

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA, A TRAVÉS DE LA TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA MOTRIZ HUMANA  
EN UN EQUIPO DE GIMNASIO.

ALEJANDRO ZULUAGA BARON  
JULIAN FELIPE PUNTILLA CADENA

Proyecto Integral de Grado para optar el título de  
INGENIERO MECÁNICO

Orientadora  
LEYDI JULIETA CARDENAS FLECHAS  
Ingeniera electromecánica

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.

2022

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del Director**

---

**Firma del presidente del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

**Bogotá D.C Junio del 2022**

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad

Dr. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del Programa

Dra. María Angélica Acosta Pérez

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a todas las personas que aportaron en la realización de este, a mis padres y familiares por darme la oportunidad de estudiar en una institución privada, a mis amigos y colegas con los cuales compartí, crecí y madures a lo largo de esta carrera universitaria.

**Alejandro Zuluaga Barón**

Dedico este trabajo en primera instancia a mi familia, mis padres Martha Cadena, Julio Puntilla y a mi hermana María Fernanda Puntilla, por brindarme su amor y apoyo durante esta carrera universitaria, por motivarme a seguir adelante y ayudarme toda la vida. También quiero dedicarle este proyecto a mi novia Diana Guerrero por apoyarme y motivarme en los momentos más difíciles de la realización de este proyecto, a mis amigos que conocí a lo largo de mi carrera universitaria que me acompañaron en muchos momentos y estuvieron dispuestos a brindarme su ayuda, por ultimo a nuestra directora de tesis Leydi Cárdenas, quien nos guio durante todo el proceso de realización de este documento.

**Julián Felipe Puntilla Cadena**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a cada una de las personas que hicieron posible la realización de este proyecto, a nuestros padres y familia por el inmenso apoyo que se requirió en diferentes momentos. A nuestros amigos y colegas que hicieron aportes desde su perspectiva y retroalimentación. A Dios por darnos la oportunidad de encontrarnos en las mejores circunstancias que hicieron posible consolidar este trabajo de investigación, desarrollo y análisis.

**Alejandro Zuluaga Barón**

Agradezco a mis Padres, quienes me brindaron la oportunidad de estudiar esta carrera, y ser un profesional, a mi novia por estar siempre conmigo, a mis docentes, compañeros y amigos por brindar su conocimiento y aportar en la obtención de mi carrera profesional.

**Julián Felipe Puntilla Cadena**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.1. Planteamiento del problema	14
1.2. Objetivo general	14
1.3. Objetivos específicos	14
1.4. Alcance	15
1.5. Generación de energía	15
1.6. Formas de generación de energía en Colombia	17
1.7. Antecedentes	18
2. CONCEPTUALIZACIÓN Y PARÁMETROS DE LOS EQUIPOS DEL GIMNASIO	20
2.1. Equipos de gimnasio	20
2.1.1. Máquina de entrenamiento aeróbico	20
2.1.2. Máquinas de musculación	25
2.2. Caracterización y selección de equipos de gimnasio	25
2.3. Generalidades de la bicicleta estática	28
2.3.1. Principio de funcionamiento	30
2.3.2. Relación de velocidad	33
2.4. Adecuaciones de la bicicleta	34
3. SELECCIÓN DE GENERADOR DE ENERGÍA	35
3.1. Demanda energética	35
3.2. Sistema de almacenamiento de energía	40
3.2.1. Tipos de métodos de almacenamiento de energía	40
3.2.2. Selección del sistema de almacenamiento de energía	40
3.2.3. Caracterización de la batería	41
3.3. Generadores de energía	43
3.3.1. Principio de funcionamiento	43
3.3.2. Selección del alternador	49
3.4. Sistema de transmisión	51
3.4.1. Ruedas de fricción	52

3.4.2. Elección de ruedas de fricción	53
3.4.3. Relación de velocidad alternador - volante de inercia	56
3.5. Cantidad teórica de energía generada	57
4. DISEÑO DEL SISTEMA	62
4.1. Bocetos del soporte	62
4.2. Forma de acople a la bicicleta	63
4.3. Geometría del soporte	64
4.4. Diseño y ensamble CAD	65
4.5. Fuerzas presentes en el soporte	67
4.6. Material de producción	67
4.7. Simulaciones de carga	69
4.8.1. Fuerzas ejercidas en el alternador	72
4.8.2. Selección del resorte de tensión	76
4.9. Esfuerzos presentes en eje del alternador	77
4.10. Diagrama de flujo de fabricación	78
4.11. Formas de almacenamiento de la energía obtenida	80
4.12. Conexiones eléctricas requeridas	80
4.12.1. Tipo de cableado	81
4.12.2. Conexiones del alternador	82
4.12.3. Inversor	83
4.12.4. Diagrama Eléctrico	84
5. RECOLECCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	86
5.1. Tamaño de la muestra	86
5.2. Variables estudiadas	86
5.2.1. Distribución de la muestra por edad	87
5.2.2. Uso de la bicicleta estática por la muestra	87
5.3. Velocidades angulares a partir de las velocidades lineales	91
5.4. Energía teórica generada	93
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	96
6.1. Toma de datos reales	96
6.2. Cantidad de energía generada por equipo de gimnasio	98

