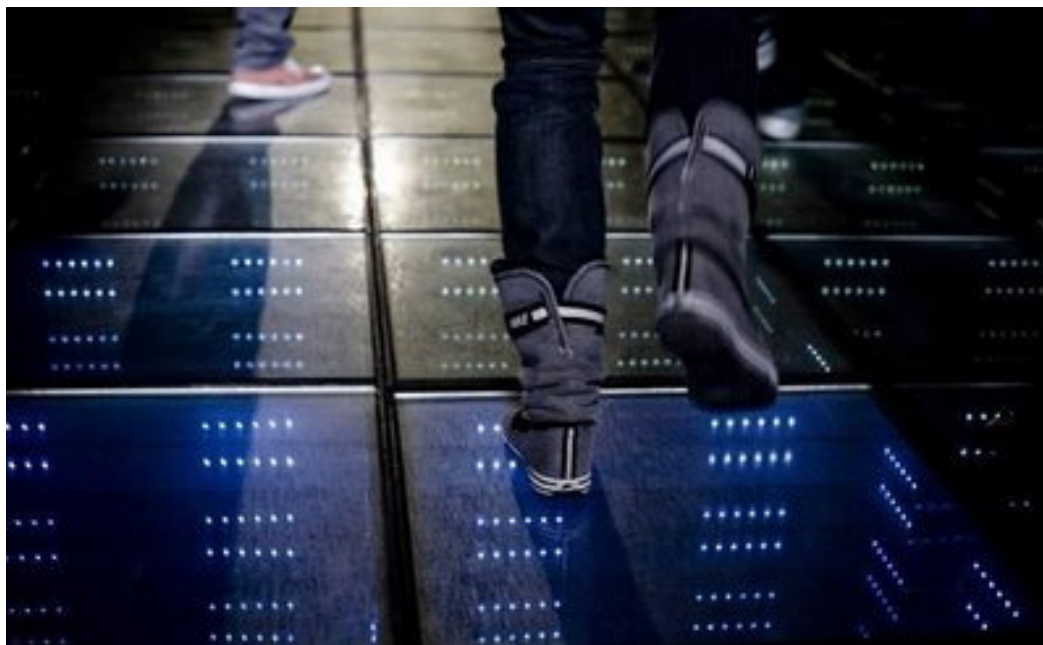


Fig.1.7. Pedal de Windstream [11].

Los generadores de Windstream son capaces de proporcionar unos 20Ah a un ritmo de pedaleo sostenible. Si se lo usa de cargador para una batería de 12V, este tipo de generadores pueden entregar 240 W máximo [11].

#### 1.2.5. Watt

En la discoteca holandesa Watt, la energía generada por los asistentes sirve para alimentar un sistema de luces incrustadas en el piso (Ver fig. 1.8). El funcionamiento del sistema se basa en el uso de materiales piezoeléctricos en el piso. Los materiales piezoeléctricos son cristales sintéticos o naturales que al deformarse, en su interior, generan cargas eléctricas[12]. Este mismo efecto puede utilizarse para fabricar baldosas, en las que se pueda transformar el flujo de caminantes en electricidad.



**Fig. 1.8.** Watt. Pista de baile

### **1.2.6. Human Powered Workout Gym Concept**

Al ejercitarse, las personas liberan energía. En este gimnasio flotante (Ver fig. 1.9), la energía liberada es aprovechada para producir electricidad utilizada para iluminación, y, cuyo exceso es almacenado en baterías. Este gimnasio también permite purificar el agua mientras hace ejercicio [13].



Fig. 1.9. Gimnasio flotante

### 1.2.7. Yoyo cargador de teléfono móvil

Es un diseño para captar energía cinética. El cargador incorpora un dínamo que convierte la energía del movimiento, en electricidad utilizable. El usuario gira el dispositivo, hasta que la batería se cargue. Una vez que se ha acumulado suficiente carga, al dispositivo puede conectarse una amplia gama de dispositivos electrónicos portátiles para recarga [14].



Fig. 1.10. Yoyo cargador de teléfono móvil [14]



### 1.2.8. Cubo mágico de Rubik

Es un cargador que funciona con los principios de la inducción electromagnética. La energía resultante puede ser posteriormente utilizada para recargar dispositivos electrónicos portátiles.

El MagicCharger(Ver fig. 1.11)posee, en su interior, pequeños generadores electromagnéticos que producen energía en cada movimiento de las capas del cubo. La energía generada se almacena en una batería de ion-litio, que se encuentra en el centro del cubo [15]. El despacho de energía se realiza a través de un terminal USB.

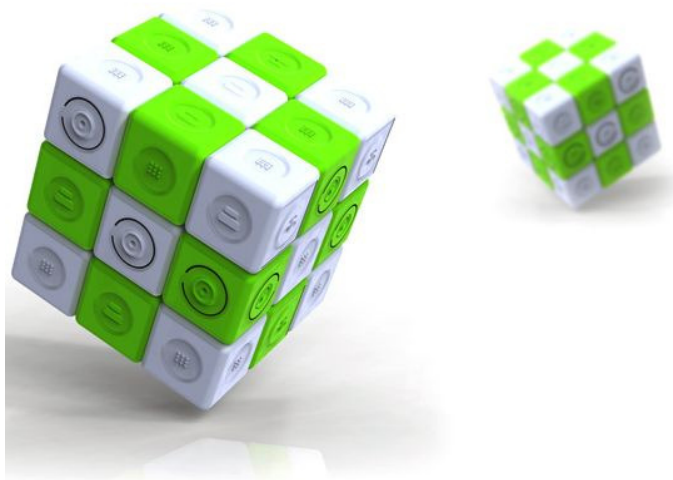


Fig. 1.11. Cubo mágico de Rubik[14]

### 1.2.9. Dedo potencial para la batería del teléfono

Este teléfono celular está alimentado desde una batería con un generador incorporado. El generador produce unos pocos milivatios de energía eléctrica cada vez que el dispositivo gira alrededor del dedo del usuario (Ver fig. 1.12). Rotar el dispositivo 130 veces, puede generar suficiente energía para 2 minutos de tiempo de conversación[14].

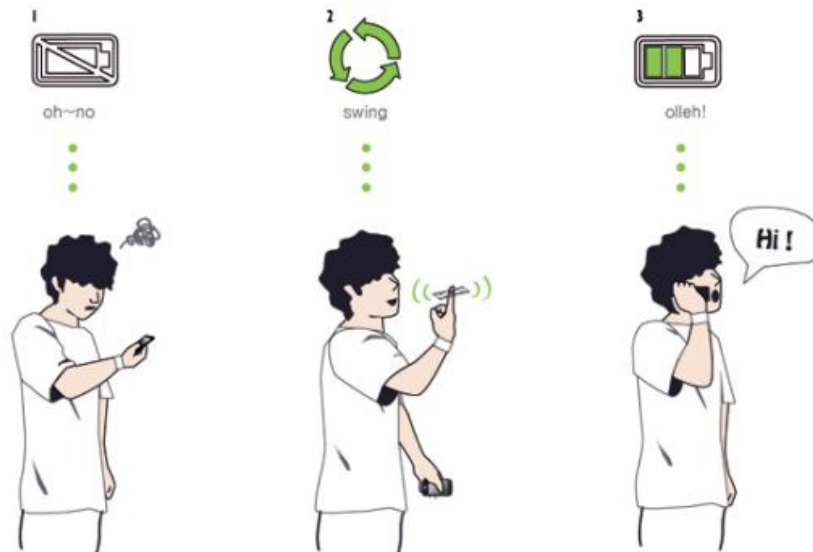


Fig. 1.12. Dedo potencial para la batería de un teléfono

### 1.2.10. Yo-yo

El Yo-yo es capaz de generar energía para cargar cualquier dispositivo con tan sólo jugar. La idea central es la transformación de energía del movimiento, en energía eléctrica para la batería de dispositivos electrónicos [14].

Para aprovechar la energía disipada, yo-yo posee un rotor electromagnético, con un imán, y, una bobina interna.

En el mercado existen al menos dos tipos de dispositivos basados en el yo-yo. El primero, está representado por unidades mp3 en forma de yo-yos, que se cargan jugando con ellos. Cada unidad permite almacenar 200 canciones.

El segundo grupo, aprovecha el yo-yo para generar la energía suficiente para cargar una batería de litio ubicada en su interior. La batería cargada se utiliza luego para potenciar cualquier tipo de dispositivos, especialmente teléfonos móviles (ver fig. 1.13)



Fig. 1.13. Yo-yo cargador de teléfono móvil [14]

### 1.2.11. Energía eléctrica al pulsar un botón

Algunos dispositivos electrónicos que poseen teclas, botones o pulsadores, pretenden aprovechar la energía humana disipada al pulsarlos.

Un primer ejemplo de estos dispositivos lo encontramos en algunos modelos de computadores Compaq (Ver fig. 1.14), energizados al pulsar sus teclas. Dicha energía no es suficiente para suministrar alimentación de forma constante a la computadora, pero puede ser empleada para recargar la batería secundaria [17].

Otro ejemplo, es el sistema de control remoto sin pilas. Al pulsar los botones del control remoto, se genera energía mecánica, la misma que es transformada a energía eléctrica con la ayuda de un dispositivo piezoeléctrico colocado en cada tecla [17].





**Fig. 1.14.** Computador Compaq energizado al pulsar sus teclas[17]

### 1.2.12. Boon Edam

Boon Edam es el nombre dado a una puerta giratoria de la estación de ferrocarril de Driebergen-Zeist en los Países Bajos (ver Fig. 1.15). Esta fue creada con la idea de convertirse en una alternativa para aprovechamiento de la energía humana.

Esta puerta giratoria incorpora un generador especial, impulsado por la energía humana aplicada a la puerta. El generador también controla la velocidad de rotación de la puerta para que el funcionamiento sea más seguro. El techo de la puerta giratoria es de cristal para dar un aspecto claro y transparente a la tecnología.

Un conjunto de supercapacitores, o arreglo de baterías, se utiliza como acumulador para almacenar la energía generada, y, proporciona alimentación eléctrica a los LED de bajo consumo que se encuentran ubicados en el techo de la puerta. Si los LED llegaran a consumir toda la energía almacenada, una unidad de control cambia a la alimentación de la instalación eléctrica del edificio. Esto garantiza que la puerta estará iluminada en todo momento, incluso cuando el flujo de pasajeros sea mínimo [18].



Fig. 1.15. Generación de energía eléctrica utilizando una puerta giratoria

### 1.2.13. Producción de electricidad con la voz

Este teléfono móvil, presentado por TahirCagin, no necesita ser conectado a una fuente de energía para su funcionamiento, ya que el mismo se carga cuando el usuario lo utiliza. El teléfono emplea nanotecnología, y, determinados materiales piezoeléctricos, con los cuales es posible generar energía a partir de las ondas de la voz humana, con una eficiencia del 100% [19].



Fig. 1.16. Celular que genera su electricidad con la voz [19]



#### 1.2.14. Píe Wesa

Es un cargador de baterías de pie (ver fig.1.17). Cinco minutos de activación permiten generar energía suficiente para el funcionamiento de un teléfono de 6 W durante 20 min, o, para el funcionamiento de un GPS de 0,8 W durante dos horas y media. A plena carga de la batería, se podría alimentar 1 hora de consumo en un ordenador portátil, o, casi 1 hora y 45 min de un televisor portátil de 12 V[20].



Fig. 1.17. Pie Wesa

#### 1.2.15. Licuadora bicicletera

La licuadora bicicletera es una creación de Cristian Guerrero(ver fig.1.18). La energía mecánica que las piernas generan al pedalear la bicicleta, proporciona la energía suficiente para el funcionamiento de la licuadora [20].



Fig. 1.18.Licuadorabicicletera



### 1.2.16. Cruces peatonales

Se ha diseñado un sistema para las intersecciones del tráfico que, transforma la energía de los pasos en energía. En este caso, las placas piezoeléctricas se colocan debajo de los pasos-cebra, de manera que las vibraciones y fluctuaciones de la presión causada por los automóviles y los peatones se pueden convertir en electricidad. La electricidad se canaliza a las lámparas de la calle, a la alimentación de las señales de tráfico, de las cámaras, y, de otros dispositivos electrónicos situados en las proximidades (ver fig.1.19) [21].

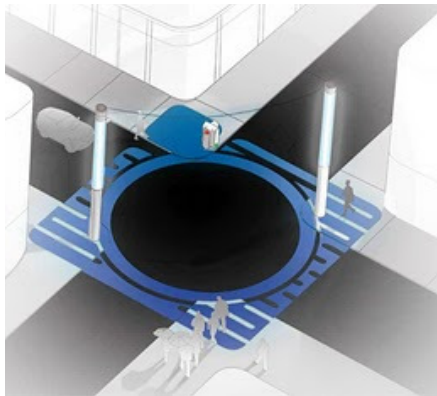


Fig. 1.19. Cruces peatonales [21]

### 1.2.17. Cargador GolfClub

El cargador Golf Club, fabricado por el diseñador industrial Mac Funamizuha, está pensado para todos los golfistas aficionados. No sólo sirve para evitar algunas lesiones en la mano, sino también para generar energía eléctrica suficiente para cargar teléfonos móviles u otros dispositivos portátiles [22].



Fig. 1.20. Cargador GolfClub

### 1.2.18. Cargador de empuñadura

Es un ejercitador de la muñeca para generar energía suficiente para cargar dispositivos móviles [23].



Fig. 1.21. Cargador de empuñadura

### 1.2.19. Arm band

El dispositivo permite aprovechar el movimiento cinético del baile para generar energía a través de un sistema de pesos e imanes. Pesa sólo 180g, y, puede ser llevado en el brazo[24].



Fig. 1.22. Arm band

### 1.2.20. Roll charger

El roll charger es un cargador de pilas compatible con los tipos AA y AAA. Las pilas se ubican en el interior de la esfera (ver fig. 1.23), y, se cargan por el movimiento de la muñeca al hacer girar la esfera. El dispositivo incorpora una luz LED que alerta sobre la finalización del proceso de carga [25].

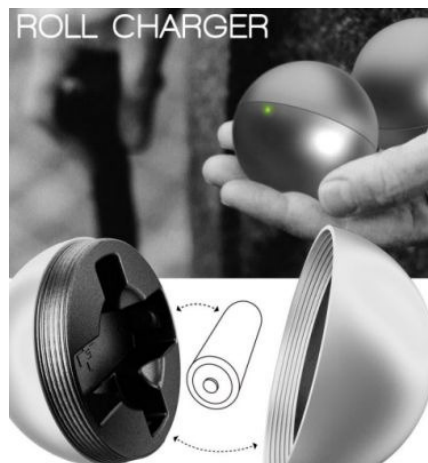


Fig. 1.23. Roll charger

### 1.2.21. YoGen

Es una tecnología patentada del alternador de estiramiento, un mecanismo de liberación de energía en el momento de desplegar y soltar [26].



Fig.1. 24.YoGen

### 1.2.22. NightStar

Esta linterna, impulsada con fuerza magnética, es operativa en las condiciones ambientales más duras e incluso bajo el agua. Con tan sólo una agitación de 30 segundos, se obtiene hasta 15 min de luz útil.

La linterna dispone de un condensador que puede cargarse miles de veces sin desgaste alguno. Basta una suave agitación horizontal para que el potente campo magnético que crea la electricidad, la envíe al condensador. La energía acumulada permite encender un LED blanco que aportará un potente haz de luz (ver fig. 1.25) [27].



Fig. 1.25. NightStar



### 1.2.23. Cargador a manivela

Se trata de un cargador portátil que no depende de ninguna fuente de energía, simplemente de la fuerza del usuario (ver fig. 1.26). La energía para dispositivos móviles proviene de la transformación de la energía de rotación de una manivela; 2 min de rotación proporciona la energía suficiente para 6 min de conversación telefónica o 60 min en espera. El generador permite cargar teléfonos móviles, mp3, cámaras digitales, PDA, etc. [28].



Fig. 1.26. Cargador a manivela

### 1.2.24. Generador de mano portable Aladdin Power

Se trata de un dispositivo de potencia de mano que suministra energía a dispositivos electrónicos basado en el principio de conversión de energía humana a eléctrica mediante un dínamo o generador de energía que se encuentra ubicado en el interior de la lámpara.

Una palanca externa está ubicada aproximadamente a 45 grados de la lámpara y al ser presionada contra el cuerpo de la lámpara, hace girar el dínamo (Ver Fig. 1.27).

El Aladdin Power proporciona energía para el funcionamiento de un teléfono o una linterna en una situación de emergencia. Un minuto de esfuerzo manual en el dispositivo, proporciona la energía requerida para soportar un minuto de llamada a través de un celular [29].





**Fig. 1. 27.** Generador de mano portable Aladdin Power

### 1.2.25. Radio sin pilas

Este radio contiene un resorte muy fuerte, hecho de acero de carbono. Con 60 vueltas de la manivela proporciona la energía necesaria para media hora de trabajo, con un buen sonido, y, sin interrupciones. La radio trabaja en las bandas FM, AM y SW [30].



**Fig. 1.28.**Radio sin pilas [30]

### 1.2.26. Rodillera generadora de electricidad

La rodillera generadora de electricidad captura la fuerza de tracción del caminante, y, la transforma en electricidad. Tan sólo 30 min de caminata equivale a la energía requerida para el funcionamiento de un celular u otro equipo portátil por media hora.



La eficiencia de la rodillera permite que una caminata de 5 min, a ritmo tranquilo, proporcione 5 W de potencia. Aun ritmo apenas más fuerte, se puede obtener 13 W de potencia(ver fig. 1.29) [31].



**Fig. 1.29.** Rodillera generadora de electricidad[32]



## CAPÍTULO II

### DISEÑO DE UN STAND DEMOSTRATIVO DEL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA HUMANA: DISEÑO PRELIMINAR

Este apartado recoge los aspectos fundamentales del diseño preliminar de un stand demostrativo del aprovechamiento de la energía humana en la generación de energía eléctrica para iluminación.

#### 2.1. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Para el diseño del stand demostrativo, se utilizará una metodología basada en la aproximación secuencial: partiendo de la definición de una propuesta de arquitectura funcional para el sistema, se analizarán las opciones tecnológicas existentes para cada componente, se seleccionará la opción óptima, y, se desarrollará la ingeniería de detalle.

#### 2.2. ARQUITECTURA FUNCIONAL DEL SISTEMA

Para definir la arquitectura funcional del sistema propuesto, se parte del modelo para el aprovechamiento de la energía humana sugerido en [33] (Ver Fig. 1.2). La entrada del sistema de energía humana, que se convierte en energía eléctrica y se almacena, para su posterior entrega al usuario final.

Este tipo de generación se la obtiene de tareas inusuales, sin notarlo, no resulta nada complejo para el usuario y no requiere su atención especial. Se la considera la mejor alternativa de generación de energía.

Por cuanto el objetivo del proyecto es generar energía eléctrica para iluminación, se ha



previsto la posibilidad de utilizar tres tipos de lámparas en la demostración: de filamento, LED, y, CFL. Esta condición permite cuantificar la demanda de energía requerida en una hora de trabajo, entre 5W y 150W (entre 18000J y 540000J). Para proporcionar esta energía, es necesario determinar las posibilidades de la energía humana, en los formatos pasivo y activo.

La Tabla 2.1 resume las posibilidades de la energía humana pasiva, es decir aquella que se produce sin realizar tareas premeditadas [33]. El análisis de los valores mostrados, demuestra que este tipo de energía no es aplicable al proyecto.

**Tabla 2.1.** Generación pasiva de energía

| Actividad            | Generación pasiva de energía |
|----------------------|------------------------------|
| Movimiento de dedo   | 0.007 W                      |
| Respiración          | 0.4 W                        |
| Movimiento pecho     | 0.83 W                       |
| Movimiento de brazo  | 1.5 W                        |
| Calor del cuerpo     | 3.5 W                        |
| Movimiento de pierna | 8.4 W                        |

La energía humana activa, se la obtiene a partir de tareas intencionadas del usuario. La bibliografía existente [33], compara diferentes movimientos en función de la cantidad de energía generada (Ver Tabla 2.2). El análisis de los valores mostrados, muestra la potencialidad del uso de la energía generada en la mano y en el brazo, para este proyecto.

**Tabla 2.2.** Generación activa de energía

| Actividad                  | Generación activa de energía |
|----------------------------|------------------------------|
| Dedo (presionar un lápiz)  | 0.3 W                        |
| Mano (Aladdin Power)       | 3.6 W                        |
| Mano y brazo (Freeplay)    | 21 W                         |
| Piernas (ciclismo 25 Km/h) | 100W                         |

La Tabla 2.3, detalla la capacidad de generación de energía de los movimientos del brazo y la mano. El agitar y el torcer, proporcionan relativamente poca energía. La



oscilación de una masa requiere un gran espacio, lo que limita las aplicaciones. Como opciones a elegir para el proyecto, se identifica entonces a la tracción o estiramiento, al girar una manivela, y, al presionar y flexionar. Por las facilidades de diseño, se seleccionó la generación de energía a través del giro de una manivela.

**Tabla 2.3.** Capacidad de generación de energía de los movimientos de la mano y brazo [33]

| Movimiento                 | Tipo                       | Energía | Espacio         | Masa             | Impacto en el entorno            |
|----------------------------|----------------------------|---------|-----------------|------------------|----------------------------------|
| Torcer                     | Rotacional;<br>discontinuo | 12.6 W  | Pequeño         | Ligera           | No molesta a los alrededores     |
| Girar manija<br>o manivela | Rotacional;<br>discontinuo | 21 W    | Pequeño         | Ligera           | No molesta a los alrededores     |
| Agitar                     | Traslación;<br>continuo    | 0.4 W   | Medio           | Media            | Ruido y movimiento en el espacio |
| Tracción/<br>Estirar       | Traslación;<br>continuo    | 23 W    | Medio           | Ligera           | Movimiento alrededor             |
| Oscilación<br>de masa      | Rotacional;<br>discontinuo | 25 W    | Medio<br>/Largo | Pesada           | Arriesgado para los alrededores  |
| Presionar<br>y flexionar   | Traslación;<br>continuo    | 20 W    | Pequeño         | Ligera<br>/Media | No molesta a los alrededores     |

La adaptación del modelo propuesto al objetivo del trabajo, permite obtener la arquitectura funcional del sistema, conforme a lo mostrado en la Fig. 2.1. Un dispositivo de manivela o pedal, convierte la energía humana (en formato mecánico) en energía eléctrica. La energía eléctrica generada se almacena en una batería. Un circuito controlador (que incluye un inversor CD/CA y un controlador de carga para protección de la batería), proporciona la energía suficiente para encender tres tipos de lámparas (de filamento, LED, y, CFL).

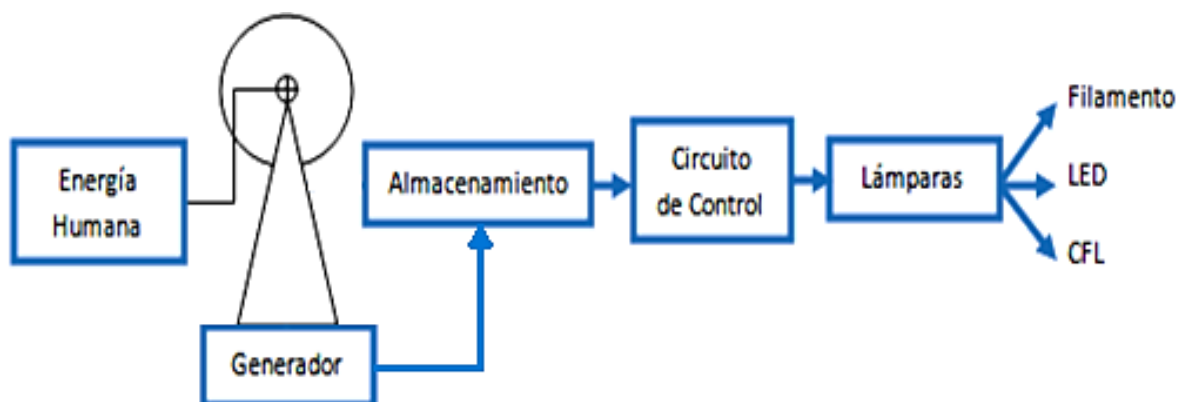


Fig. 2.1. Arquitectura funcional del stand demostrativo del aprovechamiento de la energía humana en la generación de energía eléctrica para iluminación

## 2.3. BLOQUE DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA

La energía humana utilizada para girar la manivela, debe ser convertida en energía eléctrica. Para realizar esta conversión existen dos métodos: la conversión electromagnética, y, la conversión piezoeléctrica.

### 2.3.1. Conversión electromagnética

La conversión electromagnética se puede realizar de dos formas: utilizando un generador de rotación, o, utilizando un generador de traslación. La primera forma, convierte el movimiento circular de un imán en electricidad. La segunda forma, convierte el movimiento lineal de un imán en electricidad.

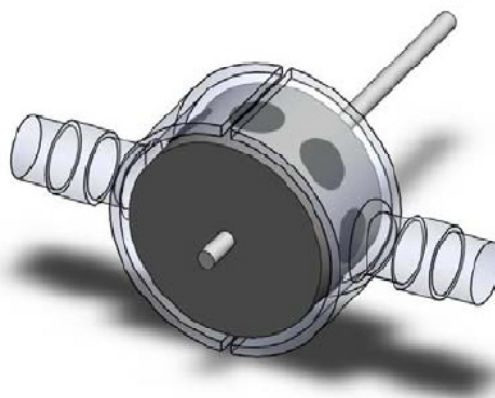
El principio es básicamente el mismo para ambas formas, puesto que se basa en el flujo creado por el movimiento de un imán al atravesar una bobina. El imán se mueve, ya sea para rotar o trasladarse a lo largo de una bobina de alambre. El movimiento causa inducción y suministra una corriente en el alambre [36], [37].



El generador de rotación es el comúnmente usado, ya que presenta mayor eficiencia. La **tensión de salida** del generador de rotación, puede variar dependiendo del número de vueltas en la bobina, de la fuerza del campo magnético, del número de polos, y, de la velocidad de rotación del rotor. La **eficiencia** del generador de rotación, varía dependiendo del tamaño, y, del material utilizado.