6.3. Equipos que se pueden alimentar con la energía producida	98
7. ESTUDIO ECONÓMICO	99
7.1. Componentes requeridos	99
7.2. Inversión inicial	99
7.3. Ahorro en el consumo de energía eléctrica	100
7.4. Beneficios obtenidos	101
8. VIABILIDAD DEL PROYECTO	103
8.1. Cálculo del PayBack (Recuperación de la inversión)	103
8.2. Cálculo del ROI (Retorno sobre la inversión)	104
9. CONCLUSIONES	106
BIBLIOGRAFÍA	107
ANEXOS	110

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Bicicleta Estática</i>	15
<b>Figura 2.</b> <i>Generación eléctrica mundial de 2019 por subregiones (TWh, %)</i>	16
<b>Figura 3.</b> <i>Generación eléctrica mundial 2019 por fuentes de energía (TWh, %)</i>	17
<b>Figura 4.</b> <i>Capacidad energética en Colombia</i>	18
<b>Figura 5.</b> <i>Principio de funcionamiento de una máquina de remo para gimnasio</i>	21
<b>Figura 6.</b> <i>Principio de funcionamiento de una máquina elíptica para gimnasio.</i>	22
<b>Figura 7.</b> <i>Principio de funcionamiento de una bicicleta estática para gimnasio.</i>	23
<b>Figura 8.</b> <i>Principio de funcionamiento de una cinta de correr para gimnasio.</i>	24
<b>Figura 9.</b> <i>Principio de funcionamiento de una máquina escaladora para gimnasio.</i>	25
<b>Figura 10.</b> <i>Bicicleta estática</i>	28
<b>Figura 11.</b> <i>Principio de funcionamiento del sistema de biela-manivela.</i>	31
<b>Figura 12.</b> <i>Principio de funcionamiento bicicleta estática</i>	32
<b>Figura 13.</b> <i>Sistema de transmisión por correa dentada</i>	33
<b>Figura 14.</b> <i>Especificaciones técnicas del modelo de las luminarias presentes en las instalaciones.</i>	36
<b>Figura 15.</b> <i>Representación gráfica de la formación de un diferencial energético dado el paso de un campo magnético a través de un conductor</i>	44
<b>Figura 16.</b> <i>Señales de salida de un alternador cuando su espiral se encuentra en diferentes posiciones</i>	45
<b>Figura 17.</b> <i>Señales de salida del alternador con el inductor en rotación.</i>	46
<b>Figura 18.</b> <i>Representación gráfica de un estator de una sola espira.</i>	47
<b>Figura 19.</b> <i>Representación gráfica de la conexión en estrella y su señal de salida.</i>	48
<b>Figura 20.</b> <i>Representación gráfica de rectificación de la corriente alterna en corriente continua</i>	48
<b>Figura 21.</b> <i>Curvatura de desempeño del alternador</i>	51
<b>Figura 22.</b> <i>Ruedas de fricción</i>	53
<b>Figura 23.</b> <i>Ruedas de goma del catálogo de ruedas de la empresa Tente Colombia</i>	55
<b>Figura 24.</b>	56
<b>Figura 25.</b> <i>Amperaje de salida del alternador a las 3164 revoluciones por minuto</i>	59

<b>Figura 26.</b> <i>Diagrama de flujo para el diseño y fabricación del soporte para el generador</i>	62
<b>Figura 27.</b> <i>Opciones de ubicación y geometría del soporte para el generador.</i>	63
<b>Figura 28.</b> <i>Ejemplo de abrazadera metálica</i>	64
<b>Figura 29.</b> <i>Geometría superior del soporte</i>	64
<b>Figura 30.</b> <i>Geometría Inferior del soporte</i>	65
<b>Figura 31.</b> <i>Diseño y ensamble final del soporte</i>	65
<b>Figura 32.</b> <i>Estructura superior</i>	66
<b>Figura 33.</b> <i>Ensamble final en CAD</i>	66
<b>Figura 34.</b> <i>Diagrama de flujo de simulación.</i>	70
<b>Figura 35.</b> <i>Simulaciones de carga</i>	72
<b>Figura 36.</b> <i>Coefficientes de rozamiento entre superficies.</i>	74
<b>Figura 37.</b> <i>Diagrama de fuerzas</i>	75
<b>Figura 38.</b> <i>Tabla de resortes de tensión</i>	77
<b>Figura 39.</b> <i>Esfuerzos sobre el eje del alternador</i>	78
<b>Figura 40.</b> <i>Diagrama de flujo del proceso de fabricación del soporte</i>	79
<b>Figura 41.</b> <i>Almacenamiento de la energía obtenida</i>	80
<b>Figura 42.</b> <i>Regulador de voltaje interno</i>	82
<b>Figura 43.</b> <i>Conexiones del alternador</i>	83
<b>Figura 44.</b> <i>Inversor</i>	84
<b>Figura 45.</b> <i>Diagrama eléctrico</i>	85
<b>Figura 46.</b> <i>Tamaño de la muestra</i>	86
<b>Figura 47.</b> <i>Distribución de los datos recolectados por grupo etario.</i>	87
<b>Figura 48.</b> <i>Comparación entre los grupos etarios en velocidad y tiempo de uso de la bicicleta estática.</i>	88
<b>Figura 49.</b> <i>Gráfica del uso diario de la bicicleta estática medida en los kilómetros y minutos ponderados</i>	89
<b>Figura 50.</b> <i>Uso de la bicicleta estática medida en kilómetros y minutos ponderados, por día de la semana.</i>	90
<b>Figura 51.</b> <i>Voltaje generado por el generador en pruebas reales</i>	96

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Caracterización de los equipos que se encuentran disponibles en el gimnasio.</i>	26
<b>Tabla 2.</b> <i>Especificaciones de la bicicleta estática Spinning Titanium Evolution.</i>	29
<b>Tabla 3.</b> <i>Características de la batería Chevy Parts</i>	42
<b>Tabla 4.</b> <i>Ficha técnica del alternador Delco Lester</i>	50
<b>Tabla 5.</b> <i>Estudio de diversos materiales sobre la superficie del volante.</i>	54
<b>Tabla 6.</b> <i>Ficha técnica del acero AISI-SAE 1018 dada por el proveedor Vazbros</i>	68
<b>Tabla 7.</b> <i>Especificaciones del cableado</i>	81
<b>Tabla 8.</b> <i>Recolección de datos inicial</i>	91
<b>Tabla 9.</b> <i>Velocidad angular de cada registro, medida en revoluciones por minuto.</i>	93
<b>Tabla 10.</b> <i>Datos teóricos de generación de energía</i>	94
<b>Tabla 11.</b> <i>Resultados reales de generación de energía [kWh]</i>	97
<b>Tabla 12.</b> <i>Consumo de energía de las máquinas presentes en las instalaciones del gimnasio</i>	98
<b>Tabla 13.</b> <i>Inversión inicial, para implementación de 1 bicicleta</i>	99
<b>Tabla 14.</b> <i>Inversión inicial, para implementación de 4 bicicletas</i>	100
<b>Tabla 15.</b> <i>Costos de la demanda energética mensual y la energía generada</i>	101

## RESUMEN

En este proyecto se realizó el diseño de un sistema generador de energía a partir del trabajo generado en las bicicletas estáticas de gimnasio del conjunto residencial Tenerife en Bogotá, con el propósito de encontrar una forma de eficiente de generar energía capaz de reducir los consumos energéticos provenientes de la red eléctrica pública, así como reducir los costos de energía al mes. Para ello se plantea una forma de generación energética limpia, reduciendo la contaminación ambiental producida por las centrales eléctricas que producen dicha energía a través de la quema de combustibles fósiles, liberando dióxido de carbono y otros gases nocivos que contaminan el ambiente.

Durante el desarrollo de este proyecto; en el capítulo 1, se determina el planteamiento del problema, con los objetivos y alcances; en la siguiente sección se especifica la caracterización de los equipos disponibles en el gimnasio, en el cual se determinan cuáles son las máquinas más adecuadas para la integración del sistema de generación de energía eléctrica de manera no invasiva. Una vez determinado el modelo de la máquina del gimnasio, se seleccionó el sistema de alimentación para los equipos y elementos del gimnasio, tales como; el sistema de iluminación, el equipo de sonido y otras máquinas para hacer ejercicio.

A partir del sistema de almacenamiento, se hace el estudio del sistema de generación de energía, para determinar las necesidades y seleccionar un alternador de energía que satisfaga las necesidades del sistema.