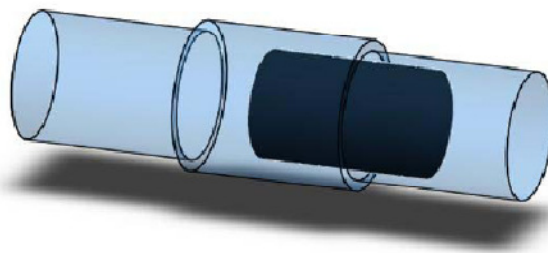
Existen distintos tipos de generadores de rotación como el de flujo radial, el de flujo axial, y, el de flujo paralelo

El **generador de flujo radial**, es un diseño común para los generadores y alternadores de producción masiva. En este diseño, las bobinas están conectadas a un cilindro de metal hueco concéntrico, y, al imán lo contiene el rotor (Ver Fig. 2.2). Este diseño es complejo y de costo elevado [35].



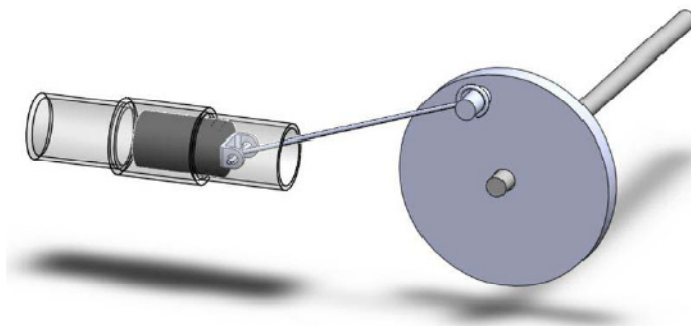
**Fig.2.2.** Generador de flujo radial

El **generador de flujo axial** fue inspirado en la linterna sin pilas de agitación. El concepto es generar electricidad al sacudir un imán a través de una bobina (Ver Fig. 2.3). El tiempo de carga de una batería a través de este tipo de generador, puede ser muy grande.



**Fig. 2.3.** Generador de agitación

Una variación del generador de flujo axial, es el mostrado en la Fig. 2.4. Este diseño convierte el movimiento rotatorio de unamanivela o de una bicicleta, en una unidad lineal para empujar y tirar de un imán a través de una bobina [35].



**Fig. 2.4.** Generador de flujo axial

El **generador de flujo paralelo**, presenta un estator vertical que contiene bobinas en paralelo al rotor (Ver Fig. 2.5). Este diseño es más sencillo y fácil de construir que el diseño del generador concéntrico, pero es menos eficiente debido a pérdidas por fricción [35].



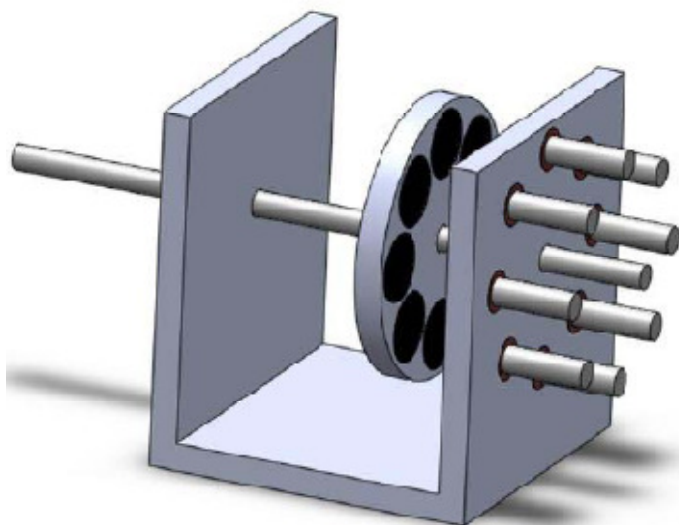


Fig.2.5. Generador de flujo paralelo

### 2.3.2. Conversión piezoeléctrica

En algunos materiales, una compresión o una deformación, puede producir el apareamiento de una diferencia de potencial, generalmente en relación lineal con la magnitud de la fuerza ejercida sobre el material. Los materiales que se comportan de esta manera son llamados materiales piezoeléctricos.

En el mercado se encuentran dos tipos principales de piezoeléctricos: el PZT (lead zirconatetitanate), un material cerámico sólido, y, el PVDF (polyvinylidene fluoride), un polímero de aluminio [33].

Tomando en cuenta que la conversión piezoeléctrica no es una técnica segura, para efectos de este proyecto, la mejor opción es la utilización de la conversión electromagnética, a través del uso de un generador de rotación activado a manivela.



## **2.4. BLOQUE DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA**

La energía debe ser almacenada en algún punto. El almacenamiento puede hacerse antes o después de la conversión. La primera opción requiere de un medio mecánico de almacenamiento de energía. La segunda demanda de un almacenamiento electroquímico o eléctrico [33].

### **2.4.1. Almacenamiento de energía previo a la conversión**

En la etapa previa a la conversión, la energía mecánica puede ser almacenada utilizando distintos recursos, en formato de energía cinética o potencial.

#### **2.4.1.1. Almacenamiento en altitud**

La energía mecánica es almacenada como energía potencial mediante el levantamiento de una masa contra la gravedad. Al caer la masa, la energía potencial se convierte en energía cinética. La cantidad de energía que se almacena depende del peso de la masa, y, de la longitud de la caída. Mientras más pesada sea la masa, y, más larga sea la caída, más energía se puede almacenar [33].

#### **2.4.1.2. Almacenamiento en gas comprimido**

La energía mecánica se almacena en un gas comprimido, para lo que se puede utilizar aire, oxígeno puro, o, nitrógeno puro. La eficiencia de este método de almacenamiento es baja (máximo 40%) y se requiere de un gran contenedor de gas comprimido para almacenar una cantidad razonable de energía [33], [40].

#### **2.4.1.3. Almacenamiento en resortes**

La energía mecánica se puede almacenar como energía potencial en la elongación de un resorte. Cuando el resorte regresa a su forma original, libera la energía acumulada. Un resorte tiene una alta eficiencia (hasta 95%), no tiene auto-descarga,



y, tiene una larga vida, por lo que es una manera confiable de almacenar energía. Mientras más grande sea el resorte, mayor energía se almacena [33].

#### **2.4.1.4. Almacenamiento de la energía en un volante**

Un volante puede almacenar la energía mecánica en forma de energía cinética de rotación, al girar un disco muy rápidamente. La energía que se puede almacenar en un volante de inercia, depende de diferentes factores: la masa del disco, el radio del disco, y, la velocidad de rotación. Mientras más pesada sea la rueda, más energía se puede almacenar. Así mismo, mientras más rápido gire el disco, más energía se podrá almacenar. Cuanto más grande sea el radio del disco, más energía puede ser aprovechada. Un volante puede ser fácilmente integrado con un generador de rotación, y, ser utilizado para almacenar energía durante un corto tiempo y conducir un generador a una velocidad constante [33], [40], [41].

#### **2.4.2. Almacenamiento de energía luego de la conversión**

Una vez que, la energía mecánica se ha convertido en energía eléctrica, esta puede ser almacenada en baterías secundarias (recargables) o en condensadores.

##### **2.4.2.1. Almacenamiento en baterías electroquímicas**

Las baterías secundarias utilizan sustancias químicas para almacenar energía eléctrica. La eficiencia de las baterías recargables es de aproximadamente el 70%, puesto que parte de la energía utilizada para cargar la batería, se disipa como calor.

Los tres tipos más utilizados de baterías secundarias son: níquel-cadmio (NiCd), níquel metal-hidruro (NiMH), y, de iones de litio (Li-Ion). (Ver Tabla 2.4).



Tabla 2.4. Características de las baterías secundarias

| Tipo de batería | Densidad de Energía | Curva de descarga    | Auto- descarga | Aplicaciones típicas                          |
|-----------------|---------------------|----------------------|----------------|---|
| NiCd            | 40 - 60 Wh/kg       | Plana hasta agotarse | 20% por mes    | Herramientas portables y electrodomésticos    |
| NiMH            | 60-80 Wh/kg         | Plana hasta agotarse | 30% por mes    | Celulares y videocámaras                      |
| Li-Ion          | >100 Wh/kg          | Inclinada            | 1-5% por mes   | Celulares compactos y computadoras portátiles |

Las baterías de Li-Ion, pueden almacenar casi el doble de la cantidad de energía con la misma masa que los otros dos tipos, pero su curva de descarga es muy inclinada. El voltaje entregado en un período de tiempo, cae mucho más rápido, por lo que necesitan de una electrónica más compleja para ofrecer un voltaje de salida a ser utilizado en productos electrónicos. La batería de Li-Ion, no se auto-descarga como las otras dos (de hecho la batería NiCd es considerada una batería de auto-descarga). Las baterías de NiMH, pierden hasta un 30% de su energía dentro de un mes.

Las baterías de NiCd funcionan mejor cuando están totalmente cargadas o cuando están totalmente descargadas. La desventaja más sobresaliente de una batería de NiCd es su contenido de cadmio, elemento altamente tóxico.

Una desventaja general de baterías secundarias, pasa por que sólo tienen entre 500 y 1000 ciclos de uso. La capacidad de las baterías comienza a disminuir después de descargarse y recargarse varias veces [33], [43], [44], [45].

#### 2.4.2.2. Almacenamiento eléctrico

La electricidad puede ser almacenada sin necesidad de una reacción química, mediante condensadores. Un condensador almacena la energía como un campo electrostático entre dos placas de metal.



Un condensador se puede cargar y descargar muy rápido (en pocos milisegundos) y se lo utiliza como almacenamiento a corto plazo, para asegurarse de que el suministro de energía se mantenga constante.

Por otra parte, la capacitancia es proporcional al área de las placas, por lo que, aunque existen capacitores pequeños que pueden almacenar grandes cantidades de energía, los capacitores de doble capa tienen una capacidad muy alta (de hasta 200 Faradios) [33], [46].

Los condensadores tienen una vida excepcionalmente larga. Se pueden cargar y descargar hasta 100.000 veces sin ninguna degradación apreciable, son más seguros que las baterías, pero pueden explotar o tener fugas.

El análisis de los distintos métodos de almacenamiento de energía se resume en la Tabla 2.5, al comparar eficiencia, tamaño, cantidad de energía almacenable, y, compatibilidad con la generación de electricidad. Por facilidad en la implementación, para este proyecto se seleccionó el uso de métodos electroquímicos, utilizando una batería de tipo NiCd.

**Tabla 2.5.** Comparación de Métodos de Almacenamiento

| Método de almacenamiento                  | Eficiencia       | Densidad de Energía    | Compatibilidad |
|---|------------------|------------------------|----------------|
| <i>Energía Cinética/Energía Potencial</i> |                  |                        |                |
| Altitud                                   | Muy alta (90%)   | Muy baja               | Baja           |
| Gas comprimido                            | Baja (20 - 40 %) | Muy baja               | Baja           |
| Elasticidad                               | Muy alta (95%)   | Larga                  | Media          |
| Volante                                   | Alta (70%)       | Larga                  | Alta           |
| <i>Energía Eléctrica</i>                  |                  |                        |                |
| Electromecánica                           | Alta (70%)       | Larga (40 – 140 Wh/kg) | Alta           |
| Eléctrica                                 | N/A              | Media (2 – 10 Wh/kg)   | Muy alta       |



## 2.5. BLOQUE DE CIRCUITO DE CONTROL

Este bloque incluye un circuito inversor, para la conversión de la corriente continua generada en corriente alterna para alimentar las lámparas. También consta de un controlador de carga para proteger a las lámparas de la desviación de voltaje, y, de la corriente de salida [35].

La función de un inversor es cambiar el voltaje de entrada en CD a un voltaje simétrico de salida en CA, con la magnitud y frecuencia deseadas. Los inversores se pueden clasificar básicamente en dos tipos: inversores monofásicos, e, inversores trifásicos. Cada tipo puede utilizar dispositivos de activación y desactivación controlada (BJT, MOSFET, IGBT, MCT, SIT, GTO) o tiristores de conmutación forzada. En los inversores trifásicos, se exige que las tres ondas de salida constituyan un sistema simétrico y equilibrado.

El inversor ideal debería entregar una onda de tensión senoidal, es decir sin contenido armónico. La elección del inversor adecuado es función de la potencia, de la tensión, y, de la frecuencia, requeridos por la carga [47].



## CAPÍTULO III

### EVALUACIÓN DEL DISEÑO ELECTROMECAÁNICO DE UN GENERADOR DE ROTACIÓN DE FLUJO AXIAL

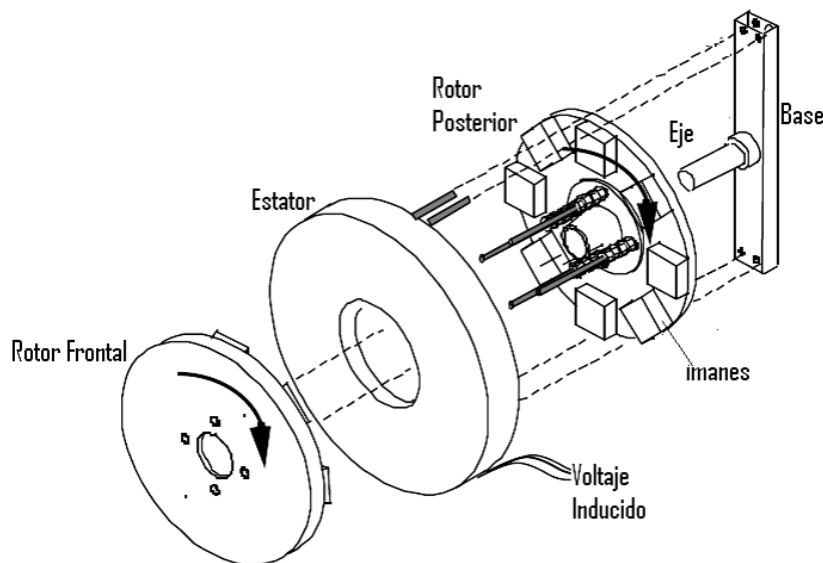
En este capítulo se describe el proceso de diseño de un generador eléctrico de rotación de flujo axial, activado por una manivela.

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

Los generadores eléctricos activados por manivela, convierten la energía mecánica de rotación en energía eléctrica. La idea básica, es propiciar el movimiento de rotación de un imán, dentro de una bobina.

Los generadores eléctricos convencionales ubican los devanados (bobinas) en el estator, y, la fuente magnética (imanes permanentes) o electromagnética (excitación variable) en el rotor [48].

El generador de rotación de flujo axial, consta de un disco delgado de hierro que gira alrededor de un eje perpendicular al mismo, y, en cuyo contorno se sitúan un conjunto de imanes que crean un campo magnético paralelo al eje de giro (ver Fig.3.1).



**Fig. 3.1.**Generador de flujo axial [55]

Los generador de flujo radial [49], logran eficiencias superiores al 80% incluso a baja potencia y funcionan típicamente con una velocidad máxima de 3600rpm. La disposición radial, sin embargo, presenta dos grandes problemas en una implementación de alta velocidad: geometría, y, pérdidas en el estator.

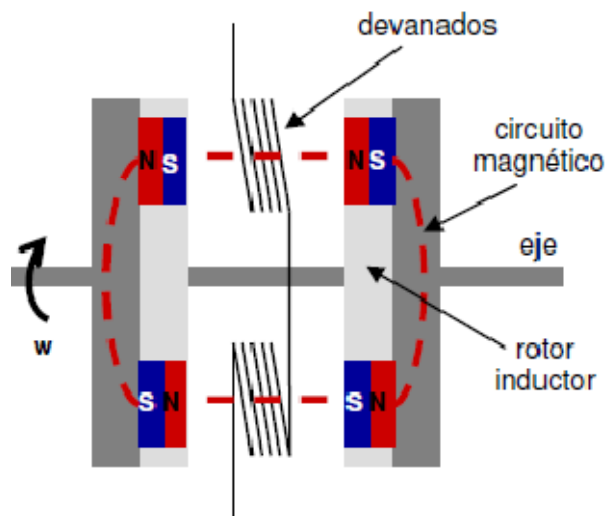
El problema geométrico, surge de la alta velocidad de trabajo, y radica en cómo sujetar correctamente los imanes al rotor. En una configuración radial es necesario que la cara externa del imán se aproxime en la mayor medida posible al estator para reducir el espacio de aire entre ambos. Así, los imanes no pueden fijarse al rotor mediante un suncho, que sería el método más conveniente para soportar la fuerza centrífuga.

El otro inconveniente es la generación de corrientes parásitas en el circuito magnético del estator debido a que se halla expuesto a un campo alternante. Cuanto mayor es la velocidad relativa entre el campo magnético y el estator mayor es la intensidad de las corrientes que allí se generan. El calentamiento del estator por este efecto y la disipación de energía consecuente representan un tipo de pérdida que en implementaciones a alta velocidad se vuelve significativa[48].





Los generadores eléctricos de flujo axial [50] (Fig. 3.2), los imanes están soportados en discos y la cara que enfrenta a las bobinas debe ser plana para permitir la mayor proximidad posible, así, mediante agujeros, resulta simple reforzar los discos porta imanes en su perímetro. El problema de la geometría queda así resuelto. Si se colocan imanes a cada lado del bobinado se puede cerrar el campo magnético a través del aire sin mucha dispersión. Con ello se evitan materiales ferromagnéticos en el estator, expuestos a campos alternos y se eliminan las pérdidas por corrientes parásitas. Ésta es, quizás, la mayor ventaja de implementar la disposición axial del flujo.



**Fig. 3.2.** Disposición de un generador de flujo axial [48]

La topología del Generador de Flujo Axial está compuesta por un *estator central* y dos *rotores laterales* donde se alojan las piezas polares de imanes permanentes con el respectivo material ferromagnético que cierra el circuito magnético del rotor. El estator está compuesto por bobinados trifásicos. Por otro lado, a alta velocidad, los contactos rozantes de alimentación de un inductor electromagnético resultarían imprácticos. En este trabajo se optó por utilizar imanes permanentes de alta energía (Neodimio-Hierro-Boro) para eliminar dichos contactos[50].



### 3.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Cuando un conductor de longitud  $l$  se mueve en un campo magnético  $\vec{B}$ , con una velocidad relativa  $\vec{v}$ , se genera una fuerza electromotriz (fem) que desplaza cargas hacia sus extremos. La diferencia de potencial resultante entre ambas puntas del conductor sigue la relación:

$$\varepsilon = (\vec{v} \times \vec{B})\vec{l} \quad (3.1.)$$

y puede ser aprovechada para transformar energía mecánica en eléctrica si se conectan ambos extremos a una carga para cerrar el circuito eléctrico. La corriente  $i$  que circula por el conductor en ese caso también interactúa con el campo, produciendo una fuerza  $\vec{f}$  en sentido opuesto al movimiento que responde a la ecuación:

$$\vec{f} = i(\vec{B} \times \vec{l}) \quad (3.2.)$$

Y que, por conservación de la energía, requiere de una potencia mecánica para mantener el conductor en movimiento igual a la potencia eléctrica obtenida a cambio. Si se conectan todos los conductores fuera de la zona afectada por el campo magnético en forma de bobina, como un arreglo axial, se pueden obtener valores de tensión o corriente útiles (Fig. 3.3) [48].

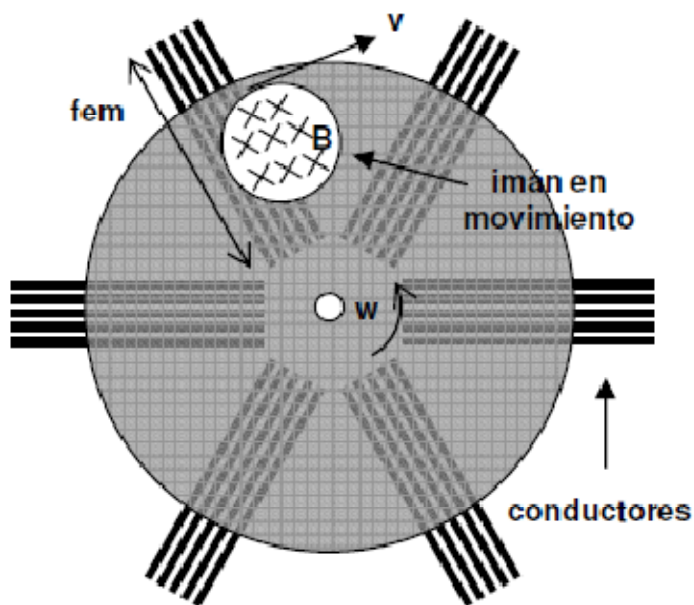


Fig. 3.3. Disposición de los conductores y campo magnético en un arreglo axial[48]

Un generador de flujo axial es un generador de corriente alterna que posee un campo magnético paralelo al eje de giro. Consiste en un disco de hierro, en cuya superficie, y cerca del borde del mismo, van pegados imanes permanentes (Fig. 3.4), es decir, un conjunto de **imanes que se mueven** frente a unas **bobinas fijas**. Aunque la ley de Faraday es la que con más frecuencia se aplica al fenómeno de inducción eléctrica, la fórmula de Lorentz es de más fácil aplicación y da una explicación más sencilla de este mismo fenómeno de inducción. La ley de Faraday considera la espira, en la que se induce la fuerza electromotriz, en todo su conjunto y su expresión matemática se aplica a la superficie de la espira, mientras que la fórmula de Lorentz se aplica a los conductores que forman la espira[51], [52].

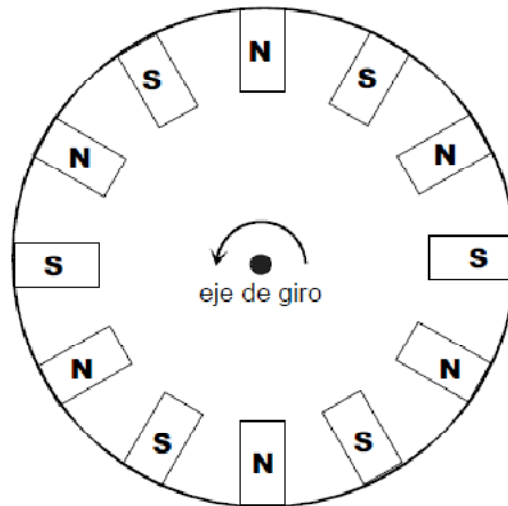


Fig.3.4. Disposición de imanes permanentes[51]

Los imanes de igual tamaño y equidistantes entre sí, con los polos alternados, se mueven con velocidad  $v$  por delante de un conjunto de segmentos conductores y equiespaciados. Según la Ley de Lorentz, la polaridad de cada segmento es la representada en la Fig. 3.5[52].

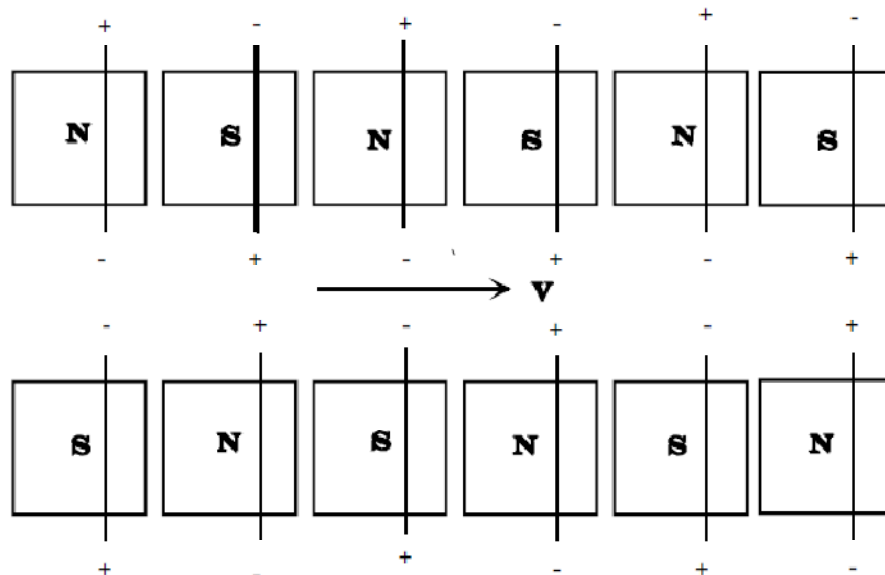


Fig. 3.5. Disposición de polaridad de imanes encada disco del generador[52]



La polaridad inducida en los segmentos debido al movimiento de los imanes, permite unirlos conforme se muestra en la Fig. 3.6 [52].

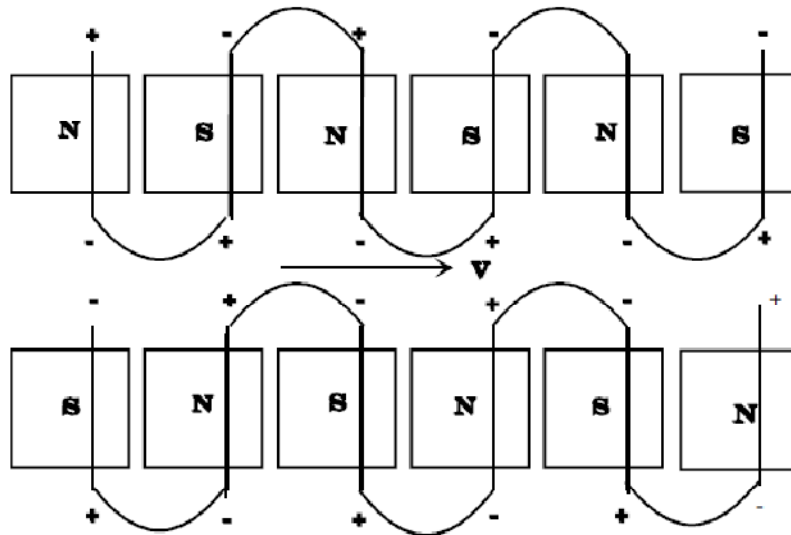


Fig. 3.6. Unión de imanes de acuerdo a la polaridad inducida [52]

El grupo de bobinas, de  $N$  espiras cada una, en el caso de un generador monofásico, coincide en número, con el número de imanes (Fig. 3.7).