Por último, se realiza el estudio económico y la viabilidad de este proyecto, mediante factores como la energía producida por los usuarios, los costos de energía ahorrados y el retorno de la inversión a lo largo del tiempo.

Palabras clave: Eficiencia energética, bicicleta estática, generadores.

## INTRODUCCIÓN

El calentamiento global ha tomado gran importancia en las últimas décadas, esto debido a la cantidad de gases de efecto invernadero que el ser humano emite a la atmósfera y que afectan los ecosistemas del planeta provocando el cambio climático y el aumento en el nivel del mar por consecuencia del derretimiento de los polos. Tales cambios son fruto de las grandes cantidades de gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera debido a las actividades humanas en el mundo, incluyendo en particular, la quema de combustibles de origen fósil para la generación de energía, calefacción y transporte [1].

Para reducir esta problemática se han planteado diferentes soluciones a través de los años como lo puede ser la generación energética mediante paneles solares, turbinas eólicas, biomasas, hidroeléctricas y además de estas, la reducción de consumo de energía, esto se puede llevar a cabo, a través de plantear una nueva forma de eficiencia energética, la cual se puede definir como el uso de menos energía para proporcionar el mismo bien o servicio. Por ejemplo, una luz fluorescente compacta (CFL) usa menos electricidad que una bombilla incandescente para producir la misma cantidad de luz [1].

Una de las formas de eficiencia energética que se puede encontrar es aprovechar la energía residual que genera una persona al trabajar en una bicicleta estática en el momento de realizar actividad física, esto se puede lograr mediante un generador de energía conectado al volante de inercia de la bicicleta estática que permita convertir esa energía residual en electricidad.

Esta solución puede ser una forma de ahorrar energía y por ende dinero en las grandes cadenas de gimnasios que pueden tener una gran cantidad de equipos en los cuales se puede hacer la implementación de un sistema capaz de generar energía al trabajar en dichos equipos.

Usando cálculos y análisis de ingeniería, mediante este trabajo de grado se buscará realizar un dispositivo capaz de convertir la energía residual de equipos de gimnasio, como bicicletas estáticas o elípticas, en energía eléctrica que pueda usarse para alimentar de energía eléctrica parte del gimnasio o en su totalidad según el alcance que se encuentre durante la investigación de este proyecto generando así un ahorro energético en las instalaciones además de una reducción del consumo de energía proveniente de la red local minimizando la demanda de dicha energía proveniente de fuentes no renovables.

# **1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

## **1.1. Planteamiento del problema**

Durante los últimos años, se ha presentado una escasez de energía mundial debido un incremento en el consumo energético por factores como, la pandemia de COVID-19, las tensiones políticas entre países, la hiperinflación y la escasez de recursos naturales, lo que lleva a buscar nuevas fuentes de generación de energía que ayuden a suplir la demanda energética.

Otra forma de contrarrestar la escasez energética es innovar en nuevas formas de eficiencia energética que permite usar menos energía en algunas tareas y que la energía ahorrada se use con otro fin de mayor relevancia para este fin se plantea el proyecto actual, que busca diseñar un sistema de producción y almacenamiento de energía eléctrica, a través de la transformación de energía motriz humana en equipo de gimnasio, el cual conlleva a la eficiencia de los recursos energéticos en el gimnasio donde se está ejecutando el proyecto.

## **1.2. Objetivo general**

Diseñar un sistema de producción y almacenamiento de energía eléctrica, a través de la transformación de energía motriz humana en equipo de gimnasio.

## **1.3. Objetivos específicos**

- Seleccionar el equipo de gimnasio donde se va a llevar a cabo el sistema de producción y almacenamiento de energía eléctrica.
- Diseñar el sistema de producción y almacenamiento de energía eléctrica en el equipo seleccionado.
- Adaptar el sistema de producción y almacenamiento de energía eléctrica en el equipo seleccionado.
- Realizar un estudio económico en función de la cantidad de energía que puede producir el dispositivo de acuerdo al número y al tipo de máquina en un gimnasio.

#### 1.4. Alcance

Este proyecto tiene como alcance el gimnasio del conjunto residencial Tenerife Alejandría, ubicado en la zona norte de la ciudad de Bogotá. Actualmente cuenta con los siguientes equipos:

- Bicicletas estáticas.
- Cintas de correr
- Elípticas.
- Máquinas de remo.
- Multifuncional.

El enfoque de este proyecto estará situado en una bicicleta estática mostrada en la figura 1.

**Figura 1.**  
*Bicicleta Estática*



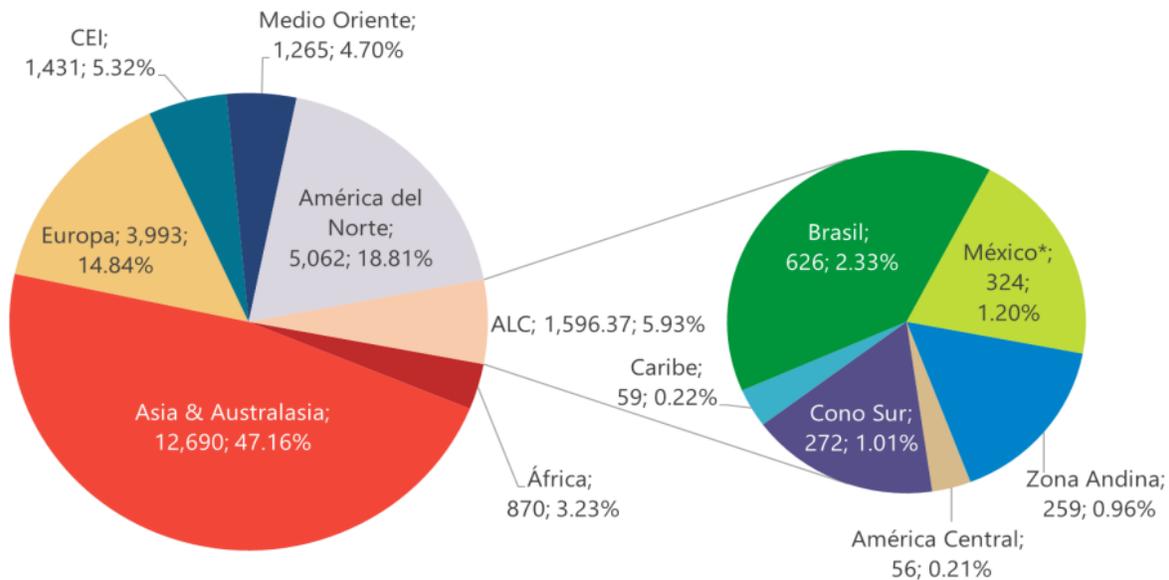
*Nota:* Bicicleta estática de estudio

#### 1.5. Generación de energía

En 2019 según la organización Latinoamericana de Energía (OLADE) la generación eléctrica en el mundo para el año 2019 fue de 26.908 tWh, un 1.3% más que el año 2018, y esta energía estuvo generado en distintas proporciones para cada continente como se muestra en la figura 2 [1].

**Figura 2.**

*Generación eléctrica mundial de 2019 por subregiones (TWh, %)*



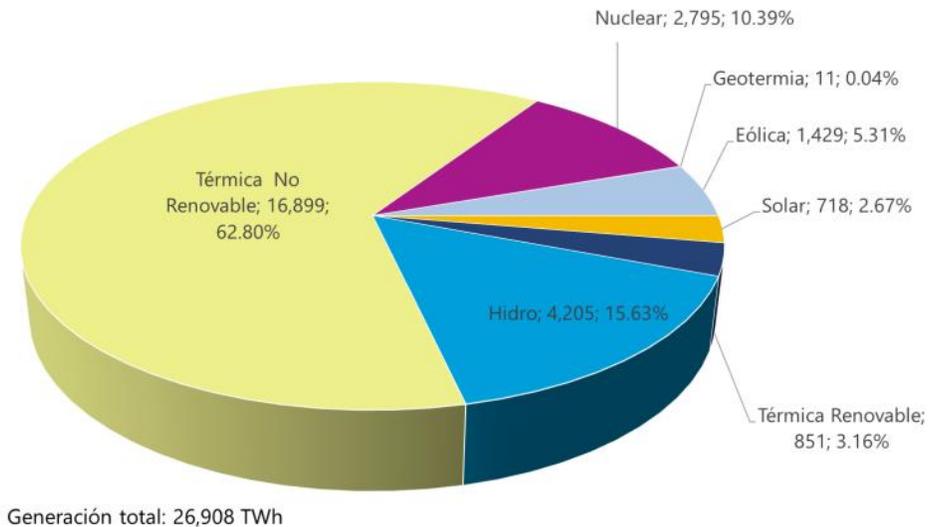
**Nota.** La gráfica muestra las proporciones de energía generada por cada continente. Tomado de: OLADE. “Generación eléctrica mundial y para América Latina y el Caribe (ALC) y su impacto en el sector energético por la pandemia producida por el COVID – 19”, [El Línea]. Disponible: <https://sielac.olade.org/> [Acceso: marzo. 24,2022].