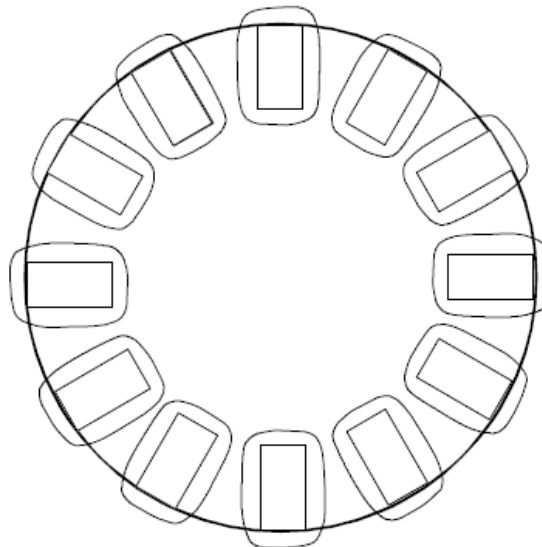


Fig.3.7. Disposición de bobinas [52]



La fuerza electromotriz inducida en cada una de las bobinas de este generador, se puede obtener a partir de la expresión de Lorentz, (fem inducida en un conductor móvil en el seno de un campo magnético) puesto que aunque, son los imanes los que se mueven realmente por delante de las bobinas, puede considerarse que éstos están quietos y son las bobinas las que giran en el sentido contrario, enfrente de los imanes [52].

La fem inducida en un segmento conductor que se mueve con un movimiento circular en el seno de un campo magnético paralelo al eje de giro (perpendicular al círculo) responde a la siguiente ecuación (ver Fig. 3.8) [51]:

$$\varepsilon = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) d\vec{l} \quad (3.3.)$$

$$\varepsilon = \oint v B dl \quad (3.4.)$$

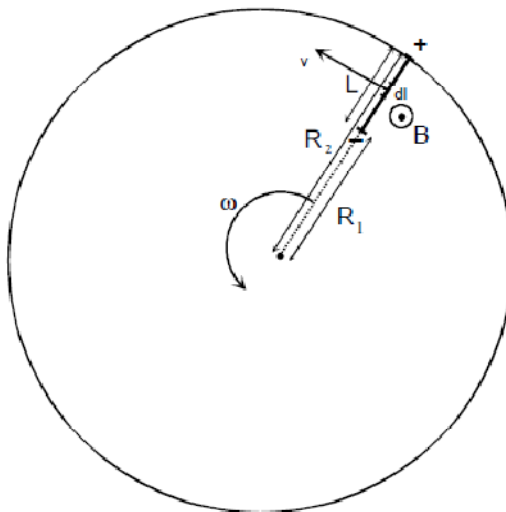
$$\varepsilon = \oint \omega r B dl \quad (3.5.)$$

$$\varepsilon = \omega B \int_{R_1}^{R_2} r dr \quad (3.6.)$$

$$\varepsilon = \omega B \frac{R_2^2 - R_1^2}{2} \quad (3.7.)$$

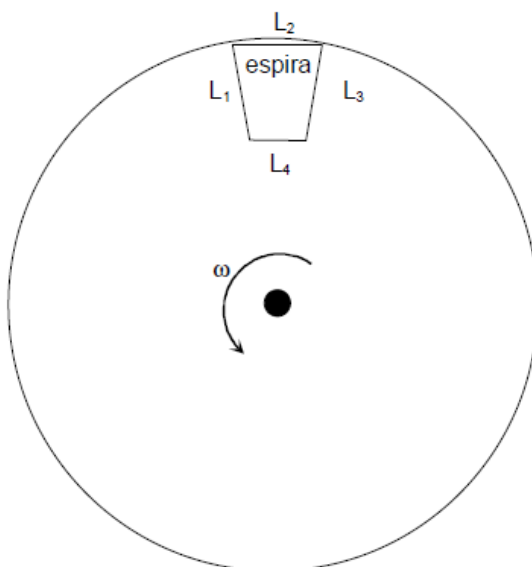
$$\varepsilon = \omega B \frac{(R_2 - R_1)(R_2 + R_1)}{2} \quad (3.8.)$$

$$\varepsilon = \omega B \frac{(R_2 + R_1)}{2} L \quad (3.9.)$$



**Fig. 3.8.** Disposición de fem en un segmento conductor

Al tener una espira como la que se muestra en la Fig. 3.9, con dos lados en la dirección del radio de la circunferencia, L1 y L3, y los otros dos perpendiculares a dicho radio, L2 y L4. Solo en los lados L1 y L3 se puede generar fem inducida, cuando giren enfrente de un imán. Si la espira gira enfrente de un imán de un tamaño muy parecido al de la espira, sólo uno de los lados estará enfrente al imán, por lo que se generará fem en un solo lado, y luego en el otro, pero no en ambos a la vez [51].



**Fig. 3.9.** Espira en el generador



Si en vez de tener un solo imán, se tiene un grupo de imanes, alternados en sus polos magnéticos, como los que se muestran en la Fig. 3.4, al girar la espira enfrente de estos imanes, los lados L1 y L2 estarán, casi todo el tiempo, enfrentados a imanes de polos opuestos por lo que las fems generadas en ellos serán opuestas también, y la fem total generada en la espira será el doble de la generada en un solo lado[51].

$$\varepsilon = 2\omega B \frac{(R_2 + R_1)}{2} L \quad (3.10.)$$

$$\varepsilon = \omega B (R_2 + R_1) L \quad (3.11.)$$

Se puede considerar que una bobina de N espiras, está formada por N segmentos conductores en cada uno de los lados radiales de la misma. Por tanto, la fem generada en la bobina, será N veces la generada en una de sus espiras.

$$\varepsilon = \omega B (R_2 + R_1) NL \quad (3.12.)$$

La expresión (3.12) corresponde a la fem “alterna” máxima, o de pico, inducida en la bobina. La fem “eficaz” será:

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{2}} \omega B (R_2 + R_1) NL \quad (3.13.)$$

Como se ve en la expresión (3.13), la fem eficaz inducida en una bobina de un generador de flujo axial, es proporcional a la velocidad angular, que se mide en vueltas por segundo. Si usamos las rpms (revoluciones por minuto) para medir la velocidad angular[51]:

$$\omega = \frac{2\pi}{60} (rpms) \quad (3.14.)$$

$$\varepsilon = 0.074 (rpm) B (R_2 + R_1) NL \quad (3.15.)$$





En dónde:

- rpm***, es la velocidad de giro de la bobina expresada en vueltas o revoluciones por minuto
- B***, es el campo magnético creado por los imanes
- R<sub>2</sub>***, es el radio del disco de hierro donde van “pegados” los imanes
- R<sub>1</sub>***, es igual a  $R_2$  menos la longitud radial, o altura radial, del imán,  
 $R_1 = R_2 - L$
- N***, es el número de segmentos
- L***, es la longitud radial

El campo magnético creado por los imanes, para el caso de imanes de Neodimio, suponiendo que se tienen dos imanes enfrentados y separados una distancia aproximada de 20 mm, puede llegar a 5000 gauss, esto es 0.5 Teslas[51].

La expresión (3.15.) no es exacta, sino aproximada, siendo tanto más exacta cuantos más imanes hay en el disco de giro, y, consecuentemente, menos espiras tiene la bobina. Esta expresión permite predecir la fem que se generará en una bobina de un generador de flujo axial en función de la velocidad angular, en rpm, del giro del disco de imanes, dando un valor que es ligeramente superior al valor real.

Para obtener un valor más aproximado al real, se puede introducir un factor geométrico, que tenga en cuenta la “superficie de campo magnético”. Como todo el disco no está repleto de imanes, sino que hay una separación entre ellos, el factor geométrico corrector de la expresión (3.15.) es la superficie de todos los imanes dividido por la superficie total de la corona circular donde están colocados los imanes[51]:

$$f_c = \frac{S_{\text{imanes}}}{S_{\text{corona circular}}} \quad (3.16.)$$

$$\varepsilon = f_c \cdot 0.074 (\text{rpm}) B (R_2 + R_1) N L \quad (3.17.)$$



Para aumentar esta fem, se colocan varias bobinas, tantas como imanes para un generador monofásico, que se pueden conectar en serie, formando grupos de bobinas, en cuyo caso habría que multiplicar el valor de la fem de una bobina, por el número de bobinas conectadas en serie[51].

### **3.3. DISEÑO DEL GENERADOR DE FLUJO AXIAL**

En este apartado se explicarán los pasos seguidos en el diseño del prototipo funcional. El diseño de generador axial posee una geometría simple con los elementos básicos descritos anteriormente. Está constituido por dos discos con ocho imanes cada uno y un estator con seis bobinas. No se conoce aún el régimen definitivo de funcionamiento, ya que es un parámetro determinado por la manivela y no por el generador. De todas formas el prototipo deberá soportar una fracción significativa de velocidad, lo que afecta directamente al diseño mecánico. Se intentará lograr una potencia representativa de tal valor en el prototipo, trabajando principalmente con corrientes del mismo orden.

#### **3.3.1. Base**

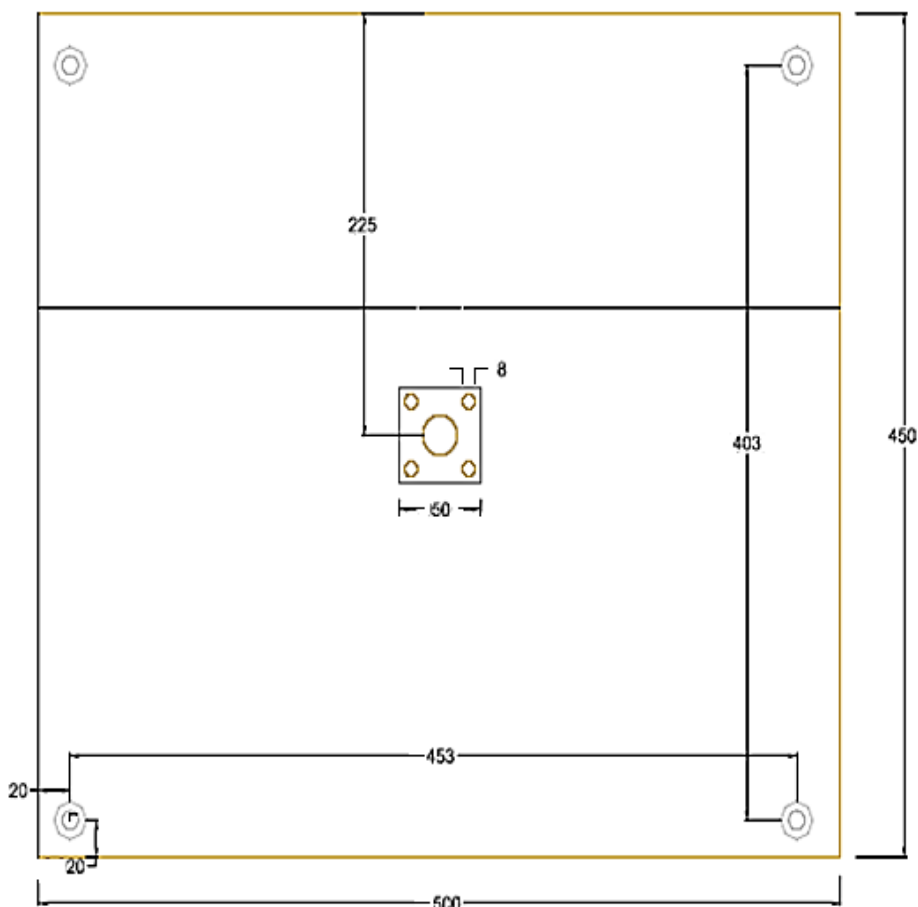
La base es el soporte del generador. Para su construcción se colocan dos planchas de madera de aproximadamente 45x50cm, con el objetivo de que no interfieran en el desenvolvimiento de los rotores. Las planchas se deben mantener paralelas entre si y separadas una distancia adecuada (Ver Fig. 3.10).



**Fig. 3.10.** Base del generador axial

Deben existir agujeros centrales para sujetar los rodamientos (ver Fig. 3.11). Se realizaran:

- 4 agujeros de 10 mm de diámetro, hechos - por estética - a 20 mm de cada borde de las planchas. Estos servirán para colocar cuatro varillas roscadas y conseguir que dichas planchas se mantengan paralelas entre si y separadas una distancia adecuada.
- 4 agujeros de 8 mm de diámetro para sujetar los rodamientos.
- 1 agujero central del diámetro del eje de giro. Es necesario que el eje de giro pase sin rozar la madera.

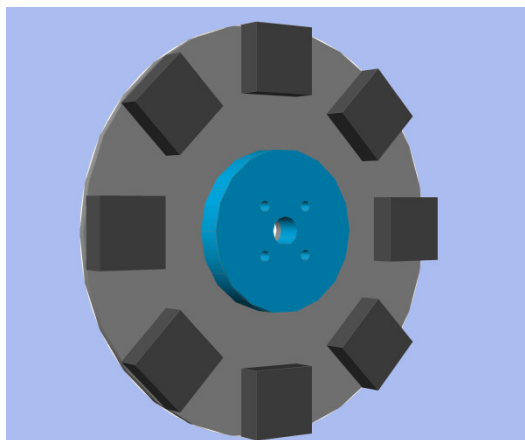


**Fig. 3.11.** Disposición de agujeros en base

### 3.3.2. Rotor

El rotor del generador consiste fundamentalmente de dos discos de hierro, con 8 imanes de Neodimio (NdFeB) equidistantes (Fig. 3.12) cada uno. Los imanes son los encargados de crear la variación de campo magnético al girar montados en el rotor, generando corriente eléctrica.

Los dos discos de imanes están enfrentados entre sí, separados de modo que, en medio de los imanes se pueden colocar las bobinas. La electricidad se genera por el giro de los imanes de los discos magnéticos, al girar a uno y otro lado de bobinas encastadas en el estator.



**Fig. 3.12.**Disco del rotor

Los dos discos del rotor están montados sobre un eje de cojinetes gracias a un buje. Los rotores magnéticos deben estar sujetos directamente a la manivela, para que ésta los haga girar.

### **3.3.2.1. Discos de hierro**

El rotor magnético está constituido por dos discos de acero (hierro) de 305 mm de diámetro, de 6 mm de grosor, y un agujero central de 65 mm de diámetro (Fig. 3.13). El diámetro de 305 mm permitió equidistar los imanes lo mejor posible: los imanes se separaron uno de otro, 45° exactos. El diámetro del agujero central está definido por los rodamientos a emplear.

El grosor de los discos permite cerrar el campo magnético, lo suficiente como para no percibir magnetismo del lado externo al acercar objetos ferromagnéticos.

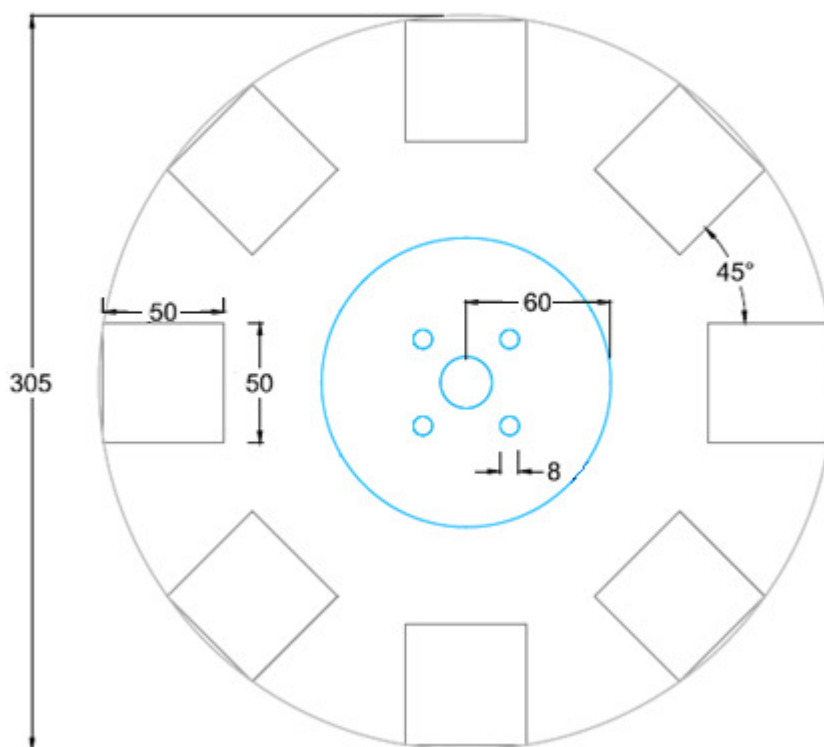


Fig. 3.13. Geometría del disco del rotor

### 3.3.2.2. Buje

Los dos discos del rotor están montados sobre un eje de cojinetes gracias a un buje. Este buje sujeta al generador a la estructura principal, y, mantiene el movimiento de rotación.

El buje encaja sobre el eje por medio de dos cojinetes cónicos, uno más grande en la parte inferior del eje, y, otro menor en la parte superior. Los cojinetes cónicos permiten el movimiento libre de giro del buje con los rotores, como un conjunto[53].

El buje incorpora, a más de cojinetes, el propio eje y una tuerca, una cupilla que sirve de pasador de cierre, y, un guardapolvo para no dejar entrar suciedad a los cojinetes.



### 3.3.2.3. Imanes

Para el diseño se utilizarán dieciséis imanes de Neodimio de 50x50x20mm, ocho en cada disco de hierro.

Los polos de los imanes deben ser opuestos, ya que así, la fem inducida en una espira será justo el doble de la que induciría un solo imán, puesto que cada lado de la espira está siendo atacado por dos imanes de polos opuestos [51] (ver Fig. 3.14).

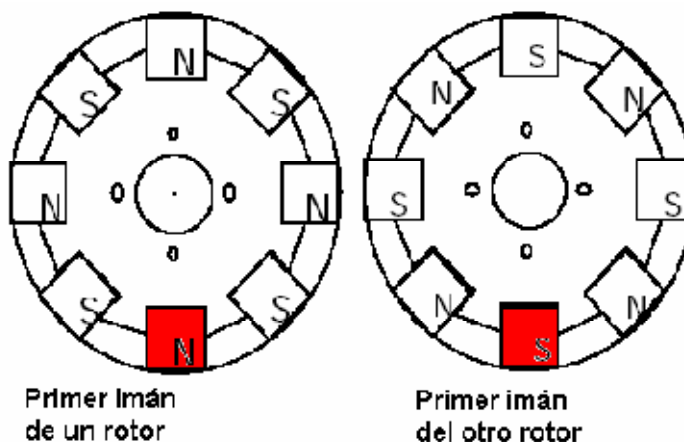


Fig. 3.14. Disposición de los imanes en los discos [53]

Es indispensable que los imanes no se muevan de su lugar al girar el generador, por lo que es conveniente inmovilizarlos rellenando el espacio que queda entre ellos con resina poliéster, y, si es posible, reforzar con alambre enrollándolos a los rotores magnéticos. Para evitar fugas magnéticas se utiliza acero inoxidable.

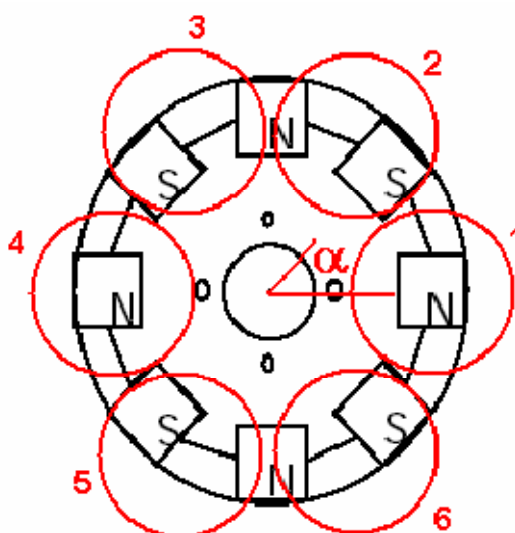
### 3.3.3. Estator

El estator representa un elemento circular sólido que contiene 6 bobinas equidistantes en su interior. En el caso de un generador monofásico, el número de bobinas coincide, en número, con el número de imanes, pero en este prototipo se optó por emplear



únicamente seis bobinas ya que estas estarán dispuestas en tres fases en arreglos de dos.

El estator tiene forma de anillo, por ende, el posicionamiento de las bobinas es el mismo. Las bobinas están distribuidas en función de los 8 imanes de cada rotor magnético, de tal forma que el centro de una bobina y el de otra, difieran  $60^\circ$  (ver Fig. 3.15). Las bobinas distan de su centro, al centro del estator 125 mm.

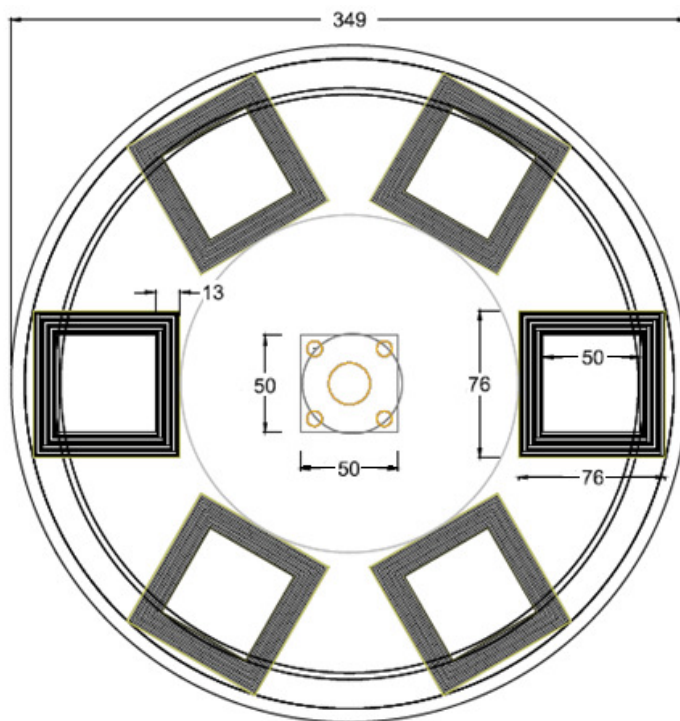


**Fig. 3.15.** Disposición de bobinas respecto a los imanes [53]

Cada bobina se arma de un enrollado de 100 vueltas de hilo de cobre esmaltado, de 1.5 mm de diámetro, con una geometría de 110x110 mm, con un agujero cuadrado interior de 50x50 mm, y, un espesor de 13 mm (Fig. 3.16).

El diámetro del hilo de cobre es tal que permita obtener la mayor corriente posible. Por cuanto es necesario que los dos rotores estén lo más cerca posible entre ellos, se busca alcanzar dimensiones mínimas para las bobinas: un número entero de 100 espiras, permite alcanzar un espesor mínimo de 13 mm.



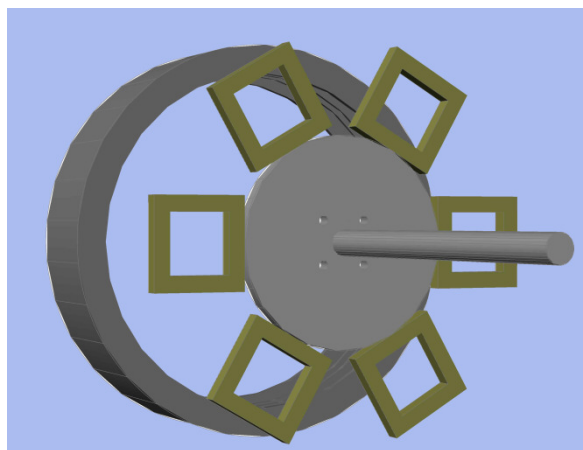


**Fig. 3.16.** Geometría del estator

Los extremos de las bobinas pueden ir soldados a cables de cobre del mismo diámetro que, sobresalen del encastramiento del estator para realizar la conexión eléctrica deseada de las bobinas.

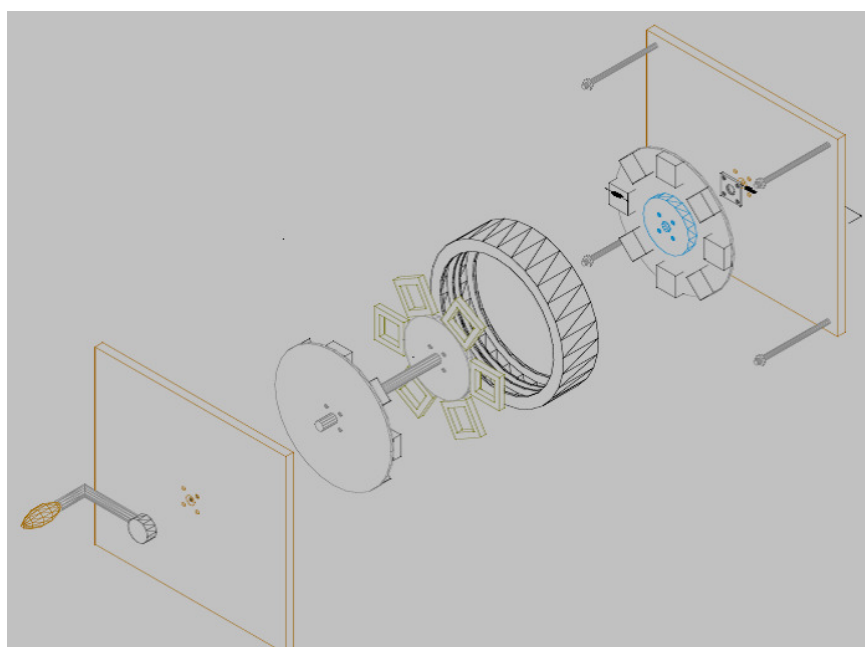
Las bobinas se sitúan en medio de los discos de hierro con los imanes, y están rígidamente colocadas con resina Polyester. Para asegurar “la rigidez” de la plancha de bobinas, se puede usar también tela de fibra de vidrio.

Para sujetar el estator en el generador, se ha proyectado una carcasa que incrusta el plato de bobinas, y, que permite que estas tengan contacto directo con ambos rotores (Fig. 3.17).



**Fig. 3.17.** Diseño de la carcasa de bobinas

Para ensamblar el estator entre los rotores magnéticos, primero se coloca el rotor posterior sobre el collarín del buje a través de los clavos del rotor; a continuación se coloca el estator sobre sus soportes en la montura y pasando sin tocar su agujero central los clavos del rotor, quedando el estator a 1mm del rotor trasero. Luego se encaja el rotor frontal sobre los clavos del rotor de manera que quede a 1mm de distancia del estator (Fig. 3. 18).



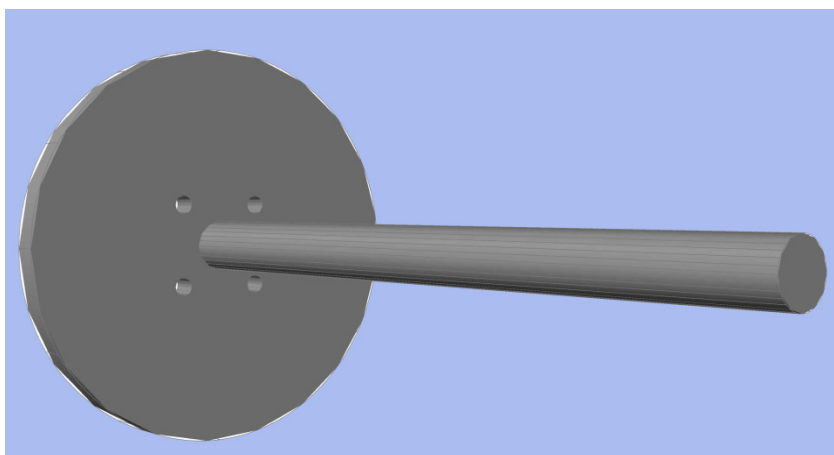
**Fig. 3.18.** Ensamblaje del estator en el generador



### 3.3.4. El eje

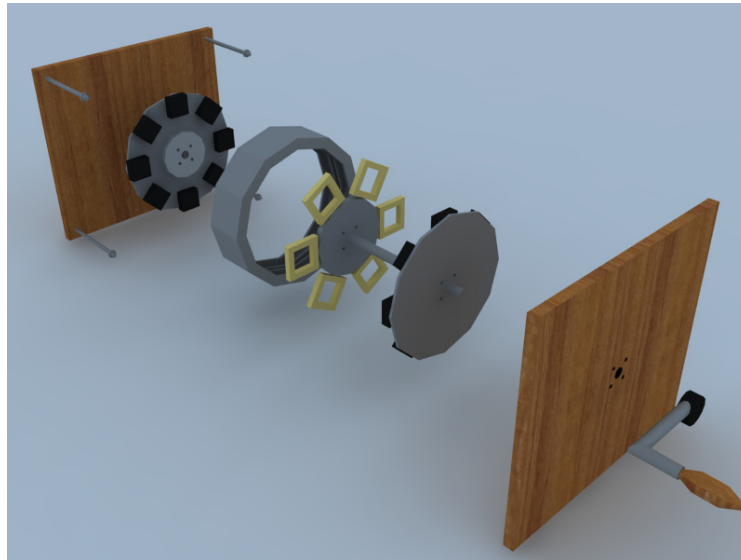
El eje del generador es una barra de acero calibrada, que tiene por objetivo transmitir el movimiento de giro generado por la manivela, a los discos de hierro con los imanes.

Sobre eje del generador va montado el buje (Fig. 3.19) y sobre éste los dos rotores. El eje se ajusta a la montura del buje, permitiendo que ésta sea el soporte del generador y a la vez permita el giro[53].

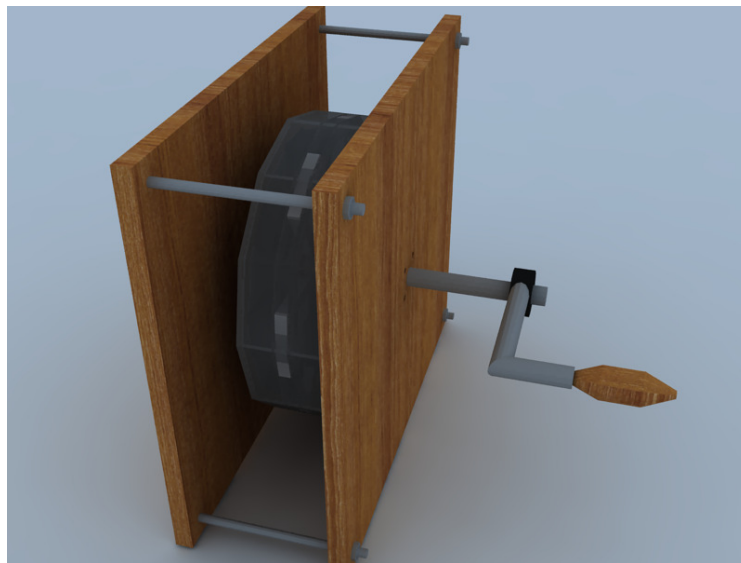


**Fig. 3.19.**Eje del generador

El ensamblaje final del prototipo se muestra en las Fig. 3.19 y 3.20



**Fig. 3.20.**Ensamblaje del generador



**Fig. 3.21.**Generador de flujo axial ensamblado



## CAPITULO IV

### DISEÑO ELÉCTRICO DE UN GENERADOR DE ROTACIÓN DE FLUJO AXIAL

La fuerza humana, canalizada a través de la manivela, hace girar solidariamente los discos del rotor, con lo que se consigue que el campo magnético varíe. La variación de campo magnético, induce corriente alterna en las bobinas del estator.

Es necesario aprovechar la inducción de corriente producida en el estator. Por ello, es necesaria una serie de elementos eléctricos para lograr que la corriente inducida en las bobinas, sea transportada, transformada, y, controlada de manera correcta.

Este apartado describe el cálculo de los componentes eléctricos del generador, y, su mecánica. El análisis de los temas, se basa en las siguientes consideraciones:

- La tensión generada será de forma alterna sinusoidal.
- La tensión de salida del generador depende de la velocidad de rotación de la manivela (rpm).
- Se analiza primero la tensión inducida en una bobina, y, luego se considera las tensiones temporales de las seis bobinas.
- El generador está ideado para ser conectado a una batería, por lo que se requiere de un sistema rectificador.
- La batería a emplear será de 12 V, por lo que se requiere obtener preferentemente un voltaje de 14.4 V, a la salida del generador.
- La potencia eléctrica y la corriente, se fijará en función de la vida útil de la batería.

#### 4.1. Cálculo de la tensión de salida del generador

Para **calcular la tensión eficaz** o fem inducida en una bobina, se hace uso de la ley de Faraday, cuyo enunciado establece que “un campo con variación en el tiempo,



produce un voltaje inducido llamado fuerza electromotriz en un circuito cerrado, que da lugar a un flujo de corriente” [56].

De acuerdo a esta ley, la tensión inducida se calcula con la expresión:

$$\varepsilon = \frac{-d\Phi}{dt} \quad (4.1.)$$

De dónde:

$\varepsilon$ , es la fuerza electromotriz inducida, V

$\Phi$ , es el flujo magnético, Wb (Weber)

El flujo se obtiene como:

$$\Phi = B(t)SN \quad (4.2.)$$

En dónde:

$B(t)$ , es la inducción o campo magnético en función del tiempo, T (Tesla)

$S$ , es la superficie de una espira de la bobina atravesada por el campo magnético,  $m^2$

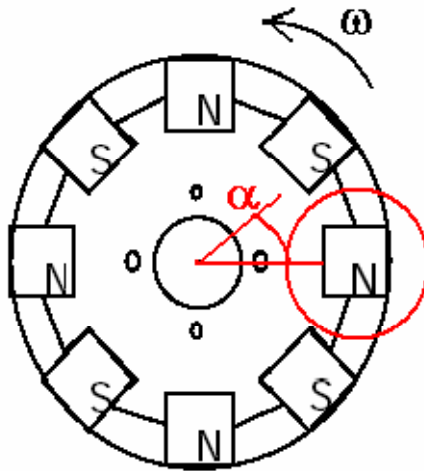
$N$ , es el número de espiras que constituyen una bobina

El flujo magnético es un flujo axial (perpendicular al radio de giro del generador), de tal manera que los dos rotores de imanes permanentes generan un campo magnético entre cada uno de sus pares de polos de manera alterna, como se deriva de la disposición de los imanes [53].

Siendo  $p$  el número de pares de polos que equivale al número de imanes de cada rotor (en este proyecto  $p$  es igual a 8), para una bobina cualquiera, el flujo que ve pasar a través de ella, en una vuelta entera del generador, tendrá  $p/2$  valores máximos de flujo (por ejemplo cuando pasa por delante de la bobina un par de polos con el Norte en el rotor frontal y el Sur en el rotor trasero) y  $p/2$  valores mínimos de flujo (cuando pasa por



delante de la bobina un par de polos con el sur en el rotor frontal y el norte en el rotor trasero).



**Fig. 4.1.** Posicionamiento de una bobina respecto los imanes del rotor [53]

Al evaluar los valores de  $B(t)$ , para ciertos ángulos de giro del rotor, en base a la Fig. 4.1, obtenemos:

$$\text{Si } \alpha = 0^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$\text{Si } \alpha = 45^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

$$\text{Si } \alpha = 90^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$\text{Si } \alpha = 135^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

$$\text{Si } \alpha = 180^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$\text{Si } \alpha = 225^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

$$\text{Si } \alpha = 270^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$\text{Si } \alpha = 315^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

Se establece que existen cuatro máximos y cuatro mínimos, por lo que se deduce que el número de máximos es la mitad que el número de pares de polos ( $p/2$ ). Por tanto, para una determinada bobina, la expresión del campo magnético en función del tiempo será:



$$B(t) = B \cos\left(\frac{p}{2} \alpha\right) \quad (4.3.)$$

$$\alpha = \omega t \quad (4.4.)$$

En dónde:

$B$ , es el campo magnético uniforme creado entre dos bloques magnéticos enfrentados, T

$\alpha$ , es el ángulo girado por el generador, rad

$\omega$ , : es la velocidad angular de giro del generador, rad/s

$T$ , es el tiempo transcurrido para girar un ángulo  $\alpha$ , s

De las ecuaciones (4.3) y (4.4), se obtiene que el flujo que atraviesa a una bobina está determinado por:

$$\Phi = BSN \cos\left(\frac{p}{2} \alpha\right) \quad (4.5.)$$

Reemplazando (4.4) a (4.5), se obtiene que:

$$\Phi = BSN \cos\left[\frac{p}{2} (\omega t)\right] \quad (4.6.)$$

Conocido el flujo que atraviesa una bobina, se puede calcular el valor de la fuerza electromotriz inducida en una bobina, utilizando la expresión:

$$\varepsilon = \frac{-d\Phi}{dt}$$

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt} \left[ BSN \cos\left(\frac{p}{2} \omega t\right) \right] \quad (4.7.)$$

$$\varepsilon = BSN \left(\frac{p}{2} \omega\right) \text{sen}\left(\frac{p}{2} \omega t\right) \quad (4.8.)$$





Como se trata de una tensión senoidal, la constante que multiplica al seno, es el valor máximo de la tensión, con lo cual el valor eficaz de la tensión inducida en una bobina será el máximo dividido por raíz de dos:

$$\varepsilon_{ef} = BSN \frac{p\omega}{2\sqrt{2}} \quad (4.9.)$$

En esta expresión,  $N$ ,  $p$ ,  $y$ ,  $\omega$ , son datos directos, mientras que el campo magnético uniforme que se crea en el espacio entre un par de polos enfrentados con polaridad opuesta,  $y$ , la superficie  $S$  de una espira de una bobina que es atravesada por el campo magnético uniforme  $B$ , son valores que requieren ser calcularlos.

La **superficie  $S$**  es menor a la superficie media de la bobina, debido a que el flujo de campo magnético abarca una superficie inferior a las dimensiones de las bobinas. Se puede suponer que las líneas de inducción magnética abarcan una superficie cuadrada casi idéntica a la superficie de los imanes de Neodimio, pero algo superior ya que la disposición de las líneas de campo magnético son abombadas en los extremos de los bloques magnéticos (Fig. 4.2) [55].

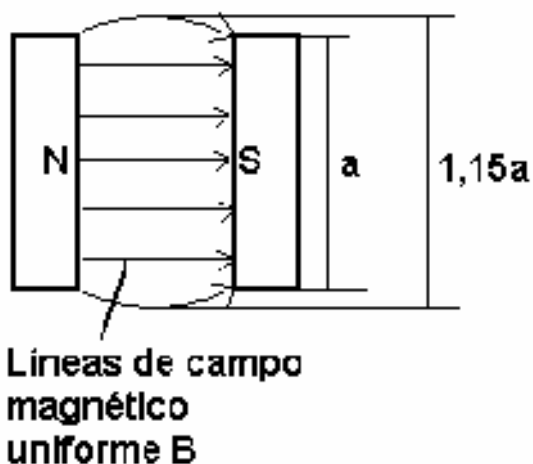


Fig. 4.2. Líneas de campo magnético y su ocupación entre los imanes [55]

Entonces, el cálculo aproximado de la superficie  $S$  está dado por la expresión:



$$S = (1.15a)^2 \quad (4.10.)$$

En dónde:

a, es la dimensión del bloque magnético, m

S, es la superficie, m<sup>2</sup>

Para el cálculo del **campo magnético uniforme**, se parte del conocimiento de varios parámetros característicos de los imanes:

- La distancia entre imanes, en el prototipo, es de 17 mm.
- La dimensión de un polo del imán es de 50x50mm.
- La inducción remanente Br para imanes de Neodimio es de 1,11 T.

Por otra parte, es indispensable determinar las propiedades magnéticas del material que se encuentra entre los imanes. En el prototipo, entre los imanes hay una zona de 1mm de aire a cada lado del estator, y, el propio estator con las bobinas incrustadas en resina recubierta con una capa de fibra de vidrio. Es por eso, que la mejor manera de determinar el campo magnético uniforme es a través de la experimentación con modelos reales, tal como se hizo en un estudio realizado por ITDG, con el apoyo de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) del Perú, sobre un aerogenerador de las mismas características que el de este proyecto [53], quedeterminó que el campo magnético uniforme B para imanes de Ferrita es de 0,2 T, y, para imanes de Neodimio de 0,585 T. La relación proporcional entre B y Br se mantiene constante (ver Tabla 4.1).

**Tabla 4.1.** Relación entre la inducción remanente y la inducción exterior[53].

| Tipo de imán                  | Inducción remanente Br(T) | Inducción creada en el estator B(T) | Relación Br/B |
|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------|
| Ferrita                       | 0.38                      | 0.2                                 | 1.900         |
| Neodimio (NdF <sub>e</sub> B) | 1.11                      | 0.585                               | 1.897         |



Por lo tanto, en este proyecto, el campo magnético uniforme se determina como:

$$B = \frac{B_r}{1.9} \quad (4.11.)$$

Para calcular la **tensión alterna de salida**, es necesario conocer el número de bobinas, y, su colocación en el estator.

En este proyecto se tienen 6 bobinas, dispuestas de forma equidistante (Ver Fig. 4.2). Las bobinas están en fase dos a dos, es decir, las bobinas 1 y 4 se ven afectadas por las mismas variaciones de campo magnético, al igual que las bobinas 2 y 5, y, las bobinas 3 y 6.

Por lo tanto, el campo magnético que ven pasar las bobinas 1 y 4 es el mismo, y, se define como:

$$B(t)_{1,4} = B \cos\left(\frac{p}{2} \omega t\right) \quad (4.12.)$$

Para determinar el campo que afecta a las bobinas 2 y 5, se evalúan los ángulos donde el campo magnético se sabe que será máximo en valor absoluto, para un rotor de 8 pares de polos:

$$si \ \alpha = 30^\circ \left(\frac{\pi}{6}\right) \rightarrow B(t) = B$$

$$si \ \alpha = 75^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

$$si \ \alpha = 120^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$si \ \alpha = 165^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

$$si \ \alpha = 210^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$si \ \alpha = 255^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

$$si \ \alpha = 300^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$si \ \alpha = 345^\circ \rightarrow B(t) = -B$$



Entonces, se deduce que el campo magnético que ven pasar las bobinas 2 y 5 está determinado por la expresión:

$$B(t)_{2,5} = B \cos \left[ 4 \left( \omega t - \frac{\pi}{6} \right) \right] \quad (4.13.)$$

$$B(t)_{2,5} = B \cos \left( 4\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \quad (4.14.)$$

Para el campo que afecta a las bobinas 3 y 6, se repite el procedimiento y por tanto se evalúan los ángulos donde se sabe que el campo magnético será máximo para un rotor de 8 pares de polos:

$$\text{si } \alpha = 15^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$\text{si } \alpha = 60^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

$$\text{si } \alpha = 105^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$\text{si } \alpha = 150^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

$$\text{si } \alpha = 195^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$\text{si } \alpha = 240^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

$$\text{si } \alpha = 285^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$\text{si } \alpha = 330^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

Por lo tanto, el campo magnético que ven pasar las bobinas 3 y 6 está definido por la expresión:

$$B(t)_{3,6} = B \cos \left[ 4 \left( \omega t + \frac{\pi}{6} \right) \right] \quad (4.15.)$$

$$B(t)_{3,6} = B \cos \left( 4\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \quad (4.16.)$$

De esta forma, las tensiones o fuerzas electromotrices inducidas en las 6 bobinas, están calculadas como:

Bobinas 1 y 4:

$$\Phi_{1,4} = B(t)_{1,4}SN \quad (4.17.)$$

$$\Phi_{1,4} = BSN\cos(4\omega t) \quad (4.18.)$$

$$\varepsilon_{1,4} = -\frac{d\Phi_{1,4}}{dt} \quad (4.19.)$$

$$\varepsilon_{1,4} = -\frac{d}{dt}[BSN\cos(4\omega t)] \quad (4.20.)$$

$$\varepsilon_{1,4} = BSN4\omega\sin(4\omega t) \quad (4.21.)$$

Bobinas 2 y 5:

$$\Phi_{2,5} = B(t)_{2,5}SN \quad (4.22.)$$

$$\Phi_{2,5} = BSN\cos\left(4\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (4.23.)$$

$$\varepsilon_{2,5} = -\frac{d\Phi_{2,5}}{dt} \quad (4.24.)$$

$$\varepsilon_{2,5} = -\frac{d}{dt}\left[BSN\cos\left(4\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)\right] \quad (4.25.)$$

$$\varepsilon_{2,5} = BSN4\omega\sin\left(4\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (4.26.)$$

Bobinas 3 y 6:

$$\Phi_{3,6} = B(t)_{3,6}SN \quad (4.27.)$$

$$\Phi_{3,6} = BSN\cos\left(4\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (4.28.)$$

$$\varepsilon_{3,6} = -\frac{d\Phi_{3,6}}{dt} \quad (4.29.)$$

$$\varepsilon_{3,6} = -\frac{d}{dt}\left[BSN\cos\left(4\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)\right] \quad (4.30.)$$

$$\varepsilon_{3,6} = BSN4\omega\sin\left(4\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (4.31.)$$



La tensión eficaz, en todas las bobinas, será determinada por la expresión:

$$U = \frac{BSN4\omega}{\sqrt{2}} \quad (4.32.)$$

Expresando  $\omega$  como:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (4.33.)$$

En dónde:

$\omega$ , es la velocidad angular del aerogenerador, rad/s

$n$ , es la velocidad de rotación del aerogenerador, rpm

Reemplazando (50) en (49), se obtiene:

$$U = \frac{BSN4}{\sqrt{2}} \cdot \frac{2\pi n}{60} \quad (4.34.)$$

Por lo tanto, la tensión en una bobina se expresa como:

$$U = \frac{BSN2\pi n}{15\sqrt{2}} \quad (4.35.)$$

Substituyendo en la expresión (52), los valores del diseño propuesto, se obtiene que:

$$U = \frac{(0.585T)[(3.31 \times 10^{-3}) \text{ m}^2](100)2\pi n}{15\sqrt{2}}$$

$$U = 0.05728 n \quad (4.36.)$$



## 4.2. Conexión de bobinas

El diseño cuenta con seis bobinas equidistantes, dispuestas en tres fases. Como las parejas de bobinas están desfasadas  $120^\circ$  entre sí, cualquier conexión, ya sea serie o paralelo, entre ellas, 1 con 4, 2 con 5, y, 3 con 6, dará lugar a un sistema de generación eléctrica trifásico.

Para bajas velocidades de rotación, se recomienda la conexión de bobinas en el esquema de estrella, y, para velocidades elevadas la conexión en triángulo.

En el diseño del prototipo [53], se ha sugerido la conexión de las bobinas en el esquema de doble estrella, por la facilidad para generar distintos niveles de tensión.

En el esquema propuesto, las bobinas en fase se conectan en paralelo entre ellas (1 y 4, 2 y 5, 3 y 6), y, en estrella las parejas (Fig. 3.21).

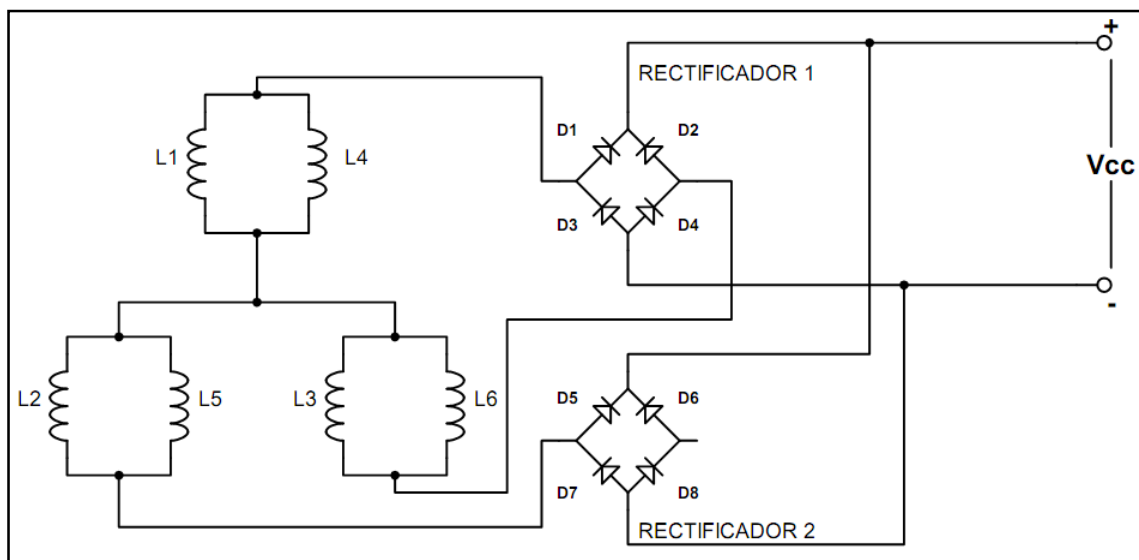


Fig. 4. 3. Conexión en doble estrella



Como las bobinas en fase están conectadas en paralelo, cada rama tiene una tensión  $U$ , y al ser conectadas las 3 ramas en estrella, la tensión de línea será  $U$  por raíz de 3.

$$U_{1,2Y} = \sqrt{\frac{3}{2}} BSN4w \quad (4.37.)$$

### 4.3. Rectificador

El generador produce corriente trifásica por lo que se requiere de un rectificador para acoplar la carga (baterías).

La corriente alterna trifásica de salida del generador se convierte en corriente continua utilizando dos rectificadores monofásicos de puente, que conectados equivaldrán a un rectificador trifásico no controlado (ver Fig. 3.29).

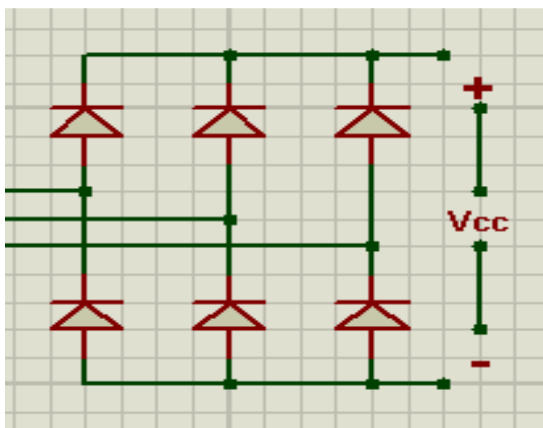


Fig. 4.4. Esquema equivalente de conexión de los 2 rectificadores monofásicos

Por tanto, la tensión continua de salida del rectificador trifásico ( $V_{cc}$ ), se determina por la expresión:

$$V_{cc} = 3\sqrt{2} \frac{U_{1,2Y}}{\pi} \quad (4.38.)$$





Reemplazando (54) en (55), se obtiene:

$$V_{cc} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \left( \sqrt{\frac{3}{2}} BSN4\omega \right) \quad (4.39.)$$

$$V_{cc} = \frac{12\sqrt{3}}{\pi} BSN4\omega \quad (4.40.)$$

Considerando que  $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ , entonces la tensión en bornes del rectificador será definida por:

$$V_{cc} = \frac{12\sqrt{3}}{\pi} BSN4 \left( \frac{2\pi n}{60} \right) \quad (4.41.)$$

$$V_{cc} = \frac{2\sqrt{3}}{5} BSNn \quad (4.42.)$$

Sustituyendo los valores del diseño propuesto, la tensión continua teórica ( $V_{cc}$ ) del rectificador, en función de la velocidad de giro  $n$  (rpm) del generador, está definida por la ecuación:

$$V_{cc} = 0.1340 n \quad (4.43.)$$

#### 4.4. Potencia y corriente

Estos parámetros están ligados a batería a cargar a la salida del rectificador.