Además, sigue siendo dominante en el mundo la forma de generación mediante fuentes no renovables como los son los combustibles fósiles como los son el diésel y fuel oil, seguido de la energía proveniente de centrales hidroeléctricas y centrales nucleares como se muestra en la figura 3.

Esto lleva a pensar en nuevas formas de generación energética que permita diversificar en mayor medida las fuentes de generación energética evitando así la dependencia al uso de combustibles fósiles nocivos para el medio ambiente.

**Figura 3.**

*Generación eléctrica mundial 2019 por fuentes de energía (TWh, %)*



*Nota.* La gráfica muestra las fuentes de energía a nivel mundial. Tomado de: OLADE. “Generación eléctrica mundial y para América Latina y el Caribe (ALC) y su impacto en el sector energético por la pandemia producida por el COVID – 19”, [El Línea]. Disponible: <https://sielac.olade.org/> [Acceso: marzo. 24,2022].

### 1.6. Formas de generación de energía en Colombia

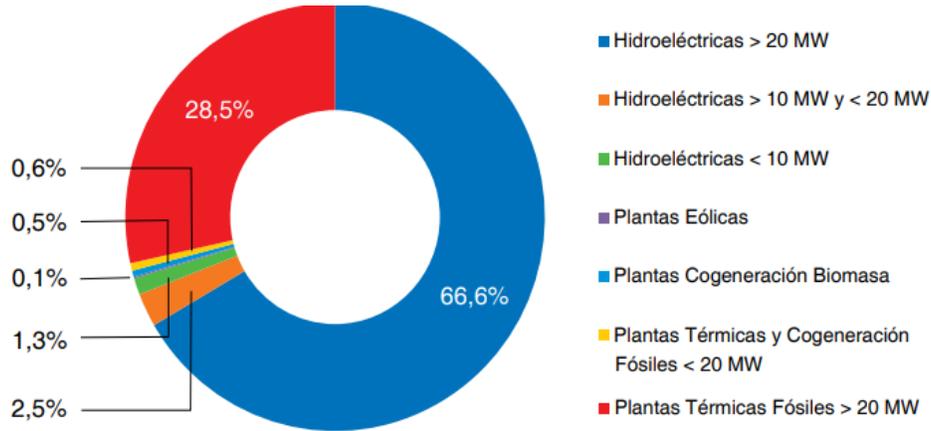
En Colombia el 66,6% aproximadamente de sus fuentes de energías son provenientes de hidroeléctricas, siendo la forma de energía más representativa en el país, sin embargo; sigue existiendo un 28,5% de energía proveniente de la quema de combustibles fósiles como el carbón para cubrir la demanda del país [2].

También se usa la quema de estos combustibles para la producción de energía ya que algunos lugares del país no cuentan con fuentes hídricas o en épocas de sequía no tienen la capacidad hídrica para generar la energía suficiente, en la siguiente gráfica se muestran las principales fuentes de energía en Colombia.

Los porcentajes discriminados anteriormente, se pueden reflejar en la figura 4, el cual describe la capacidad de generación de energía en Colombia durante los últimos años [2].

**Figura 4.**

*Capacidad energética en Colombia*



**Nota:** El gráfico muestra los porcentajes de participación de los tipos de generación de energía en Colombia para el año 2014. Tomado de: Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. “Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia”. 2015.

### 1.7. Antecedentes

D’ Agostino [3], planteó como objetivo determinar la factibilidad de aprovechar la energía cinética generada durante una actividad física como lo es el Indoor cycling, transformando esta energía en electricidad, reduciendo la dependencia a la red eléctrica y los costos operativos. A lo largo del documento, el autor plantea el diseño de un sistema que permita generar electricidad a partir de una fuente renovable, en este caso la energía cinética desperdiciada en el momento de realizar sesiones de indoor cycling, con el fin de contribuir al medio ambiente, disminuyendo los costos de la energía y reduciendo la dependencia de la red eléctrica en Córdoba, Argentina [3].

Este documento tiene relación con el presente trabajo de grado, ya que se busca encontrar una nueva forma de generación de energía más eficiente y amigable con el medio ambiente, basado en la bicicleta estática de gimnasio como principal herramienta para atacar la problemática de dependencia de la red eléctrica pública, con este documento se pretende analizar y comparar la

metodología planteada y los resultados obtenidos en las pruebas del sistema de generación de energía a través del aprovechamiento de la energía residual obtenida al realizar actividad física.