En el prototipo se utiliza una batería de 12 V, y, el amperaje mínimo y máximo indispensable está definido por un criterio de duración de la batería:

- 0.7A → mínimo de corriente ← Vida útil larga
- 3A → máximo de corriente ← Vida útil disminuye



Considerando que:

$$P = V * I \quad (4.44.)$$

la potencia teórica para el prototipo se encuentra definida en un rango formado por:

$$P_{min} = 14.4V (0.7A)$$

$$P_{min} = 10.08 W$$

$$P_{max} = 14.4V (3A)$$

$$P_{max} = 43.2 W$$

A partir de lo cual, se puede determinar la velocidad de giro  $n$  (rpm) requerida como:

$$V_{cc} = 0.1340n$$

$$14.4 V = 0.1340n$$

$$\mathbf{n = 108 rpm}$$



## CAPÍTULO V

### ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Una vez que la energía mecánica se ha convertido en energía eléctrica, se puede almacenar a través de baterías secundarias (baterías recargables). Este apartado tiene como objetivo describir el proceso de diseño de este bloque.

#### 5.1. Introducción

El campo magnético del generador induce tensión en las bobinas, tensión que ha de permitir alimentar una batería. A velocidades de giro bajas la tensión es insuficiente para cargar la batería, pero cuando se alcanza cierto umbral en la velocidad, se establece una corriente eléctrica que permitirá la carga de la batería [48].

Por tal motivo, es necesario determinar una batería de acorde a la velocidad de giro (rpm) que se pueda obtener del prototipo.

El análisis de las distintas baterías se resumió en el Capítulo II, al comparar eficiencia, tamaño, cantidad de energía almacenable, y, compatibilidad con la generación de electricidad. Por las características y la facilidad en la implementación, para este proyecto se seleccionó una batería de tipo NiCd.

#### 5.2. Batería de NiCd

Es un tipo de batería recargable, el más antiguo que aún existe. Utiliza un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de un compuesto de cadmio. El electrolito es de hidróxido de potasio.



Esta configuración de materiales permite recargar la batería una vez está agotada, para su reutilización. Normalmente son de uso doméstico e industrial (Ver Fig. 5.1) [57] [58].



**Fig. 5.1.** Batería Tipo NiCd [58]

Entre las ventajas más sobresalientes, frente a otros tipos recargables, están [57] [58] [59] [60] [61]:

- Gran fiabilidad. Desaparece el riesgo de corrosión, y, se elimina el riesgo de muerte súbita.
- Vida superior de la batería, por el comportamiento electroquímico de los materiales activos. Vida útil aproximadamente 20 años.
- Los ciclos de carga oscilan entre los 1.000 y 1.500, lo que determina una larga vida útil de la batería.
- Rendimiento perfectamente predecible a lo largo de la vida de la batería, dada su robusta construcción interna en acero.



- Admiten un gran rango de temperaturas de funcionamiento.
- Mejor rendimiento frente a temperaturas extremas. Las condiciones de temperaturas adversas tienen un menor efecto sobre la batería por lo que a reducción de su vida útil se refiere.
- Variación pequeña en voltaje terminal durante descarga
- La corriente máxima permitida es alta.
- Bajo costo de vida-ciclo. El disponer de una vida extremadamente larga evita varios reemplazos de la batería.
- Gran resistencia frente a abusos eléctricos, no afectándole los cortocircuitos, la inversión de polaridad ni su descarga total.
- Las baterías tipo NiCd selladas y con válvula disminuyen notoriamente el problema de producir hidrógeno y ácidos corrosivos al momento de cargarla.
- Admiten sobrecargas, se pueden seguir cargando cuando ya no admiten más carga, aunque no la almacena.

Entre las principales desventajas de este tipo de baterías, se señalan [57], [58], [59], [60], [61]:

- El cadmio presenta características altamente tóxicas, por ende, son contaminantes. El impacto ambiental es alto.
- Adolecen del mal del "efecto memoria"
- Las baterías NiCd pierden aproximadamente un 1% de su carga cada día que pasa, debido a un fenómeno conocido como "auto-descarga".

### 5.3. Selección de la batería

Se ha escogido una batería tipo NiCd marca Howell (Ver tabla 5.1, y, Fig. 5.2) [62], de 12V, y, 7Ah, debido a tres razones:

- El tamaño de la batería es proporcional al tamaño del prototipo.



- El voltaje nominal de 12 V.
- Los 7Ah que puede soportar, están de acuerdo con la carga a utilizar.



**Fig. 5.2.** Batería Tipo NiCdHowell [62]

**Tabla 5.1.** Especificaciones de Batería Tipo McDowell [62]

| Parámetro de la Batería    | Especificación  |
|----------------------------|---|
| Marca                      | Howell (Empresa HowellEnergy)                                   |
| Tipo                       | NiCd  |
| Voltaje                    | 12 V  |
| Capacidad                  | 7Ah (7000mAh)   |
| Dimensión                  | 6.55 " L x 2.75 " W x 3.6 " H (16.6x7x9.1cm)Peso: 5.5Lb (2495g) |
| Temperatura de trabajo     | -20°C -- 70°C   |
| Corriente de carga máxima: | 3.5 A   |
| Corriente derivada máxima: | 7A  |
| Ciclo de vida:             | largo   |
| Número de Recarga:         | hasta 500 veces.  |



De acuerdo a la capacidad de la batería, 7Ah, se puede determinar el **número de horas requerido para cargar la batería**, desde el prototipo.

Normalmente, la corriente de carga se sitúa en la décima parte de la capacidad de la batería, con el objetivo de evitar que se produzca una sobrecarga. Por cuanto, la capacidad de la batería utilizada en el proyecto es de 7Ah, la intensidad de carga será de 0.7 A.

Por otra parte, se recomienda procurar que la intensidad de carga no sobrepase la mitad de la capacidad de la batería. Por estas razones, la corriente de carga estará dentro del rango de 0.7A y 3.5 A.

La expresión (62), permite calcular el tiempo de carga de la batería:

$$T = \frac{Q}{I} \quad (5.1.)$$

En dónde:

$I$ , es la corriente de carga, A

$Q$ , es la capacidad de carga de la batería, Ah

$T$ , es el tiempo de carga, s

El tiempo de carga de la batería oscila entre 10h (para una corriente de carga de 0.7A) y 2.33 h (para 3A).

La batería se conectará a la salida de los dos rectificadores de puentes monofásicos tal como lo muestra la Fig. 5.3.

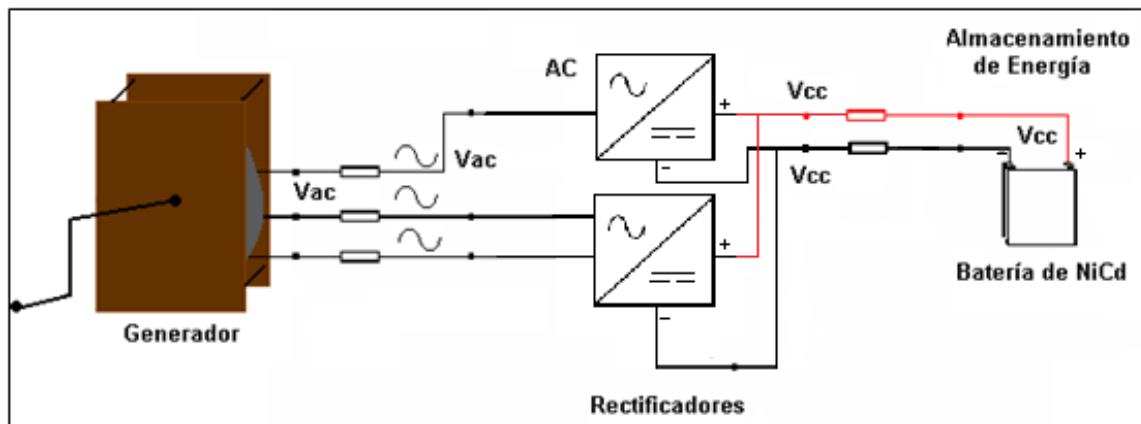


Fig. 5.3. Esquema del prototipo hasta el almacenamiento de energía





## CAPÍTULO VI

### CIRCUITO DE CONTROL

En este capítulo, se describe el bloque del circuito de control del generador. Este circuito controlador está formado por dos componentes: un controlador de carga para protección de la batería, y, un inversor CD/AC, que permitirá transformar la corriente de salida de la batería en el formato requerido por la carga.

#### 6.1. Controlador de carga

El controlador de carga[63] evita que en el proceso de carga de la batería se sobrepasen los límites técnicos, evitando daños y manteniendo la vida útil.

Para monitorear el estado (carga) de la batería, se propone utilizar un circuito basado en un comparador de ventana, montado sobre el amplificador operacional LM747 (Ver Fig. 6.1). El circuito usa tres diodos LED, para indicar cada uno de los tres estados posibles de la batería:

Plena carga → LED VERDE ← 12 V o más

Carga nominal → LED AMARILLO ← 12 – 6 V

Descargada → LED ROJO ← 6 V o menos

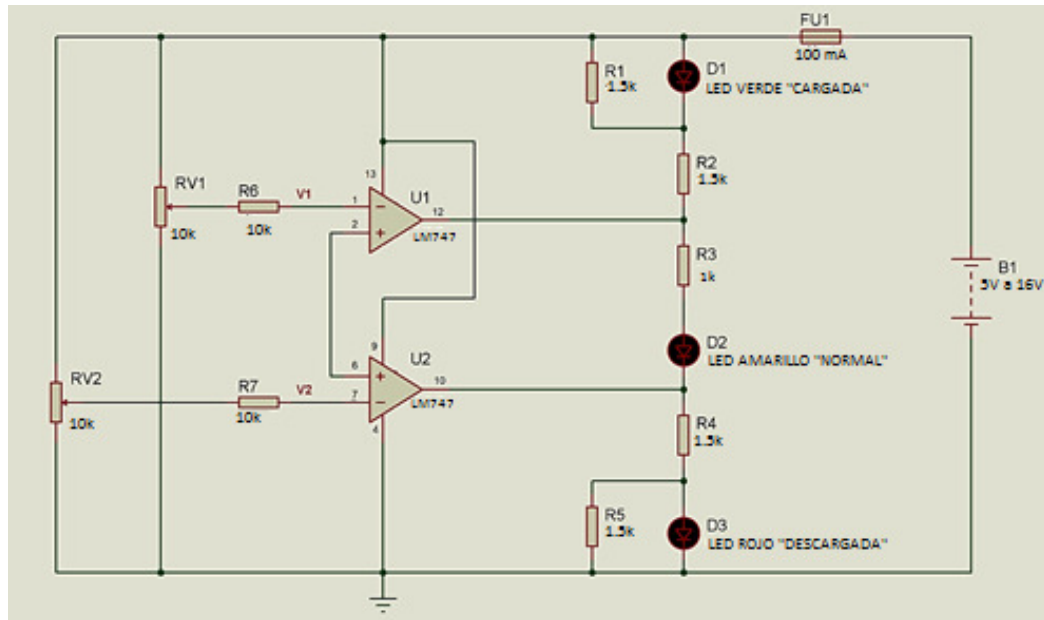


Fig. 6.1. Esquema del circuito controlador de carga

Una vez que la batería esté completamente cargada, el LED verde se encenderá (Fig. 5.2), y servirá de aviso para que cese el movimiento de la manivela en el prototipo. El LED rojo, se enciende a un voltaje menor o igual a 6V, y, el amarillo permanece encendido entre 12V y 6V.

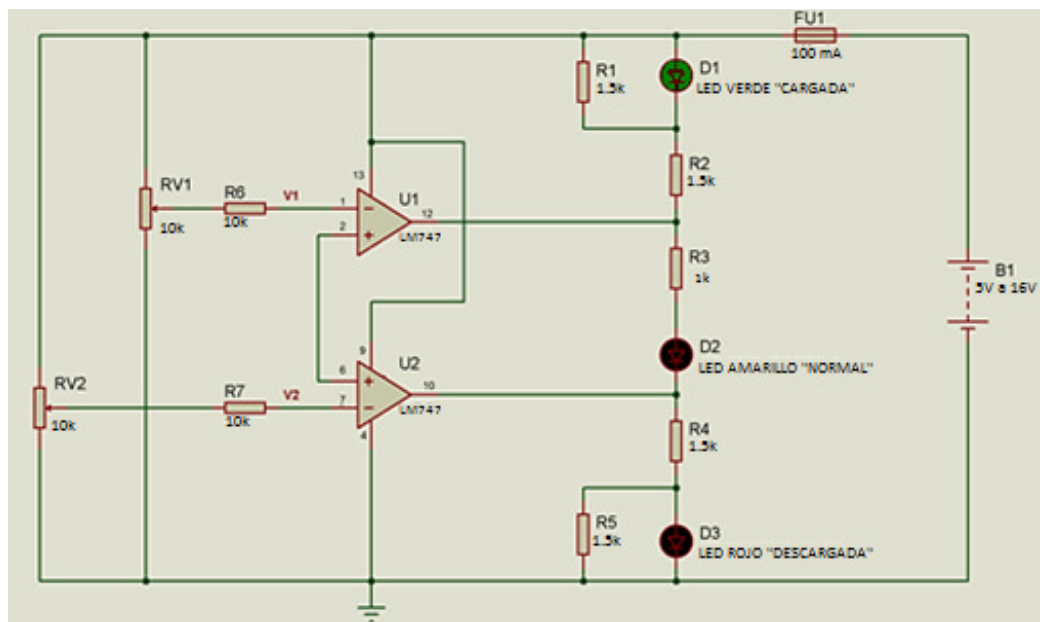


Fig. 6.2. Esquema del circuito para batería cargada



## 6.2. Inversor CD/ AC

La batería se conecta a un inversor, que convierte la CD en CA para la alimentación de tres tipos de lámparas: de filamento, LED, y, CFL, empleadas como carga en este proyecto.

La selección del inversor depende de la potencia requerida por las lámparas, y, del voltaje de entrada de la carga. Para el prototipo, el voltaje de entrada de la carga se estimó en 120 V.

Se seleccionó el inversor INVERTRONIC PLUS-IMETRILEC (ver Fig. 6.3)[64]. Este inversor permite convertir el voltaje DC de las baterías, en voltaje AC de 60Hz. La onda de salida es sinusoidal modificada PWM.

El inversor posee control realimentado de voltaje y corriente de salida, protección electrónica contra cortocircuitos, y, desconexión para evitar descarga excesiva de baterías [64]. La tabla 6.1 detalla las especificaciones más importantes del inversor:



Fig. 6.3. Inversor CD/AC INVERTRONIC PLUS-IMETRILEC [64].



Tabla 6. 1 . Especificaciones del Inversor CD/ AC[63]

| Parámetros del Inversor | Especificación                |
|-------------------------|-------------------------------|
| Vida útil               | 10 años                       |
| Voltaje de entrada      | 12 Vdc hasta 120 Vdc (+)      |
| Voltaje de salida       | 115Vac hasta 120 Vdc $\pm$ 3% |
| Potencia                | 150 W hasta 1500 W            |



## CAPÍTULO VII

### LÁMPARAS UTILIZADAS COMO CARGA EN EL PROTOTIPO

La energía mecánica transferida por la manivela, se convierte en energía eléctrica en el generador, y, posteriormente se almacena en la batería.

En este proyecto, se propuso utilizar la energía para alimentar tres tipos distintos de lámparas: de filamento, LED, y, CFL.

En este capítulo, se pretende describir las características, especificaciones, y, parámetros técnicos de cada lámpara a emplear en el prototipo.

#### 7.1. Tipos de lámparas

Los tipos de lámparas a emplear en este proyecto son: lámpara de filamento, lámpara LED y lámpara compacta fluorescente (CFL).

Las *lámparas de filamento*, también denominadas lámparas incandescentes, funcionan al pasar corriente eléctrica por un filamento, hasta que este alcanza una temperatura tan alta que emite radiaciones visibles por el ojo humano [65], [69]. (Ver Fig. 7.1)

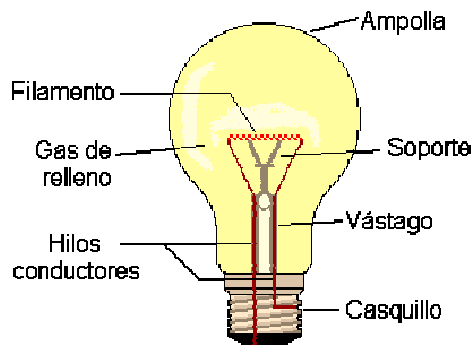


Fig. 7.1. Partes de una lámpara de filamento [69].



Las lámparas de incandescencia tienen su fundamento en la Ley de Joule, y transforman la energía eléctrica en luminosa y calorífica. El filamento es un conductor de muy alto punto de fusión, para evitar que se funda. El material que se utiliza para los filamentos de las lámparas, habitualmente, es el wolframio cuyo punto de fusión es del orden de los  $3400^{\circ}\text{C}$ . La temperatura media del filamento de una lámpara de incandescencia es del orden de los  $2000^{\circ}\text{C}$ , razón por la cual no se funden. El filamento está en el interior de una ampolla de vidrio en la que se ha hecho el vacío o se ha introducido un gas inerte.

La vida media de una lámpara de incandescencia es de 1000 h [66].

Las lámparas de filamento no ofrecen muy buena reproducción de los colores (rendimiento de color). Su eficiencia es muy baja, ya que sólo convierte en trabajo (luz visible) alrededor del 15% de la energía consumida. Otro 25% será transformado en energía calorífica y el 60% restante en ondas no perceptibles (luz ultravioleta e infrarroja) que acaban convirtiéndose en calor [67], [68].

Existen dos tipos de lámparas incandescentes: las que contienen un gas halógeno en su interior, y, las que no lo contienen.

Una *lámpara LED* es una lámpara de estado sólido que usa diodos emisores de luz como fuente luminosa. Las lámparas LED están compuestas por agrupaciones de LED, en mayor o menor número según la intensidad luminosa deseada (ver Fig. 7.2) [72].



**Fig. 7.2.** Lámpara LED [72]



Los LED están basados en semiconductores que transforman directamente la corriente eléctrica en luz. No poseen filamento, por lo que tienen una elevada vida de hasta 50.000 horas, y son muy resistentes a los golpes. No emiten rayos ultravioletas y su encendido es inmediato [71], [73].

Los diodos funcionan con energía eléctrica en formato CD, de modo que las lámparas de LED deben incluir circuitos internos para operar desde el voltaje CA estándar. Los LED se dañan a altas temperaturas, por lo que las lámparas de LED tienen elementos de gestión del calor, tales como disipadores y aletas de refrigeración [72].

Las lámparas LED son 80 % más eficientes que las lámparas incandescentes, pero los costos iniciales son más altos [68], [71], [72].

Las **lámparas compactas fluorescentes**, CFL por sus siglas en inglés, también conocidas como lámparas ahorradoras de energía o lámparas de luz fría, son un tipo de lámpara fluorescente que se caracteriza por un casquillo idéntico al de las lámparas incandescentes que permite una instalación rápida y fácil (ver Fig. 7.3) [73].



Fig. 7.3. Lámpara fluorescente compacta [73]

Las lámparas CFL poseen el mismo principio de funcionamiento que las lámparas fluorescentes tubulares, y, están formadas por uno o varios tubos fluorescentes



dobladados. En el interior de un tubo, se crea una atmósfera compuesta de argón y vapor de mercurio que, gracias a los electrodos, provocan una reacción en el revestimiento interno y lo convierten en luz [73].

En comparación con las lámparas incandescentes, las lámparas CFL tienen una vida nominal mayor (8000 h) y usan menos energía eléctrica para producir la misma iluminación [65], [73].

## 7.2. Análisis comparativo del consumo de energía en las lámparas

Uno de los objetivos del proyecto es demostrar experimentalmente el gasto energético de los diversos tipos de lámparas, de ahí que se ha decidido utilizar lámparas de tres tipos distintos como carga.

El análisis comparativo de los tres tipos de lámparas, se centra en el (bajo) consumo de energía, y, por consiguiente, en el desgaste de la carga de la batería. También, se puede analizar otros parámetros como la duración de vida, un costo razonable, etc.

La tabla 7.1 muestra de forma detallada las características más propicias, dentro del proyecto, para iniciar el análisis.

**Tabla 7.1.** Características técnicas de los tipos de lámparas [74].

| Tipo de lámpara        | Rango de potencias | Eficacia luminosa Lm/W | Vida media   |
|------------------------|--------------------|------------------------|--------------|
| Filamento              | 5 - 100            | 10 - 25                | 500 - 2000   |
| LED                    | 5 - 20             | 40 - 100               | 50000        |
| Fluorescencia compacta | 5 - 55             | 60 - 85                | 8000 - 12000 |

Del análisis de la tabla 7.1, se desprende que la lámpara LED proporciona niveles muy altos de iluminación con un consumo bajo de energía. Las lámparas CFL ofrecen mayor consumo de potencia que las lámparas LED con niveles de luminosidad también son altos. Las lámparas de filamento, consumen demasiada energía.





La tabla 7.2, enfoca el análisis desde el concepto del costo razonable. El costo inicial de las lámparas de filamento es relativamente bajo frente a los otros tipos de lámparas.

Las lámparas CFL son típicamente cinco veces más caras que las lámparas de filamento. El costo inicial de las lámparas LED es mucho más alto que el de las otras lámparas.

**Tabla 7.2.** Otros parámetros de las lámparas [68]

| <b>Lámparas</b>                                       | <b>Filamento</b> | <b>LED</b>    | <b>CFL</b>   |
|---|------------------|---------------|--------------|
| <b>Parámetros</b>                                     |                  |               |              |
| Potencia (Watts)                                      | 60               | 5             | 12           |
| Duración de vida (horas)                              | 1000             | 50000         | 8000         |
| Costo de adquisición (dólares)                        | 1.20             | 63.19         | 6.45         |
| Número de cambios de lámparas durante 50000 horas     | 50               | 1             | 6.25         |
| Costo de las lámparas durante 50000 horas (dólares)   | 60               | 63.19         | 40.32        |
| Consumo eléctrico durante 50000 horas (KWh)           | 3000             | 250           | 600          |
| <b>Costo del KWh (Traifa EERSSA)</b>                  | 0.0835           | 0.0835        | 0.0835       |
| <b>Total a cancelar por el consumo en 50000 horas</b> | 250.5            | 20.875        | 50.1         |
| <b>Costo Total para 50000 horas</b>                   | <b>310.5</b>     | <b>84.065</b> | <b>90.42</b> |

### 7.3. Selección de lámparas

Para este proyecto, como lámpara de filamento se escogió una lámpara incandescente, Marca Gaosheng, modelo A75 (ver Fig. 6.7) [75], cuyas características técnicas se resumen en la tabla 7.3.



**Fig. 7.4.** Lámpara de filamento A75 [75]

**Tabla 7.3.** Especificaciones de la lámpara de filamento A75 [75]

| Parámetros del lámpara | Especificación           |
|------------------------|--------------------------|
| Vida útil              | 1000 horas               |
| Voltaje de entrada     | 110 – 220Vac             |
| Potencia de la lámpara | 50 - 100 W               |
| Base                   | E26                      |
| Color de luz           | 2500 K dentro del blanco |
| Dimensiones            | 75 x 120 mm              |

Como lámpara LED, se seleccionó el modelo LED Light BulbSP50 (ver Fig. 7.5) [76], cuyas características técnicas se resumen en la tabla 7.4.



**Fig. 7.5.** Lámpara LED Light Bulb SP70 [76].

**Tabla 7.4.** Especificaciones de la lámpara LED Light Bulb SP70 [76]

| Parámetros del lámpara | Especificación               |
|------------------------|------------------------------|
| Nombre de modelo       | LED Light Bulb               |
| Número de modelo       | SP70                         |
| Vida útil              | >50000 horas                 |
| Voltaje de entrada     | 100 - 240Vac                 |
| Potencia de la lámpara | 5 W                          |
| Eficiencia Luminosa    | 57 Lm/ W                     |
| Color de LED           | Blanco puro y blanco cálido  |
| Color de temperatura   | 5000 – 7000 K y 3000 – 4000k |
| Dimensiones            | 70x 99 mm                    |
| Ángulo de haz          | 120°                         |
| Base                   | E27, E26                     |
| CRI / Flujo luminoso   | 75 y 70 / 270 y 210 Lm       |
| Certificación          | CE                           |

Como lámpara CFL se escogió una modelo S7384, tipo espiral (ver Fig. 7.6) [77], cuyas características técnicas se resumen en la tabla 7.5.



**Fig. 7.6.** Lámpara CFL S7384 [76]

**Tabla 7.5.** Especificaciones de la lámpara CFL S7384 [77]

| Parámetros del lámpara         | Especificación       |
|--------------------------------|----------------------|
| Vida útil                      | 10000 horas          |
| Voltaje de entrada             | 120Vac               |
| Potencia de la lámpara         | 65 W                 |
| Equivalencia de incandescencia | 300W – 4300 Lm       |
| Color de luz                   | 2700 K blanco cálido |
| Dimensiones                    | 3.54"x 9.45"         |
| Certificación                  | UL listed            |



## CAPÍTULO VIII

### CÁLCULO DEL PRESUPUESTO DE INVERSIÓN

En este capítulo se cuantifica el costo económico del presente proyecto. El presupuesto se ha calculado en tres componentes: costos en material, costos en equipos, y, costo de la mano de obra calificada necesaria para la implementación del prototipo.

#### 8.1 COSTOS EN MATERIAL

Este rubro se descompone en el costo de materiales para el generador, y, en el costo de materiales para construir moldes y plantillas, tal como lo muestra la tabla 8.1.

**Tabla 8.1.** Presupuesto de los materiales a emplear en el prototipo

| CANT. | DESCRIPCIÓN  | PRECIO UNIT. (\$) | PRECIO TOTAL (\$) |
|-------|--|-------------------|-------------------|
| 2     | Plancha de madera de 45 x 50 cm  | 6.00              | 12.00             |
| 2     | Rodamiento de base plana para un eje de 20 mm de diámetro                              | 2.00              | 4.00              |
| 1     | Barra de hierro calibrada de 20 mm de diámetro y 350 mm de longitud                    | 7.00              | 7.00              |
| 4     | Varilla roscadas de 12 mm de diámetro y 250 mm de longitud, 24 tuercas y 24 arandelas  | 3.00              | 12.00             |
| 2     | Disco de hierro de 305 mm de diámetro y 6 mm de grosor                                 | 6.00              | 12.00             |
| 1     | Cilindro de aluminio de 90 mm de diámetro y 64 mm de longitud                          | 15.70             | 15.70             |
| 2     | Plancha de madera contrachapada de 440 mm de altura, 370 mm de ancho y 30 mm de grosor | 8.00              | 16.00             |
| 16    | Imán de Neodimio de 50x50x20mm   | 16.56             | 265.00            |
| 4     | Libras de cable de cobre esmaltado de 1.5 mm de diámetro                               | 3.00              | 12.00             |
| 1     | Metro de tela de fibra de vidrio   | 1.50              | 1.50              |
| 5     | Libra de Resina  | 4.10              | 20.50             |
| 2     | Litro de líquido catalizador   | 6.00              | 12.00             |
| 3     | Moldes de madera para compactar bobinas e imanes                                       | 9.00              | 27.00             |
| 1     | Varios (grasa, guantes, alambre etc.)  | 3.00              | 3.00              |



|                   |                      |       |               |
|-------------------|----------------------|-------|---------------|
| 1                 | Lámpara de filamento | 1.05  | 1.05          |
| 1                 | Lámpara LED          | 19.00 | 19.00         |
| 1                 | Lámpara CFL          | 7.80  | 7.80          |
| 3                 | Boquillas            | 1.00  | 3.00          |
| <b>TOTAL (\$)</b> |                      |       | <b>450.55</b> |

## 8.2 COSTOS EN EQUIPOS

La Tabla 8.2, resume los rubros que conforman con la inversión requerida en equipos.

**Tabla 8.2.** Presupuesto de los equipos adicionales

| CANT.             | DESCRIPCIÓN                                 | PRECIO UNITARIO (\$) | PRECIO TOTAL (\$) |
|-------------------|---|----------------------|-------------------|
| 2                 | Rectificador 50A-1000V                      | 5.00                 | 10,00             |
| 1                 | Batería 12 VDC - 7AH                        | 18.60                | 18,60             |
| 1                 | Circuito controlador de carga               | 4.35                 | 4.35              |
| 1                 | Inversor de DC A AC 12 VDC-120VAC           | 127.68               | 127,68            |
| 1                 | Varios (conectores, cables, aislante, etc.) | 5,00                 | 5,00              |
| <b>TOTAL (\$)</b> |   |                      | <b>165.63</b>     |

## 8.3 COSTO DE MANO DE OBRA CALIFICADA

Para finalizar el cálculo del coste económico de la construcción del prototipo, hay que tener en cuenta también el coste del trabajo en el taller, que incluye el consumo de energía, y, sobre todo, el coste del trabajo realizado por los operarios en el taller. La tabla 8.3 describe este coste.

**Tabla 8.3.** Presupuesto de la mano de obra calificada

| DESCRIPCIÓN             | PRECIO TOTAL (\$) |
|-------------------------|-------------------|
| Mano de obra calificada | 400               |

## 8.4 PRESUPUESTO TOTAL

La tabla 8.4 resume el presupuesto total de inversión en la construcción del prototipo:

**Tabla 8.4.** Presupuesto Final de la construcción del prototipo

| DESCRIPCIÓN             | PRECIO (\$)    |
|-------------------------|----------------|
| Materiales              | 450.55         |
| Equipos                 | 165.63         |
| Mano de obra calificada | 400.00         |
| <b>SUBTOTAL</b>         | 1016.18        |
| <b>IVA 12%</b>          | 121.94         |
| <b>TOTAL</b>            | <b>1138.12</b> |

Se puede afirmar que el coste económico de construcción del generador es bajo y viable.



## CONCLUSIONES

- Las actividades desarrolladas por el ser humano requieren de energía. Por eso, todas las acciones cotidianas pueden proporcionar energía si se determina el método óptimo para aquello.
- La generación activa de energía humana es una opción válida para cubrir las necesidades de energía, en una escala humana.
- El aprovechamiento de energía humana garantiza un servicio de energía limpio, eficiente, accesible, y, fiable.
- En el marco de este proyecto se ha demostrado que la conversión electromagnética es la mejor opción para convertir energía cinética en energía eléctrica.
- Para este proyecto se ha determinado que la generación de electricidad es óptima al utilizar un generador de rotación de flujo axial, ya que permite solucionar problemas típicos de los generadores como la geometría, y, las pérdidas en el estator
- Para el almacenamiento de energía, la opción más adecuada es vía electroquímica, específicamente el uso de baterías.
- Se ha concluido que el diseño mecánico del prototipo está directamente relacionado con que el generador soportar una fracción significativa de velocidad.
- En este proyecto, se ha diseñado el sistema electromagnético del generador de forma tal que la generación de energía a la salida del generador, en forma de voltaje, sea lo más eficiente posible.
- El diseño propuesto para el generador, no permite definir en forma analítica el régimen definitivo de funcionamiento, ya que este es un parámetro determinado por la velocidad de rotación de la manivela.





- En el marco de este proyecto, se ha diseñado el sistema de almacenamiento de energía de tal forma que la potencia eléctrica y la corriente del generador garanticen una aceptable vida útil de la batería.
- El costo económico de construcción del generador es bajo y viable, por lo que este proyecto puede ser implementado a poblaciones rurales pobres de países en vías de desarrollo, que se caracterizan por la falta de energía eléctrica.



## REFERENCIAS

- [1] Adam M. Gilmore. Human power: Energy Recovery from Recreational Activity, University of Guelph, Ontario N1G 2W1, Canadá. Disponible en línea: [http://www.soe.uoguelph.ca/webfiles/gej/articles/GEJ\\_001-008-016\\_Gilmore\\_Human\\_Power.pdf](http://www.soe.uoguelph.ca/webfiles/gej/articles/GEJ_001-008-016_Gilmore_Human_Power.pdf)
- [2] A. J. Jansen and A. Stevels, "Human power, an environmental myth?", proceedings of TMCE 04, 13-17 April 2004.
- [3] A.J. Jansen - I.A. Ruiters, Engineering a human powered mp3 player, Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering.
- [4] PamdianShunmugham R., A Human Power Conversion System Based on Children's Play, Department of Electrical Engineering and Computer Science Tulane University New Orleans, LA 70118.
- [5] A. J. Jansen and A. Stevels, Human Power, A Sustainable Option For Electronics, Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering. Disponible en línea: <http://www.tudelft.nl/live/binaries/473d5201-c46a-4b4b-b251-e695df045c75/doc/ieee99dfs.pdf>
- [6] Nicholas Negroponte, presidente de OLPC. One Laptop per child. Disponible en línea: <http://one.laptop.org/>
- [7] F. Figueroa Fagandini. OLPC XO a pedales en Afganistán Disponible en línea: <http://www.chw.net/2009/10/olpc-xo-a-pedales-en-afganistan/>
- [8] Belladonna Blog. Soccket: balón de fútbol ecológico. Disponible en línea: <http://belladonalab.wordpress.com/2010/06/17/soccket-balon-de-futbol-ecologico/>
- [9] Dámari Rijo. sOccket. Disponible en línea: <http://www.earlydaily.com/2010/06/16/soccket>.
- [10] March Elizabeth, OMPI, Oficina del Director General. Cuando la innovación es un juego de niños. Disponible en línea: [http://www.wipo.int/wipo\\_magazine/es/2009/02/article\\_0013.html](http://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2009/02/article_0013.html)
- [11] No se menciona autor. AE. Alternativeenergy. Pedal PoweredElectricityGeneratorfromWindstreamDisponible en línea:<http://www.alternative-energy-news.info/pedal-%20powered-electricity-generator-windstream/>



- [12] Del blanco Ezaquiel. Proyecto Sandía. 12 Formas Bizarras de generar Energía Eléctrica. Disponible en línea: <http://www.proyectosandia.com.ar/2009/04/12-formas-bizarras-de-generar-energia.html>
- [13] No se menciona autor. AE. Alternativeenergy. HumanPoweredWorkoutGymConcept Formas Bizarras de generar Energía Eléctrica Disponible en línea: <http://www.alternative-energy-news.info/human-powered-workout-gym-concept/>
- [14] Julio César. 12 de mayo de 2010. Gadgets para jugar y generar energía renovable. Disponible en línea: <http://www.legox.com/estilo-de-vida/9-gadgets-para-jugar-y-generar-energia-renovable/>
- [15] Mike Jefferson. TheMagicChargerbyZhengWeixi. Disponible en línea: <http://www.gadgetlite.com/2010/04/19/magic-charger-worlds>
- [16] No se menciona autor. TheMagicChargerbyZhengWeixi .Disponible en línea: <http://en.my7475.com/3533.html>
- [17] Songor Ángel. Sistemas de generación de energía eléctrica a partir de energía humana: generalidades. Disponible en línea: <http://es.scribd.com/doc/45546750/Panoramica-de-los-sistemas-de-aprovechamiento-de-energia-humana-para-generar-energia-electrica>
- [18] DirkGroot – Director de producto Sistemas de puertas. Boon Edam. Disponible en línea: <http://www.boonedam.es/press/pressdetail.asp?PressId=177>
- [19] Ison 21, Blog de ingeniería, Produciendo electricidad con la voz. Disponible en línea: <http://www.ison21.es/2008/12/04/produciendo-electricidad-con-la-voz/>
- [20] Fundación Tierra, Terra.org. Aplicaciones domésticas con energía humana. Disponible en línea: [http://www.terra.org/aplicaciones-domesticas-con-energia-humana\\_2381.html](http://www.terra.org/aplicaciones-domesticas-con-energia-humana_2381.html)
- [21] Yankodesign. Cruces inteligentes. Peatones y coches que generan electricidad. Disponible en línea: <http://www.ecofactory.es/2011/03/cruces-inteligentes-peatones-y-coches.html>
- [22] No se menciona autor. Eco Gadgets: Quenchyourthirstfor golf and juice up youriPhoneDisponible en línea: <http://www.ecofriend.com/entry/eco-gadgets-quench-your-thirst-for-golf-and-juice-up-your-iphone/>
- [23] No se menciona autor. Ecofriend. Disponible en línea: <http://www.ecofriend.com/entry/eco-gadgets-quench-your-thirst-for-golf-and-juice-up-your-iphone/>



- [24] ThuvanderPeter. Innovative ways to generate electricity while having fun. Disponible en línea: <http://www.greenidiary.com/entry/innovative-ways-to-generate-electricity-while-having-fun/>
- [25] ADMIN. 11 de mayo de 2009. Roll Charger- Cargador ecológico Disponible en línea: <http://ecoinventos.wordpress.com/2009/05/11/roll-charger-cargador-ecologico/>
- [26] No se menciona autor. YOGEN ChargerforLife. Disponible en línea: <http://www.yogenstore.com/>
- [27] Fundación Tierra. Terra.org. NIGHTSTAR. Disponible en línea: <http://www.terra.org/html/s/producto/1/magatzem/spra0005.html>
- [28] No se menciona autor. Cargador Manual a Manivela Disponible en línea: <http://www.gizig.com/cargador-manual-con-manivela-2.html>
- [29] AladdinPower Portable Hand Generator Disponible en línea: <http://www.dirtroadmagazine.com/aladdinpower.htm>
- [30] Trevor Baylis. Radio sin Pilas. Disponible en línea: <http://aholab.ehu.es/users/imanol/TecAprop/freeplay.pdf>
- [31] No se menciona autor. Rodillera que genera energía. Disponible en línea: <http://emprendenatura.blogspot.com/2009/05/rodillera-que-genera-energia.html>
- [32] Zhoe. Rodillera que genera energía. Disponible en línea: <http://www.nocturnar.com/forum/actualidad/179738-rodillera-convierte-energia-del-caminante-electricidad.html>
- [33] A.J. Jansen - I.A. Ruiters, Engineering a human powered mp3 player , Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering
- [34] A. J. Jansen and A. Stevels, "Human power, an environmental myth", proceedings of TMCE 04, 13-17 April 2004
- [35] Robbins Anthony, Moroles Erik, Rupp Theadora, Design of a Human-Powered Generator. Disponible en línea: [http://www.ieee-seattle.org/ref/2009\\_student\\_paper/Paper%203%20-%20Robbings,%20Moroles,%20Rupp.pdf](http://www.ieee-seattle.org/ref/2009_student_paper/Paper%203%20-%20Robbings,%20Moroles,%20Rupp.pdf)
- [36] No se menciona autor . Máquinas síncronas y de CD. Universidad Tecnológica de Puebla, Electricidad y Electrónica Industrial, Programa 2004 Disponible en línea: <http://electricidad.utpuebla.edu.mx/Manuales%20de%20asignatura/5to%20cuatrimestre/Maquinas%20sincronas%20y%20de%20cd.pdf>
- [37] Fernandez Jean Carlos. Conceptos Fundamentales de Electricidad Disponible en línea: <http://es.scribd.com/doc/31641514/CONCEPTOS-FUNDAMENTALES-DE-ELECTRICIDAD-1>



- [38] Avidela. Manual demotoreseléctricos Disponible en línea:<http://es.scribd.com/doc/2448049/Manual-de-motores-electricos>
- [39] No se menciona autor. Energías renovables. Disponible en línea:<http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2009/05/06/el-efecto-piezoelectrico/>
- [40] Martínez Alberto. Sistemas de almacenamiento de Energía Disponible en línea: <http://desenchufados.net/sistemas-de-almacenamiento-de-energia/>
- [41] No se menciona autor. Energiestro. La Energía Más Económica Para Los Lugares Aislados Disponible en línea: [http://www.energiestro.com/es/es\\_technologie.htm](http://www.energiestro.com/es/es_technologie.htm)
- [42] Ruiz Fabricio C., Almacenamiento Electroquímico de Energía en Aleaciones formadas de Hidruro. San Carlos de Bariloche, Argentina 2009. Disponible en línea: <http://cabbib2.cnea.gov.ar/fulltext/ft20939.pdf>
- [43] No se menciona autor, Desmontando algunos mitos sobre las Baterías de Li-on. Disponible en línea: <http://luipermom.wordpress.com/2007/10/24/desmontando-algunos-mitos-y-leyendas-sobre-las-bateras-de-li-ion/>
- [44] No se menciona autor. Electrónica Fácil. Baterías de Ni-CD Disponible en línea: <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Baterias-Ni-Cd.php>
- [45] Alonso José Antonio. Baterías de Ni-CD y NiMH Disponible en línea: <http://www.icmm.csic.es/jaalonso/velec/baterias/bateria.htm>
- [46] Bedate Boluda Fernando. Baterías, dínamos, motores y Condensadores. Disponible en línea: [http://www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/ele.yelectro/t3\\_baterias,dinamos,motores\\_y\\_condensadores.pdf](http://www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/ele.yelectro/t3_baterias,dinamos,motores_y_condensadores.pdf)
- [47] Vázquez Ramos Abel, Salas Castro Pablo, Jaime Rodríguez José, Campos Cantón Isaac, Convertidores CD-CA, Facultad de Ciencias, Electrónica de Potencia, UASLP, San Luis Potosí CP-78000. Disponible en línea: [http://www.uaz.edu.mx/cippublicaciones/eninvie2K5/P\\_1%5CP\\_3Vazquez.pdf](http://www.uaz.edu.mx/cippublicaciones/eninvie2K5/P_1%5CP_3Vazquez.pdf)
- [48] Labollita Santiago, Diseño de generadores eléctricos de muy alta velocidad de giro, Instituto Balseiro Comisión Nacional de Energía Atómica, Universidad Nacional de Cuyo Argentina, junio 2008.
- [49] No se menciona autor. Aerogenerador Casero Modelo "Navas" Disponible en línea: <http://www.uv.es/navasqui/aero/Aerogenerador.pdf>
- [50] Tapia Juan A. Proyectos, Disponible en línea: <http://www2.udec.cl/~juantapia/proyectos.htm>



- [51] No se menciona autor. Fuerza electromotriz inducida en una bobina de un generador de flujo axial. Disponible en línea: <http://www.uv.es/~navasqui/aero/Femaxial.pdf>
- [52] No se menciona autor. Funcionamiento de un generador de imanes permanentes aplicando la expresión de Lorentz. Disponible en línea: <http://www.uv.es/~navasqui/aero/Fungenper.pdf>
- [53] No se menciona autor. Especificación Técnica para la réplica en la UPC de un Aerogenerador de Baja Potencia.
- [54] No se menciona autor. Fuerza electromotriz inducida en una bobina de un generador de flujo axial. Disponible en línea: <http://www.uv.es/~navasqui/aero/Femaxial.pdf>
- [55] Hugh Piggott - Scoraig Wind Electric - February 2001. PMG construcción manual. Disponible en línea: <http://www.scoraigwind.com/pmgbooklet/itpmg.pdf>
- [56] Sánchez Luna Omar, Pérez Morgan Adrián. Generadores de corriente alterna. Disponible en línea: <http://www.ramonmar.mex.tl/imagesnew2/0/0/0/0/2/1/4/2/8/6/GENERADORES%20E%20CORRIENTE.pdf>
- [57] Renovat, Expertos en baterías. Principales tipos de Baterías. Disponible en línea: [http://www.expertosenbaterias.com/Articles/Articulos\\_de\\_baterias-158/Principales\\_tipos\\_de\\_baterias\\_en\\_el\\_mercado-33.htm](http://www.expertosenbaterias.com/Articles/Articulos_de_baterias-158/Principales_tipos_de_baterias_en_el_mercado-33.htm)
- [58] Pérez Christian. Baterías, tipos, mitos y verdades. Disponible en línea: <http://www.xatakamovil.com/varios/baterias-tipos-mitos-y-verdades-i>
- [59] No se menciona autor. Batería de Níquel-Cadmio. Disponible en línea: <http://www.enecalca.com.ar/EAProductNiCd.htm#art1>
- [60] GreenGT, Global technology. Preguntas frecuentes sobre Pilas y Baterías. Disponible en línea: [http://www.greengt.org/Documentos/faq\\_pilas\\_baterias.pdf](http://www.greengt.org/Documentos/faq_pilas_baterias.pdf)
- [61] Gutiérrez José M, traducción. La guía definitiva de las baterías recargables de Níquel Cadmio Disponible en línea: [http://www.pegatiros.com/airsoft/articulos/baterias\\_nicad.htm](http://www.pegatiros.com/airsoft/articulos/baterias_nicad.htm)
- [62] Howell Energy. Shenzhen. Guangdong, China (Mainland). Paquete de la batería de NiCd de Hola-Temp de 12V 7Ah. Disponible en línea: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/12v-7ah-hi-temp-nicd-battery-pack-433469010.html>
- [63] Encalada Jefferson. Atlantic International University. Indicador del estado de la batería. Disponible en línea: <http://es.scribd.com/doc/48283531/Indicador-Del-Estado-De-La-Bateria>

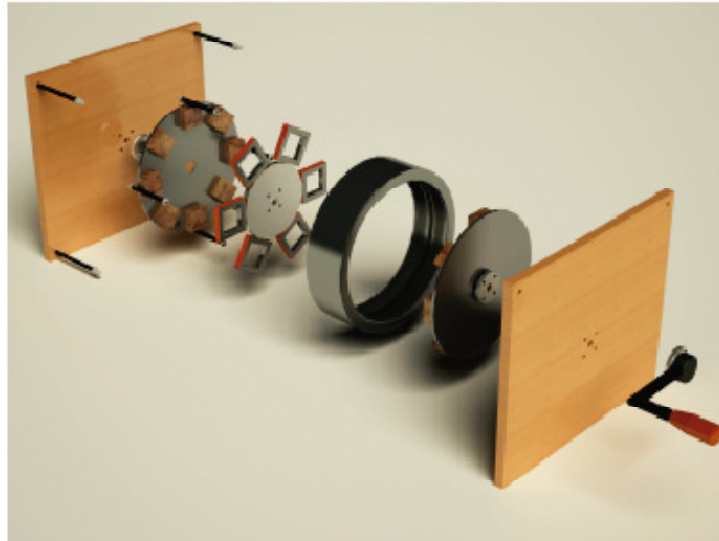


- [64] No se menciona autor. Inversores DC/AC Quito. Disponible en línea: <http://www.mundoanuncio.ec/inversores-dc-ac-quito-ecuador-iiid-242135849>
- [65] No se menciona autor. Iluminación. Disponible en línea: <http://dspace.epn.edu.ec/bitstream/15000/8829/6/T10722CAP1.pdf>
- [66] Bustos Alvarado Marco Antonio. Lámparas Incandescentes. Disponible en línea: <http://es.scribd.com/doc/56640737/LAMPARAS>
- [67] Olivares Cárdenas Alfredo. Lámparas de LED de Bajo Consumo de energía con vida larga. Disponible en línea: [http://www.pantallasled.com.mx/articulos/070919\\_lamparas\\_de\\_led\\_de\\_bajo\\_consumo\\_ahorradoras.html](http://www.pantallasled.com.mx/articulos/070919_lamparas_de_led_de_bajo_consumo_ahorradoras.html)
- [68] Borrego Arnoldo. La iluminación del futuro está en los LEDs. Disponible en línea: [http://www.docstoc.com/docs/68291430/ponencia\\_leds](http://www.docstoc.com/docs/68291430/ponencia_leds)
- [69] García Fernandez Javier. Lámparas Incandescentes. Disponible en línea: <http://edison.upc.edu/curs/llum/lamparas/lincan.html>
- [70] No se menciona autor. Lámparas de filamento incandescentes. Disponible en línea: <http://es.scribd.com/doc/53164210/6/LAMPARAS-DE-FILAMENTO-INCANDESCENTE>
- [71] Fundación de Energía de la Comunidad de Madrid, Guía técnica de iluminación eficiente. Madrid-España Disponible en línea: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-tecnica-de-iluminacion-eficiente-sector-residencial-y-terciario-fenercom.pdf>
- [72] No se menciona autor. elBlog15. Lámpara LED. Disponible en línea: <http://elblog15-3esob.blogspot.com/2011/05/lampara-led.html>
- [73] EroskiConsumer. Lámparas de bajo consumo. Disponible en línea: [http://www.tecnovirtual.com/joomla/images/stories/flash/lamparas\\_bajo\\_consumo.swf](http://www.tecnovirtual.com/joomla/images/stories/flash/lamparas_bajo_consumo.swf)
- [74] Mittelham Stephanie. Atecos Iluminación. Disponible en línea: [http://www.atecos.es/Articulos\\_Tecnicos/Fichas/Iluminacion.pdf](http://www.atecos.es/Articulos_Tecnicos/Fichas/Iluminacion.pdf)
- [75] No se menciona autor. Lámpara incandescente especial. Disponible en línea: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/special-incandescent-lamp-429986498.html>
- [76] BBE ShenZhen Bang- Bell Electronics Co. Disponible en línea: <http://www.proviento.com.ec/SP70ec.pdf>
- [77] Green electricalsupply. 65Watt Medium Base 2700 K 120 V. Disponible en línea: <http://www.greenelectricalsupply.com/65-watt-medium-base-120-volt-2700k-spring-compact-fluorescent-bulbs.aspx>



# ANEXOS





ENSAMBLADO DEL GENERADOR



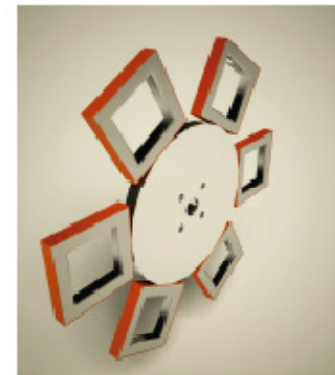
BASE DEL GENERADOR



TAMBOR DEL ESTATOR

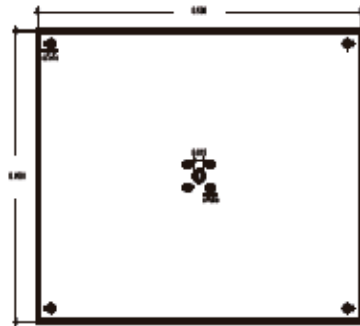


ROTOR

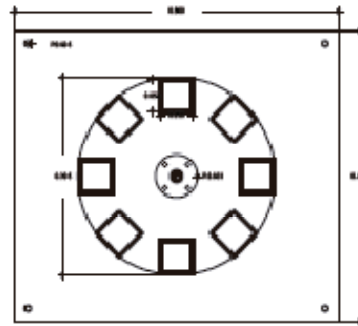


ESTATOR

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| TÍTULO:<br><b>DISEÑO DE DISPOSITIVOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HÍDRICA</b>  |   | CARRERA:<br><b>VETERINARIA, OPERADOR DE PLACASIA, DE PLEASIA, DE PLEASIA, DE PLEASIA</b> |   |
| <br>INSTITUCIÓN EDUCATIVA<br>INSTITUTO DE CIENCIAS<br>Y TECNOLOGÍA | DIRECTOR:<br><b>ING. JORGE LUIS<br/>                 GONZÁLEZ PACHECO</b> | AUTOR:<br><b>ESTUDIANTE DE<br/>                 INGENIERÍA</b>                           | GRUPO:<br><b>ELECTRICAL Y<br/>                 TELECOMUNICACIONES</b> |
|   | ESCUELA:<br><b>INFORMÁTICA</b>  | FECHA:<br><b>15/04/2014</b>  | PÁGINA<br><b>1</b><br>DE<br><b>2</b>                                  |