## 2. CONCEPTUALIZACIÓN Y PARÁMETROS DE LOS EQUIPOS DEL GIMNASIO

### 2.1. Equipos de gimnasio

En los gimnasios se pueden encontrar diferentes tipos de maquinaria que permite ejercitar de manera precisa las áreas en las cuales el usuario se quiera enfocar, sin embargo; se puede dividir las máquinas de ejercicios en dos grandes grupos, las máquinas para entrenamiento aeróbico y las máquinas para musculación [4].

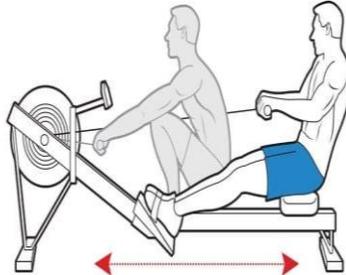
#### 2.1.1. *Máquina de entrenamiento aeróbico*

Las máquinas de entrenamiento aeróbico son todas aquellas en las cuales, el enfoque es el sistema cardiovascular [4]. Estas máquinas funcionan bajo el principio de un trabajo constante, donde puede variar la intensidad y velocidad con el cual este se efectúa. Dentro de esta categoría se encuentran las máquinas de remo, las máquinas elípticas, la bicicleta estática, la cinta de correr y la escaladora [5].

- **Máquina de remo.** La máquina de remar es una de las herramientas para el ejercicio del tren motriz superior e inferior más importantes de la industria. Esta cuenta con un sistema de riel y corredera, la cual posee un asiento sobre el cual el usuario se sentará y se moverá de manera independiente sobre el riel, este sistema permite el deslizamiento con mínima resistencia enfocando el ejercicio en el sistema de polea a tracción, donde, mediante el estiramiento de una polea o cuerda, se mueve un eje sobre el cual está montada una resistencia tanto hidráulica, neumática o magnética (figura 5).

**Figura 5.**

*Principio de funcionamiento de una máquina de remo para gimnasio*



**Nota.** La figura presenta el principio de funcionamiento de una máquina de remo para gimnasio. Tomado de Entrenamientos.com.

“Tonificación máquinas”, [En línea].

<https://www.entrenamientos.com/entrenamientos/tonificacion-maquinas/6536>

[Acceso: Jun. 05, 2022]

- **Máquinas elípticas.** Las máquinas elípticas son máquinas de Fitness que combinan el movimiento típico de montar en bicicleta con un movimiento al estilo Nordic Walking con bastones [5]. Se lleva a cabo sobre dos apoyos planos que actúan como reposapiés y que te dan sensación de andar sobre el aire, la energía del pedaleo en conjunto con la extensión y retracción del manillar, se transforma en un movimiento rotacional (figura 6).

**Figura 6.**

*Principio de funcionamiento de una máquina elíptica para gimnasio.*



**Nota.** La figura representa el principio de funcionamiento de una máquina elíptica para gimnasio. Tomado de Entrenamientos.com. “Tonificación máquinas”, [En línea]. <https://www.entrenamientos.com/entrenamientos/tonificacion-maquinas/6536> [Acceso: Jun. 05, 2022]

- **Bicicletas estáticas.** Las bicicletas estáticas estacionarias son aparatos de gimnasio que permiten emular la práctica de ciclismo, esto es gracias al sistema acoplado de volante de inercia en conjunto con un freno que opera de menor a mayor resistencia, esto con el fin de ofrecer la sensación de resistencia que se podría experimentar (figura 7).

**Figura 7.**

*Principio de funcionamiento de una bicicleta estática para gimnasio.*



**Nota.** La figura representa el principio de funcionamiento de una bicicleta estática para gimnasio. Tomado de Entrenamientos.com. “Tonificación máquinas”, [En línea]. <https://www.entrenamientos.com/entrenamientos/tonificacion-maquinas/6536> [Acceso: Jun. 05, 2022]

- **Cinta de correr.** Las cintas de correr son máquinas de entrenamiento físico que funcionan bien sea a través de una propulsión eléctrica o un movimiento manual, y tienen como función principal trotar sin moverse de un mismo sitio (figura 8).

**Figura 8.**

*Principio de funcionamiento de una cinta de correr para gimnasio.*



**Nota.** La figura representa el principio de funcionamiento de una cinta de correr para gimnasio. Tomado de Entrenamientos.com. “Tonificación máquinas”, [En línea]. <https://www.entrenamientos.com/entrenamientos/tonificacion-maquinas/6536> [Acceso: Jun. 05, 2022]

- **Escaladoras.** Las máquinas escaladoras son artefactos que reciben su nombre por el movimiento que producen en los usuarios [6]. Esta cuenta con un sistema de banda inclinada sobre la cual se alojan los escalones parecido a las escaleras eléctricas. (figura 9).