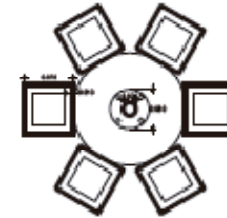
BASE DEL GENERADOR



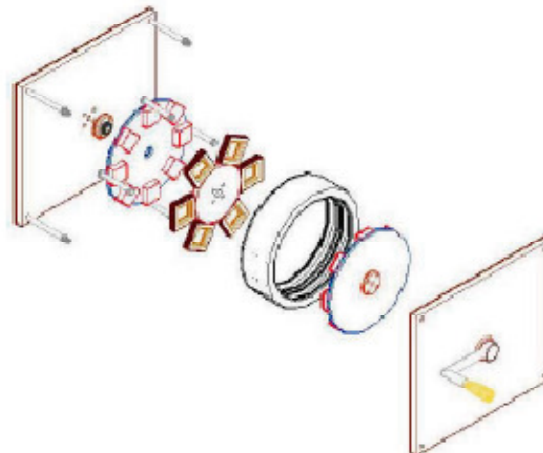
BASE Y ROTOR DEL GENERADOR



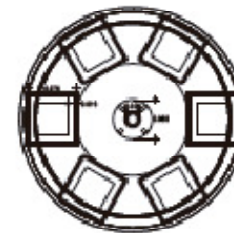
ROTOR DEL GENERADOR



ESTATOR



ENSAMBLADO DEL GENERADOR



TAMBOR Y ESTATOR

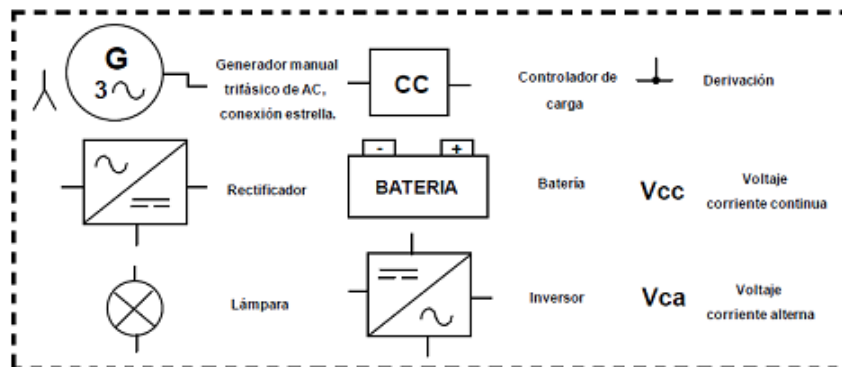
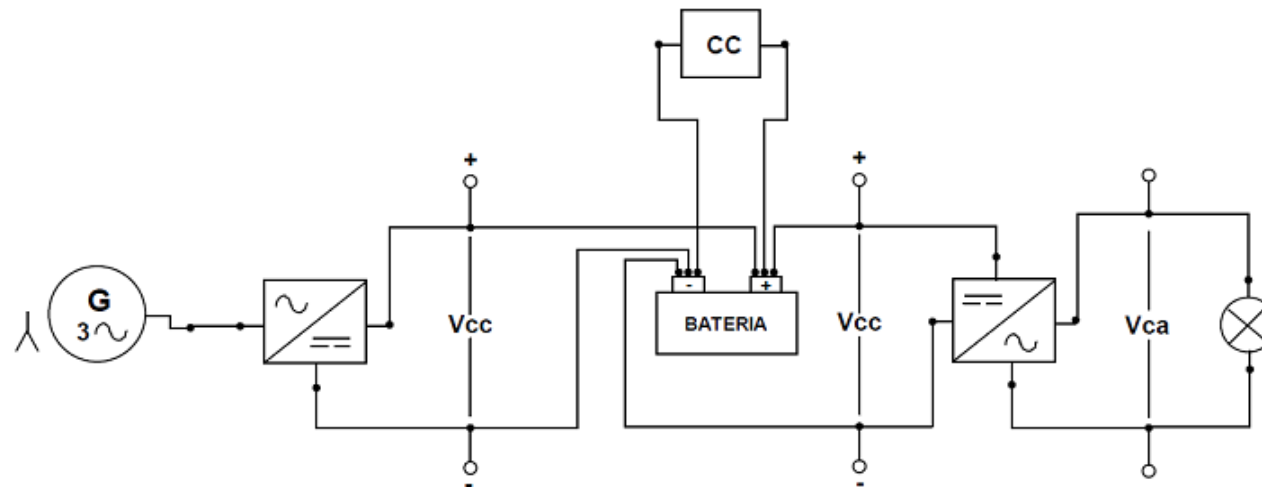


BLUJE

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| TÍTULO<br>DISEÑO DE DISPOSITIVOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HUMANA   |  | Código de materia<br>MATERIA DE EL GENERADOR<br>ACORRENTAS |   |
| <br>INSTITUCIÓN EDUCATIVA<br>JESÚS SÁLVADO | DISEÑO TÉCNICO<br>Ing. JORGE LUIS<br>JESÚS SÁLVADO | CLASIFICACIÓN<br>CLASIFICACIÓN<br>UNIDAD 02                | MATERIA<br>ELECTRONIA Y<br>TELECOMUNICACIONES<br>2<br>2 |



# ESQUEMA FUNCIONAL DE CONEXIÓN ELÉCTRICA



Tesis:  
DISEÑO DE DISPOSITIVOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA HUMANA  
Autor:  
Claudia Estefanía Loaliza Aldeán  
Director:  
Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco

Contiene:  
Vista de conexión del prototipo  
Escuela:  
Electrónica y Telecomunicaciones  
Fecha:  
09 / 2011  
Lámina:  
1 de 1

# Diseño de dispositivos para el aprovechamiento de energía humana: diseño de un generador de flujo axial activado a manivela

Claudia Loaiza<sup>#1</sup>, Jorge Jaramillo<sup>#2</sup>

<sup>#1</sup> Profesional en formación, Universidad Técnica Particular de Loja

<sup>#2</sup> Docente de EET, Universidad Técnica Particular de Loja

Loja, Ecuador 2011

<sup>1</sup>celoaiza@utpl.edu.ec<sup>2</sup>jorgeluis@utpl.edu.ec

**Resumen**—Este trabajo describe el proceso de diseño de un stand demostrativo del aprovechamiento de la energía humana en la generación de energía eléctrica para iluminación.

**Índice de términos**— energía humana, aprovechamiento de la energía humana, generador de flujo axial con energía humana.

## I. INTRODUCCIÓN

El agotamiento de las fuentes de energía no renovables, el aumento de la población, las nuevas aplicaciones tecnológicas, la contaminación del medio ambiente, y, el calentamiento global, han conspirado para provocar una creciente crisis de energía.

Este escenario favorece el empleo de fuentes renovables, como alternativa para proveer servicios de energía limpia, eficiente, accesible, y, fiable.

El creciente uso de productos electrónicos portátiles ha creado oportunidades para el aprovechamiento de una nueva forma de energía no convencional: la energía humana (human power). Cuando el ser humano realiza un trabajo, una parte del esfuerzo realizado cubre la demanda de energía necesaria, mientras que otro tanto se disipa. La energía disipada puede ser aprovechada, almacenada, y, convertida en electricidad, para alimentar dispositivos electrónicos.

En este trabajo, se describe el proceso de diseño de un stand demostrativo de generación de energía eléctrica para iluminación, aprovechando energía humana.

## II. ESTADO DEL ARTE EN EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HUMANA

### A. Generación de energía eléctrica a partir de energía humana

El ser humano consume energía a través de los alimentos. Se estima que el promedio de consumo calórico es de 2500 Kcal [1], que equivale a 10.5 MJ o aproximadamente 3KWh (la energía almacenada en 1050 baterías alcalinas). Una porción significativa de la energía consumida mantiene las funciones metabólicas. Otra fracción se emplea para activar los tejidos musculares y generar la energía cinética necesaria para las actividades físicas.

La conversión de la energía de los alimentos en energía mecánica externa, presenta una eficiencia de entre el 2,6 y el 6,5%, dependiendo del tipo de actividad física. A pesar de la baja eficiencia, la disponibilidad de energía mecánica y térmica durante la actividad física, confiere a la energía humana el estatus de potencialmente utilizable como energía renovable [2].

La Tabla 1, muestra la energía humana requerida para

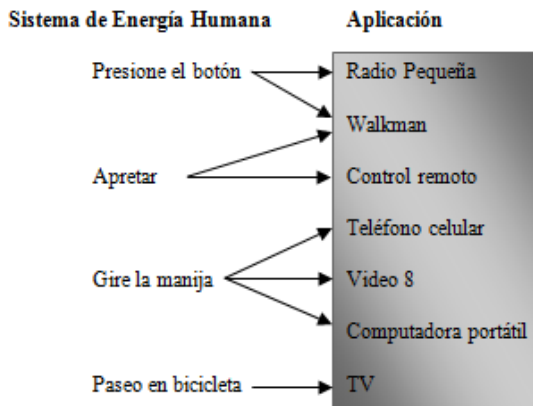
cumplir con diversas tareas[3], [4]. Al contrastar los valores de la energía requerida, con el consumo de algunos de los dispositivos electrónicos actuales (ver Tabla 2), se puede afirmar que la energía humana podría ser suficiente para activar estos dispositivos (ver Fig.1)

**Tabla 1**  
Energía humana necesaria para diversas tareas

| Descripción de la tarea  | Energía humana requerida |
|--|--------------------------|
| Pulsar botón con el pulgar   | 0,3 W                    |
| Apriete generador de mano  | 6 W                      |
| Gire la manija del radio   | 21 W                     |
| Paseo en bicicleta a 25 km / h                                     | 100 W                    |
| Presionar (16 N x 40 mm)   | 0.64 W                   |
| Apretar (400 N x 30 mm)  | 12 W                     |
| Girar la manivela o manija (30N x 100mm de radio x 1,5 x 2 $\pi$ ) | 28 W                     |

**Tabla 2**  
Consumo energético de productos electrónico portátiles

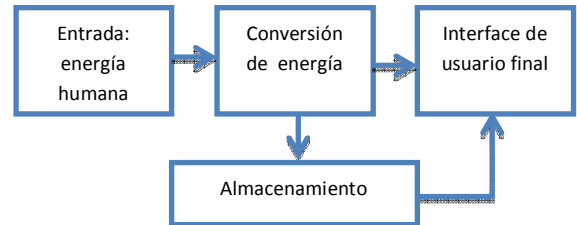
| Producto                                    | Consumo de energía |
|---|--------------------|
| Pequeña radio portátil FM                   | 30 mW              |
| Walkman modo de reproducción                | 60 mW              |
| Control remoto de TV                        | 100 mW             |
| Teléfono celular (de conversación y espera) | 2 W /35 mW         |
| Linterna eléctrica (linterna)               | 4 W                |
| Video 8 (sin pantalla LCD)                  | 6 W                |
| Ordenador portátil Tecra 8000               | 10 W               |
| TV (pantalla 53/67/wide)                    | 50/74/111 W        |



**Fig. 1.** Oportunidades de alimentación de productos electrónicos utilizando energía humana

El aprovechamiento de energía humana, se puede esquematizar en 4 fases (ver Fig. 2) [5]: al sistema ingresa energía humana, un bloque conversor la convierte en

energía eléctrica, la energía eléctrica se almacena para su posterior utilización, y, se entrega la energía requerida por el usuario.



**Fig. 2.** Modelo básico del aprovechamiento de energía humana

Actualmente, distintas aplicaciones tecnológicas aprovechan la energía humana para diversos usos, como es el caso de la activación de computadoras portátiles a través de pedales en Afganistán[6], el bombeo de agua en África con soluciones de Waterforpeople[7], o el aprovechamiento de la energía disipada en el baile en la discoteca Watt [8]. En el mercado, también es posible encontrar diversos dispositivos experimentales e innovadores como el sOcket, el yoyo cargador de teléfono móvil, una adaptación del cubo mágico de Rubik, etc.

### III. DISEÑO DE UN STAND DEMOSTRATIVO DEL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA HUMANA: DISEÑO PRELIMINAR

#### A. Arquitectura funcional del sistema

Para definir la arquitectura funcional del sistema a diseñar, se partió del modelo de aprovechamiento de la energía humana sugerido en [5] (Ver Fig. 2).

El objetivo del proyecto es generar energía eléctrica para iluminación. La carga constará de tres tipos de lámparas: de filamento, LED, y, CFL.

Para proporcionar la energía requerida por la carga, se analizó las características de la energía humana pasiva (ver Tabla 3) y de la activa (ver Tabla 4). El análisis mostró que la energía generada en la mano y en el brazo, era la de mejores prestaciones para el proyecto.

**Tabla 3**  
Generación pasiva de energía

| Actividad | Generación pasiva de energía |
|-----------|------------------------------|
|-----------|------------------------------|

|                      |         |
|----------------------|---------|
| Movimiento de dedo   | 0.007 W |
| Respiración          | 0.4 W   |
| Movimiento pecho     | 0.83 W  |
| Movimiento de brazo  | 1.5 W   |
| Calor del cuerpo     | 3.5 W   |
| Movimiento de pierna | 8.4 W   |

**Tabla 4**  
Generación activa de energía

| Actividad                  | Generación activa de energía |
|----------------------------|------------------------------|
| Dedo (presionar un lápiz)  | 0.3 W                        |
| Mano (Aladdinpower)        | 3.6 W                        |
| Mano y brazo (Freeplay)    | 21 W                         |
| Piernas (ciclismo 25 Km/h) | 100W                         |

La Tabla 5 [1] detalla la capacidad de generación de energía, en función de distintos movimientos del brazo y de la mano. El análisis mostró que el movimiento óptimo para este proyecto, es el giro de una manivela.

La Fig. 3 muestra la arquitectura funcional del sistema a diseñar. Un dispositivo de manivela convierte la energía humana (de formato mecánico) en energía eléctrica. La energía eléctrica generada se almacena en unabatería. Un circuito controlador (que incluye un inversor CD/AC y un controlador de carga para protección de la batería) proporciona la energía suficiente para alimentar la carga.

### B. Modelo del bloque de conversión de energía

La energía humana utilizada para girar la manivela debe ser convertida en energía eléctrica. Se identificó dos posibles opciones de conversión: electromagnética, y, piezoeléctrica.

La *conversión electromagnética* se realiza en un generador de rotación (de flujo radial, de flujo axial, o, de

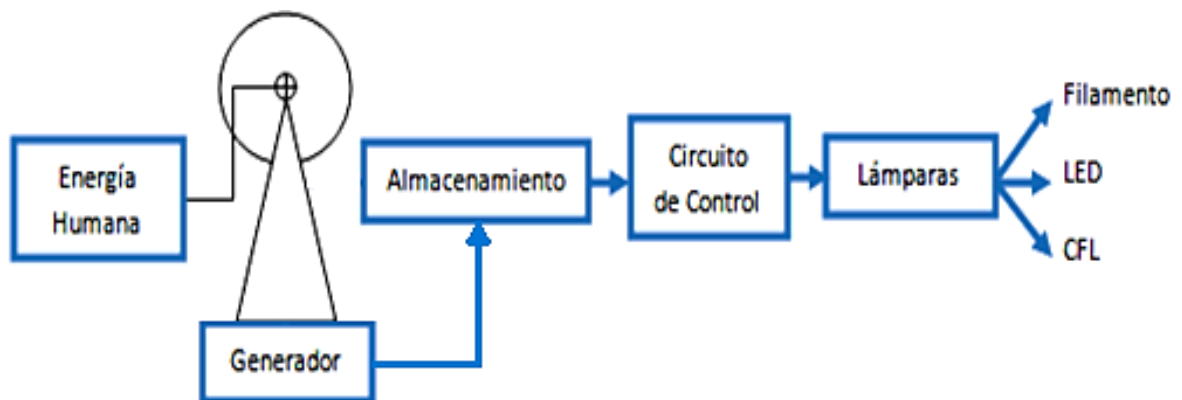
flujo paralelo), o, utilizando un generador de traslación. La primera forma, convierte el movimiento circular de un imán en electricidad; la segunda, convierte el movimiento lineal de un imán en electricidad [9], [10].

**Tabla5**  
Capacidad de generación de energía de los movimientos de la mano y brazo

| Movimiento              | Tipo                    | Energía | Espacio      | Masa          | Medio                            |
|-------------------------|-------------------------|---------|--------------|---------------|----------------------------------|
| Torcer                  | Rotacional; discontinuo | 12.6 W  | Pequeño      | Ligera        | No molesta a los alrededores     |
| Girar manija o manivela | Rotacional; Discontinuo | 21 W    | Pequeño      | Ligera        | No molesta a los alrededores     |
| Agitar                  | Traslación; continuo    | 0.4 W   | Medio        | Media         | Ruido y movimiento en el espacio |
| Tracción/ Estirar       | Traslación; continuo    | 23 W    | Medio        | Ligera        | Movimiento alrededor.            |
| Oscilación de masa      | Rotacional; discontinuo | 25 W    | Medio /Largo | Pesada        | Arriesgado para los alrededores  |
| Presionar y flexionar   | Traslación; continuo    | 20 W    | Pequeño      | Ligera /Media | No molesta a los alrededores     |

La *conversión piezoeléctrica* se logra comprimiendo o deformando ciertos materiales (llamados piezoeléctricos), lo que produce una diferencia de potencial proporcional a la magnitud de la fuerza ejercida[11].

Para este proyecto, por la facilidad de implementación, se seleccionó la conversión electromagnética a través de un generador de rotación de flujo axial, activado a manivela.



**Fig. 3.** Arquitectura funcional del stand demostrativo del aprovechamiento de la energía humana en la generación de energía eléctrica para iluminación

### C. Modelo del bloque de almacenamiento de energía

La energía generada debe ser almacenada. El almacenamiento puede hacerse antes o después de la conversión. La primera opción requiere de un medio mecánico de almacenamiento de energía. La segunda demanda de un almacenamiento electroquímico o eléctrico [11] (Ver Tabla 6).

Al comparar eficiencia, tamaño, cantidad de energía almacenable, y, compatibilidad con la generación de electricidad, para este proyecto se seleccionó el almacenamiento electroquímico, utilizando una batería de tipo NiCd.

**Tabla 6**  
Comparación de métodos de almacenamiento

| Método de almacenamiento                  | Eficiencia       | Densidad de Energía    | Compatibilidad |
|---|------------------|------------------------|----------------|
| <i>Energía Cinética/Energía Potencial</i> |                  |                        |                |
| Altitud                                   | Muy alta (90%)   | Muy baja               | Baja           |
| Gas comprimido                            | Baja (20 - 40 %) | Muy baja               | Baja           |
| Elasticidad                               | Muy alta (95%)   | Larga                  | Media          |
| Volante                                   | Alta (70%)       | Larga                  | Alta           |
| <i>Energía Eléctrica</i>                  |                  |                        |                |
| Electromecánica                           | Alta (70%)       | Larga (40 - 140 Wh/kg) | Alta           |
| Eléctrica                                 | N/A              | Media (2 - 10 Wh/kg)   | Muy alta       |

### D. Modelo del bloque de circuito de control

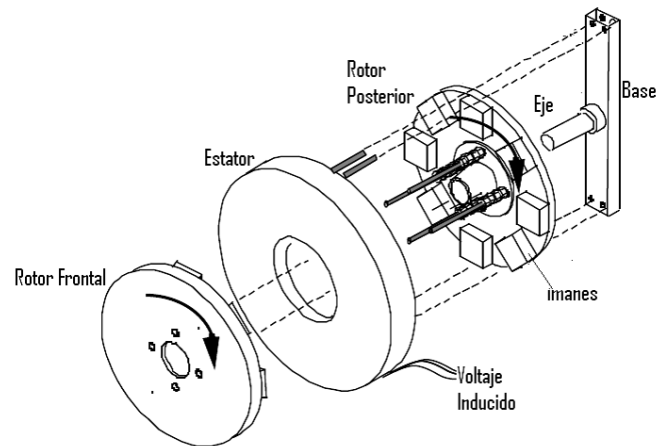
Este bloque debe incluir un circuito inversor para la conversión de corriente continua (desde la batería) en corriente alterna para alimentar la carga. El inversor ideal debería entregar una onda de tensión senoidal. La elección del inversor adecuado depende de la potencia, de la tensión, y, de la frecuencia, requeridos por la carga [12].

El bloque también prevé un controlador de carga para protegerla de la desviación de voltaje, y, de la corriente de salida [13].

## IV. DISEÑO ELECTROMECAÁNICO DEL PROTOTIPO DE GENERADOR DE ROTACIÓN DE FLUJO AXIAL

### A. Generalidades de los generadores de flujo axial

En forma general, un generador de rotación de flujo axial contiene un disco delgado de hierro que gira alrededor de un eje perpendicular al mismo, y, en cuyo contorno se sitúa un conjunto de imanes que crean un campo magnético paralelo al eje de giro (ver Fig. 4) [14]



**Fig. 4.** Generador de flujo axial

Los generadores de flujo radial logran eficiencias superiores al 80%, incluso a baja potencia, y, funcionan típicamente con una velocidad máxima de 3600rpm[15]. Sin embargo, este modelo presenta dos grandes problemas en una implementación de alta velocidad: geometría, y, pérdidas en el estator.

El problema de la geometría se resuelve si los imanes están soportados en discos, y, la cara que enfrenta a las bobinas es plana para permitir la mayor proximidad posible. Así, mediante agujeros resulta simple reforzar los discos porta imanes en su perímetro (ver Fig.5). Las pérdidas por corrientes parásitas se eliminan si se colocan imanes a cada lado del bobinado, para cerrar el campo magnético a través del aire, sin mucha dispersión. Con ello se evitan materiales ferromagnéticos en el estator, expuestos a campos alternos y se eliminan las pérdidas por corrientes parásitas. Ésta es, quizás, la mayor ventaja de implementar la disposición axial del flujo [16].



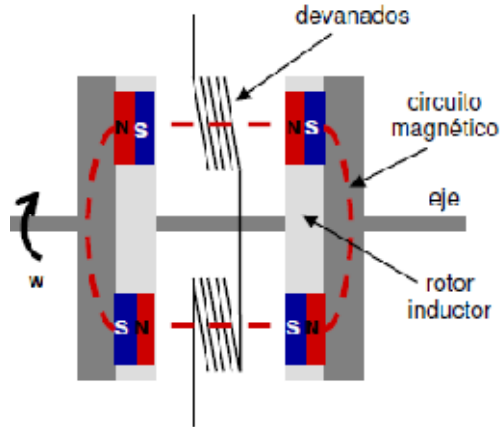


Fig. 5. Disposición de un generador de flujo axial

### B. Principio de funcionamiento de los generadores de flujo axial

Cuando un conductor de longitud  $l$  se mueve en un campo magnético  $\vec{B}$ , con una velocidad relativa  $\vec{v}$ , se genera una fuerza electromotriz (fem) que desplaza cargas hacia sus extremos. La diferencia de potencial resultante entre ambas puntas del conductor, sigue la relación:

$$\varepsilon = (\vec{v} \times \vec{B}) \vec{l} \quad (1)$$

Este potencial puede ser aprovechado para transformar energía mecánica en eléctrica, si se conectan ambos extremos a una carga. La corriente  $i$  que circula por el conductor también interactúa con el campo, produciendo una fuerza en sentido opuesto al movimiento, que responde a la ecuación:

$$\vec{f} = i(\vec{B} \times \vec{l}) \quad (2)$$

De acuerdo al principio de conservación de la energía, se requiere de una potencia mecánica para mantener el conductor en movimiento, igual a la potencia eléctrica obtenida a cambio. Si se conectan todos los conductores fuera de la zona afectada por el campo magnético en forma de bobina, como un arreglo axial, se pueden obtener valores de tensión o corriente útiles [17].

Considerando la geometría del generador axial, y, sobre la base de las leyes de Faraday y Lorentz, se puede llegar a demostrar que la fem inducida, se determina por la expresión:

$$\varepsilon = f_c 0.074(n)B(R_2 + R_1)NL \quad (3)$$

En dónde:

- $n$ , es la velocidad de giro de la bobina,
- $B$ , es el campo magnético creado por los imanes
- $R_2$ , es el radio del disco de hierro donde van "pegados" los imanes
- $R_1$ , es igual a  $R_2$  menos la longitud radial, o altura radial, del imán,  $R_1 = R_2 - L$
- $N$ , es el número de segmentos
- $L$ , es la longitud radial

### C. Prototipo del generador de flujo axial

El diseño de un prototipo para el generador axial, parte de una geometría simple, e, incluye los elementos básicos descritos anteriormente.

Por razones presupuestarias, el prototipo fue calculado analíticamente, y, construido en forma virtual, utilizando AutoCAD 2010, y, Maxwell Render 2.5

#### Base

La base es el soporte del generador. Se propone que la base se arme a partir de dos placas de madera (45cm x 50 cm), paralelas entre sí (ver Fig. 6), enlazadas a través de cuatro varillas roscadas. La base sujeta el rodamiento central del generador.



Fig. 6. Base del prototipo

#### Rotor

El rotor estará conformado por dos discos de hierro, con 8 imanes de Neodimio en cada uno. Los imanes se distribuyen en forma equidistante sobre los discos (45 grados entre ellos) (ver Fig. 7).



Los dos discos están enfrentados entre sí, separados de modo que, en medio de los imanes se pueden colocar las bobinas. La electricidad se generará por el giro de los imanes de los discos magnéticos.

Cada disco tiene 305 mm de diámetro y 6 mm de grosor. En cada disco existe un agujero central de 60 mm de diámetro (ver Fig. 8).

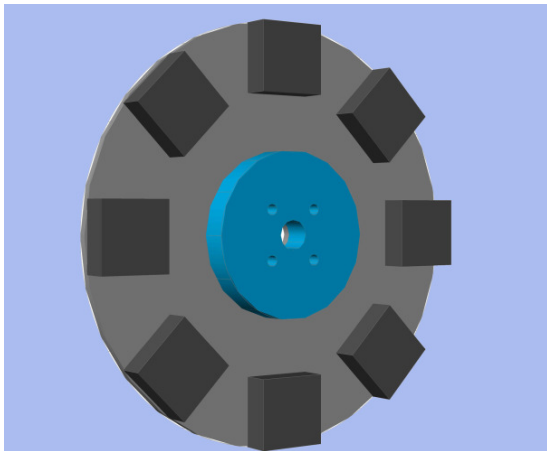


Fig.7. Rotor del prototipo

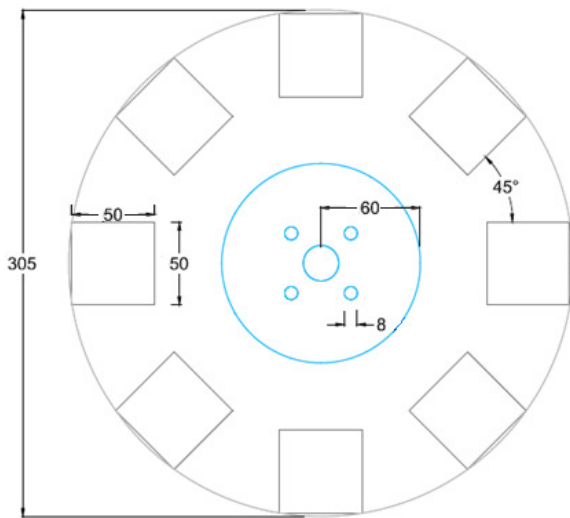


Fig. 8. Geometría del rotor del prototipo

Los dos discos del rotor, están montados sobre un eje de cojinetes gracias a un buje. El buje sujeta el generador a la estructura principal, y, mantiene el movimiento de rotación. El buje encaja sobre el eje por medio de dos cojinetes cónicos, uno más grande en la parte inferior del eje, y, otro menor en la parte superior. Los cojinetes cónicos permiten el movimiento libre de giro del buje con los rotores, como un conjunto [18].

### Estator

El estator fue diseñado como un elemento circular sólido que contiene 6 bobinas equidistantes en su interior. Las bobinas están dispuestas en tres fases, en arreglos de dos. Las bobinas están distribuidas en función de los imanes de cada rotor magnético, y, el centro de una bobina y de otro distan 60°. Del centro de una bobina al centro del estator, existe una distancia de 125 mm.

Cada bobina se arma de un enrollado de 100 vueltas de hilo de cobre esmaltado, de 1.5 mm de diámetro. La bobina tiene una geometría de 110x110 mm, y, posee un agujero cuadrado interior de 50x50 mm (ver Fig. 9).

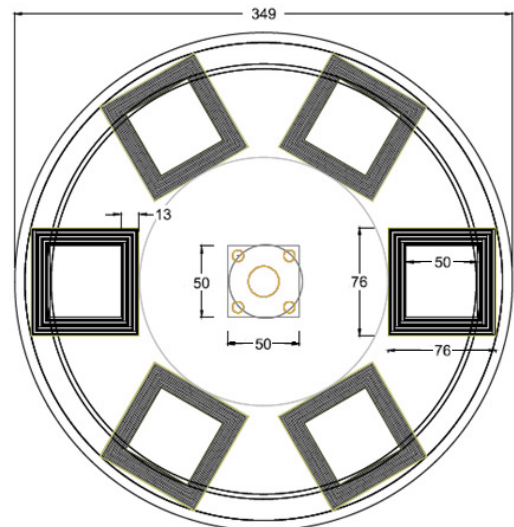


Fig. 9. Geometría del estator del prototipo

Para sujetar el estator en el generador, se ha proyectado una carcasa de bobinas, que permite que estas tengan contacto directo con ambos rotores (ver Fig. 10).

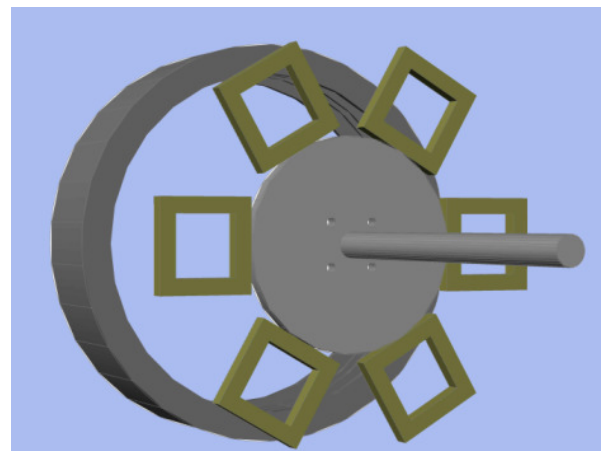


Fig. 10. Carcasa de bobinas

## Eje

El eje del generador es una barra de acero calibrada, que transmite el movimiento de giro generado por la manivela.

Sobre el eje del generador se monta un buje, y sobre éste los dos rotores. El eje se ajusta a la montura del buje, permitiendo que ésta sea el soporte del generador, y, a la vez permita el giro [18] (ver Fig.11).

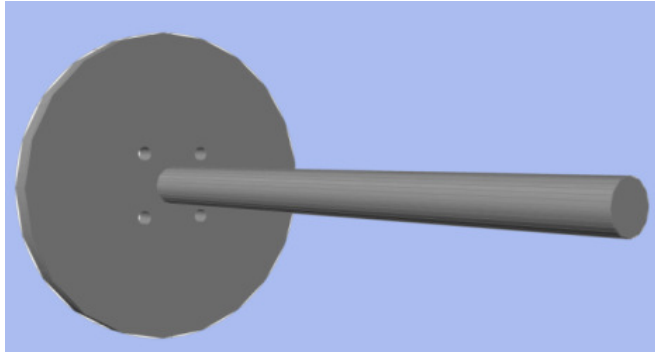


Fig. 11. Eje del generador

## Ensamblado del prototipo

El ensamblaje final del prototipo, se muestra en las Fig. 12 y 13.

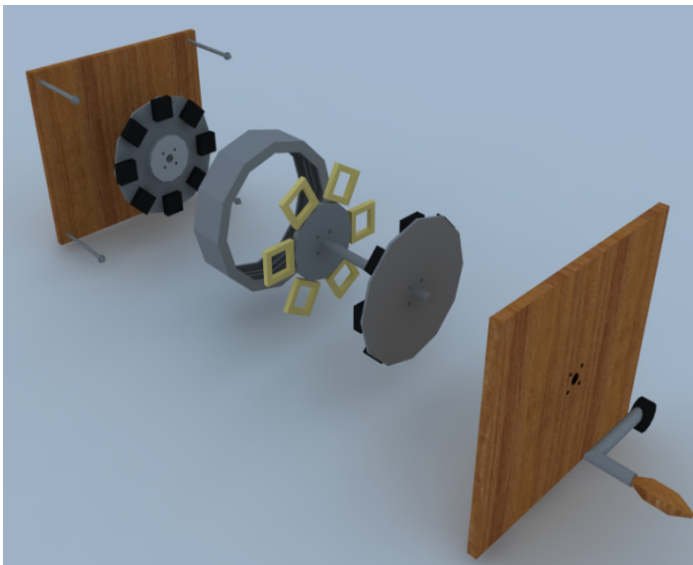


Fig. 12. Ensamblaje del prototipo

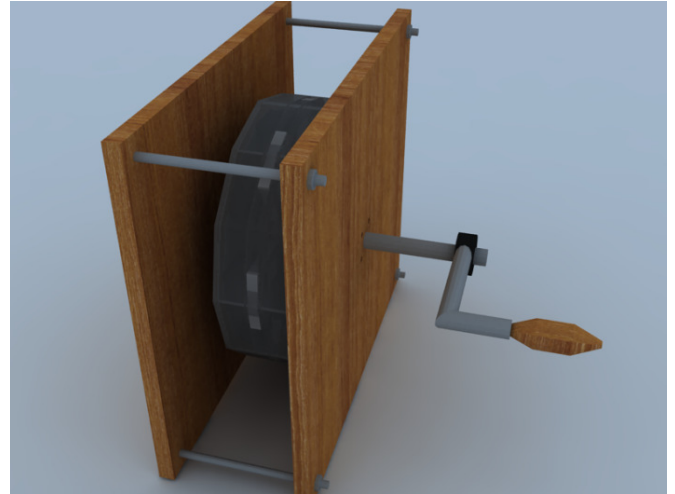


Fig. 13. Prototipo del generador de flujo axial ensamblado

## V. DISEÑO ELÉCTRICO DEL PROTOTIPO DEL GENERADOR DE ROTACIÓN DE FLUJO AXIAL

El diseño eléctrico del prototipo, consideró que es posible lograr que la tensión de salida del generador sea función de la velocidad de rotación de la manivela, y, que la tensión generada sea alterna sinusoidal.

También se incluyó en el diseño los requerimientos de que la energía generada sea almacenada en una batería de 12V, razón por la cual se necesita de un rectificador,

### A. Cálculo de la tensión de salida del generador

El cálculo de la *tensión eficaz o fem inducida* en las bobinas del prototipo, se basó en la aplicación de los postulados de la Ley de Faraday, considerando la geometría del prototipo, e, incluyó los resultados publicados por el ITDG, con el apoyo de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) del Perú, sobre la caracterización del campo magnético uniforme para imanes de ferrita y neodimio [18].

De esta forma, se determinó que la tensión eficaz para el prototipo es función de la velocidad de rotación  $n$ , y, se expresa como:

$$U = 0.05728 n \quad (4)$$

El diseño cuenta con seis bobinas equidistantes, dispuestas en tres fases. Como las parejas de bobinas están desfasadas  $120^\circ$  entre sí, cualquier conexión, ya sea serie o paralelo entre ellas, dará lugar a un sistema de generación eléctrica trifásico. Para el prototipo, se sugirió la conexión

de las bobinas en el esquema de doble estrella, por la facilidad para generar distintos niveles de tensión.

En el esquema propuesto, las bobinas en fase se conectan en paralelo entre ellas (1 y 4, 2 y 5, 3 y 6), y, en estrella las parejas (ver Fig. 14).

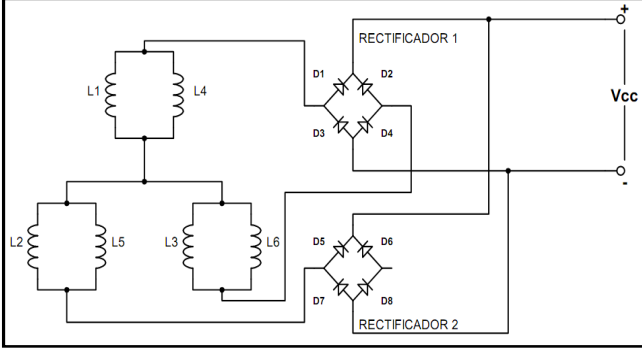


Fig. 14. Conexión en doble estrella de las bobinas del prototipo

Como las bobinas en fase están conectadas en paralelo, cada rama tiene una tensión  $U$ , y, al ser conectadas las 3 ramas en estrella, la tensión de línea será  $U$  por raíz de 3:

$$U_{1,2Y} = \sqrt{\frac{3}{2}} BSN4w \quad (5)$$

### B. Cálculo del rectificador

La corriente alterna trifásica de salida del generador, se convierte en corriente continua utilizando dos rectificadores monofásicos de puente, que conectados equivaldrán a un rectificador trifásico no controlado (ver Fig.14)

La tensión continua de salida del rectificador trifásico ( $V_{cc}$ ), se determina por la expresión:

$$V_{cc} = 3\sqrt{2} \frac{U_{1,2Y}}{\pi} \quad (6)$$

Por lo tanto:

$$V_{cc} = \frac{12\sqrt{3}}{\pi} BSN4 \left( \frac{2\pi n}{60} \right) \quad (7)$$

$$V_{cc} = \frac{2\sqrt{3}}{5} BSNn \quad (8)$$

La tensión continua del rectificador, en función de la velocidad de giro  $n$  del generador, estará definida por la ecuación:

$$V_{cc} = 0.1340 n \quad (9)$$

### C. Cálculo de la velocidad de rotación mínima

La velocidad de rotación mínima tiene que ver con la necesidad de alimentar una batería. Por cuanto, en el prototipo se utiliza una batería de 12 V, es indispensable obtener un voltaje mayor (14.4 V). Por su parte, el amperaje indispensable depende de la duración esperada de la batería. Se estima que para una vida útil aceptable de la batería, el amperaje deber variar entre 0.7A y 3A.

Considerando la expresión (9), la velocidad de rotación requerida para generar 14.4V es de 108 rpm.

## VI. DISEÑO DEL BLOQUE DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA DEL PROTOTIPO

El campo magnético del generador induce tensión en las bobinas, tensión que ha de permitir alimentar una batería. A bajas velocidades de giro, la tensión es insuficiente para cargar la batería; pero, cuando se alcanza cierto umbral en la velocidad, se establece una corriente eléctrica que permite la carga de la batería [17]. Por tal motivo, es necesario seleccionar una batería acorde a la velocidad de giro que se pueda obtener del prototipo.

Por las características, y, la facilidad en la implementación, para este proyecto se seleccionó una batería de tipo NiCd, marca Howell, 12V, 7Ah.

De acuerdo a la capacidad de la batería se puede determinar el **número de horas requerido para cargarla**. Normalmente, la corriente de carga se sitúa en la décima parte de la capacidad de la batería con el objetivo de evitar que se produzca una sobrecarga (0.7A para este proyecto). Por otra parte, se recomienda procurar que la intensidad de carga no sobrepase la mitad de la capacidad de la batería. Por estas razones, la corriente de carga estará en el rango de 0.7A y 3.5 A. Entonces, el tiempo de carga de la batería oscilará entre 10h (para una corriente de carga de 0.7A) y 2.33 h (para 3A).

La batería se conectará a la salida de los dos rectificadores de puentes monofásicos, tal como lo muestra la Fig. 15.

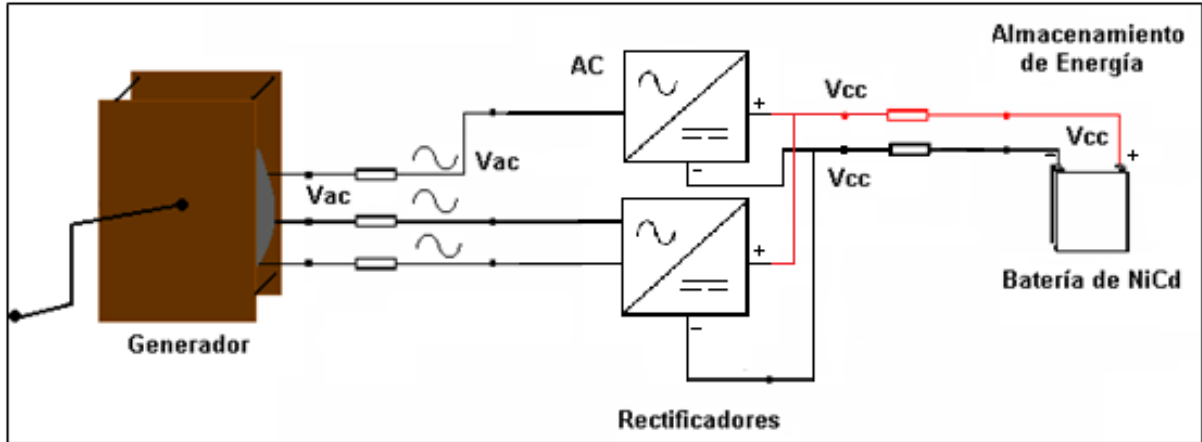


Fig. 15. Esquema de conexión eléctrica del almacenamiento de energía del prototipo

## VII. DISEÑO DEL BLOQUE DE CIRCUITO DE CONTROL DEL PROTOTIPO

Este circuito controlador está formado por dos componentes: un controlador de carga para protección de la batería, y un inversor CD/CA, que permitirá transformar la corriente de salida de la batería en el formato requerido por la carga.

El controlador de carga [17] evita que en el proceso de carga de la batería se sobrepasen los límites técnicos, evitando daños y manteniendo la vida útil.

Para monitorear el estado (carga) de la batería, se propone utilizar un circuito basado en un comparador de ventana, montado sobre el amplificador operacional LM747, capaz de distinguir tres estados: plena carga (12V o más), carga nominal (de 6V a 12V), y descargada (menos de 6V).

La selección del inversor CD/CA depende de la potencia requerida por la carga, y, del voltaje de entrada de la misma.

Para el prototipo, el voltaje de entrada de la carga se estimó en 120 V. Se seleccionó el inversor INVERTRONIC PLUS-IMETRILEC.

## VIII. BLOQUE DE CARGA DEL PROTOTIPO

Como carga del prototipo, se seleccionó alimentar lámparas de tres tipos: de filamento, LED, y CFL. El objetivo es demostrar las diferencias en el consumo de energía de cada una de ellas.

## IX. CÁLCULO DE LA INVERSIÓN REQUERIDA PARA LA IMPLEMENTACIÓN FÍSICA DEL PROTOTIPO

El presupuesto de implementación física del prototipo, se calculó en tres componentes: costos en material, costos en equipos, y, costos en mano de obra calificada.

### A. Costo en material

Este rubro incluye el costo de materiales para el generador, y, en el costo de materiales para construir moldes y plantillas (ver Tabla 7).

### B. Costo en equipos

La Tabla 8, resume los rubros que conforman con la inversión requerida en equipos

**Tabla 7**  
Costos en materiales

| CANT.        | DESCRIPCIÓN  | PRECIO UNIT | PRECIO TOTAL  |
|--------------|--|-------------|---------------|
| 2            | Plancha de madera de 45 x 50 cm  | 6.00        | 12.00         |
| 2            | Rodamiento de base plana para un eje de 20 mm de diámetro                              | 2.00        | 4.00          |
| 1            | Barra de hierro calibrada de 20 mm de diámetro y 350 mm de longitud                    | 7.00        | 7.00          |
| 4            | Varilla roscadas de 12 mm de diámetro y 250 mm de longitud, 24 tuercas y 24 arandelas  | 3.00        | 12.00         |
| 2            | Disco de hierro de 305 mm de diámetro y 6 mm de grosor                                 | 6.00        | 12.00         |
| 1            | Cilindro de aluminio de 90 mm de diámetro y 64 mm de longitud                          | 15.70       | 15.70         |
| 2            | Plancha de madera contrachapada de 440 mm de altura, 370 mm de ancho y 30 mm de grosor | 8.00        | 16.00         |
| 16           | Imán de Neodimio de 50x50x20mm   | 16.56       | 265.00        |
| 4            | Libras de cable de cobre esmaltado de 1.5 mm de diámetro                               | 3.00        | 12.00         |
| 1            | Metro de tela de fibra de vidrio   | 1.50        | 1.50          |
| 5            | Libra de Resina  | 4.10        | 20.50         |
| 2            | Litro de líquido catalizador   | 6.00        | 12.00         |
| 3            | Moldes de madera para compactar bobinas e imanes                                       | 9.00        | 27.00         |
| 1            | Varios (grasa, guantes, alambre etc.)  | 3.00        | 3.00          |
| 1            | Lámpara de filamento   | 1.05        | 1.05          |
| 1            | Lámpara LED  | 19.00       | 19.00         |
| 1            | Lámpara CFL  | 7.80        | 7.80          |
| 3            | Boquillas  | 1.00        | 3.00          |
| <b>TOTAL</b> |  |             | <b>450.55</b> |

**Tabla 8**  
Costo en equipos

| CANT.        | DESCRIPCIÓN                                 | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL  |
|--------------|---|-----------------|---------------|
| 2            | Rectificador 50A-1000V                      | 5.00            | 10,00         |
| 1            | Batería 12 VDC - 7AH                        | 18.60           | 18,60         |
| 1            | Circuito controlador de carga               | 4.35            | 4,35          |
| 1            | Inversor de DC A AC 12 VDC-120VAC           | 127.68          | 127,68        |
| 1            | Varios (conectores, cables, aislante, etc.) | 5,00            | 5,00          |
| <b>TOTAL</b> |   |                 | <b>165.63</b> |

### C. Costos en mano de obra calificada

Para finalizar el cálculo del coste económico de la construcción del prototipo, hay que tener en cuenta también el trabajo en el taller. La tabla 9 describe este coste.

**Tabla 9**  
Costos en mano de obra calificada

| DESCRIPCIÓN             | PRECIO TOTAL (\$) |
|-------------------------|-------------------|
| Mano de obra calificada | <b>400</b>        |

### D. Presupuesto total

La tabla 10, resume el presupuesto total de inversión en la construcción del prototipo:

**Tabla 10**  
Presupuestototal de la construcción del prototipo

| DESCRIPCIÓN             | PRECIO (\$)    |
|-------------------------|----------------|
| Materiales              | 450.55         |
| Equipos                 | 165.63         |
| Mano de obra calificada | 400.00         |
| <b>SUBTOTAL</b>         | <b>1016.18</b> |
| <b>IVA 12%</b>          | <b>121.94</b>  |
| <b>TOTAL</b>            | <b>1138.12</b> |

## X. CONCLUSIONES

- Las acciones cotidianas del ser humano, pueden proporcionar energía para activar dispositivos electrónicos, si se determina el método óptimo para aquello.
- La generación activa de energía humana es una opción válida para cubrir las necesidades de energía, en una escala humana.
- El aprovechamiento de energía humana garantiza un servicio de energía limpio y accesible.
- En el marco de este proyecto se ha demostrado que la conversión electromagnética es la mejor opción para convertir energía cinética en energía eléctrica.
- Para este proyecto se ha demostrado que la generación de electricidad es óptima al utilizar un generador de rotación de flujo axial, ya que permite solucionar problemas típicos de los generadores como la geometría, y, las pérdidas en el estator
- Para el almacenamiento de energía, la opción más adecuada es la vía electroquímica, específicamente el uso de baterías.

- Se ha concluido que el diseño mecánico del prototipo está directamente relacionado con que el generador soporte una fracción significativa de velocidad.
- En este proyecto, se ha diseñado el sistema electromagnético del generador de forma tal que la generación de energía a la salida del generador, en forma de voltaje, sea lo más eficiente posible.
- El diseño propuesto para el generador, no permite definir en forma analítica el régimen definitivo de funcionamiento, ya que este es un parámetro determinado por la velocidad de rotación de la manivela.
- En el marco de este proyecto, se ha diseñado el sistema de almacenamiento de energía de tal forma que la potencia eléctrica y la corriente del generador garanticen una aceptable vida útil de la batería.
- El costo económico de construcción del generador es bajo y viable, por lo que este proyecto puede ser implementado a poblaciones rurales pobres de países en vías de desarrollo, que se caracterizan por la falta de energía eléctrica.

## XI. REFERENCIAS

- [1] Adam M. Gilmore. Human power: Energy Recovery from Recreational Activity, University of Guelph, Ontario N1G 2W1, Canadá Disponible en línea: [http://www.soe.uoguelph.ca/webfiles/gej/articles/GEJ\\_001-008-016\\_Gilmore\\_Human\\_Power.pdf](http://www.soe.uoguelph.ca/webfiles/gej/articles/GEJ_001-008-016_Gilmore_Human_Power.pdf)
- [2] PamdianShunmugham R., A Human Power Conversion System Based on Children's Play, Department of Electrical Engineering and Computer Science Tulane University New Orleans, LA 70118.
- [3] A.J. Jansen - I.A. Ruitter, Engineering a human powered mp3 player , Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering.
- [4] A. J. Jansen and A. Stevels, Human Power, A Sustainable Option For Electronics, Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering. Disponible en línea: <http://www.tudelft.nl/live/binaries/473d5201-c46a-4b4b-b251-e695df045c75/doc/ieee99dfs.pdf>
- [5] A. J. Jansen and A. Stevels, "Human power, an environmental myth?", proceedings of TMCE 04, 13-17 April 2004
- [6] No se menciona autor. AE. Alternative energy Powered Electricity Generator from Windstream Disponible en línea: <http://www.alternative-energy-news.info/pedal-%20powered-electricity-generator-windstream/>
- [7] March Elizabeth, OMPI, Oficina del Director General. Cuando la innovación es un juego de niños. Disponible en línea: [http://www.wipo.int/wipo\\_magazine/es/2009/02/article\\_0013.html](http://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2009/02/article_0013.html)
- [8] Del blanco Ezaquiel. Proyecto Sandía. 12 Formas Bizarras de generar Energía Eléctrica Disponible en línea: <http://www.proyectosandia.com.ar/2009/04/12-formas-bizarras-de-generar-energia.html>
- [9] No se menciona autor . Máquinas síncronas y de CD. Universidad Tecnológica de Puebla, Electricidad y Electrónica Industrial, Programa 2004 Disponible en línea: <http://electricidad.utpuebla.edu.mx/Manuales%20de%20asignatura/5to%20cuatrimestre/Maquinas%20sincronas%20y%20de%20cd.pdf>
- [10] Fernandez Jean Carlos. Conceptos Fundamentales de Electricidad Disponible en línea: <http://es.scribd.com/doc/31641514/CONCEPTOS-FUNDAMENTALES-DE-ELECTRICIDAD-1>
- [11] A.J. Jansen - I.A. Ruitter, Engineering a human powered mp3 player , Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering
- [12] Vázquez Ramos Abel, Salas Castro Pablo, Jaime Rodríguez José, Campos Cantón Isaac, Convertidores CD-CA, Facultad de Ciencias, Electrónica de Potencia, UASLP, San Luis Potosí CP-78000. Disponible en línea: [http://www.uaz.edu.mx/cippublicaciones/eninvie2K5/P\\_1%5CP\\_3Vazquez.pdf](http://www.uaz.edu.mx/cippublicaciones/eninvie2K5/P_1%5CP_3Vazquez.pdf)
- [13] Robbins Anthony, Moroles Erik, Rupp Theadora, Design of a Human-Powered Generator. Disponible en línea: [http://www.ieee-seattle.org/ref/2009\\_student\\_paper/Paper%203%20-%20Robbins,%20Moroles,%20Rupp.pdf](http://www.ieee-seattle.org/ref/2009_student_paper/Paper%203%20-%20Robbins,%20Moroles,%20Rupp.pdf)
- [14] Hugh Piggott - Scoraig Wind Electric - February 2001. PMG construcción manual. Disponible en línea: <http://www.scoraigwind.com/pmgbooklet/itpmg.pdf>
- [15] No se menciona autor. Aerogenerador Casero Modelo "Navas" Disponible en línea: <http://www.uv.es/navasqui/aero/Aerogenerador.pdf>
- [16] Tapia Juan A. Proyectos, Disponible en línea: <http://www2.udec.cl/~juantapia/proyectos.htm>
- [17] Labollita Santiago, Diseño de generadores eléctricos de muy alta velocidad de giro, Instituto Balseiro Comisión Nacional de Energía Atómica, Universidad Nacional de Cuyo Argentina, junio 2008.
- [18] No se menciona autor. Especificación Técnica para la réplica en la UPC de un Aerogenerador de Baja Potencia.