### **Figura 9.**

*Principio de funcionamiento de una máquina escaladora para gimnasio.*



*Nota.* La figura representa el principio de funcionamiento de una máquina escaladora para gimnasio. Tomado de Entrenamientos.com. “Tonificación máquinas”, [En línea].

<https://www.entrenamientos.com/entrenamientos/tonificacion-maquinas/6536>

[Acceso: Jun. 05, 2022]

#### **2.1.2. Máquinas de musculación**

Las máquinas de musculación son todas aquellas que tienen como objetivo el desarrollo del sistema muscular, ya sea en términos de resistencia, fuerza o hipertrofia (crecimiento del músculo) [4]. Dentro de este grupo se encuentran: las máquinas de placas, máquinas de palancas, máquinas multifunción, racks y multipower, bancos y estaciones multifuncionales.

#### **2.2. Caracterización y selección de equipos de gimnasio**

Para el desarrollo de este proyecto, se realiza la caracterización de los equipos que se encuentran disponibles en el gimnasio. Es clave tener en cuenta que la máquina que se escoja no deberá ser alterada ni modificada, pues es propiedad privada.

Una vez se tiene claro el anterior parámetro se procede a analizar cuál de los sistemas es el más adecuado para realizar la adaptación, para ello en la Tabla 1, se especifica las características principales de los equipos del gimnasio donde se ejecutará el proyecto.

**Tabla 1.**

*Caracterización de los equipos que se encuentran disponibles en el gimnasio.*

Máquina	Imagen	Análisis	Viabilidad
Bicicleta Spinning Titanium Evolution		<p>Pros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Volante de inercia expuesto</li> <li>- Estructura del marco con pilares</li> <li>- Eficiencia del 90% en la conversión de un pedaleo en energía cinética</li> </ul> <p>Cons:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de transmisión mediante polea con difícil acceso</li> </ul>	Viable de acuerdo a las características del equipo, teniendo en cuenta que las adaptaciones se realizan de forma no invasiva.
Bicicleta Spinning Evo S2		<p>Pros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Volante de inercia expuesto</li> <li>- Eficiencia del 90% en la conversión de un pedaleo en energía cinética</li> </ul> <p>Cons:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura del marco sin pilares</li> <li>- Sistema de transmisión mediante polea con difícil acceso</li> </ul>	No es viable dado que se requiere realizar modificaciones al diseño del equipo para el proceso de instalación del sistema.
Bicicleta Recumbent R60 Sportop		<p>Pros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eficiencia del 90% en la conversión de un pedaleo en energía cinética</li> </ul> <p>Cons:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- No cuenta con volante expuesta</li> <li>- Marco de la estructura sin pilares</li> <li>- Sistema de transmisión por polea</li> </ul>	No es viable dado que se requiere realizar modificaciones al diseño del equipo para el proceso de instalación del sistema.

Remo RW200 NordicTrack		<p>Pros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema sencillo de polea</li> <li>- Resistencia con ventilador cilíndrico</li> </ul> <p>Cons:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema cerrado</li> <li>- Marco de la estructura simple</li> </ul>	No es viable dado que se requiere realizar modificaciones al diseño del equipo para el proceso de instalación del sistema.
Elíptica Trainer E5500 Evolution		<p>Pros:</p> <p>Cons:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Volante de inercia no expuesto</li> <li>- Sistema cerrado</li> <li>- El mecanismo de los brazos anclados al volante de inercia puede generar restricciones en el diseño</li> </ul>	No es viable dado que se requiere realizar modificaciones al diseño del equipo para el proceso de instalación del sistema.
Multigimnasio Evo 4000 Evolution		<p>Pros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reúne varios principios de funcionamiento en una sola máquina</li> <li>- Principio de poleas</li> </ul> <p>Cons:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de poleas compleja y compartida</li> <li>- Estructura cerrada con pocos puntos disponibles para su modificación</li> <li>- Las guayas con las cuales se compone el sistema de poleas suele romperse con frecuencia, en caso de no estar afinada la máquina</li> </ul>	No es viable dado que se requiere realizar modificaciones al diseño del equipo para el proceso de instalación del sistema.

**Nota.** Características y viabilidad de los equipos de ejercicio presentes en el gimnasio.

Se determinó que la bicicleta estática Spinning Titanium Evolution, es el modelo adecuado, puesto que, su diseño simple, permite interactuar con los elementos necesarios para la transmisión de la energía, en este caso, su volante de inercia expuesto abre la posibilidad de integrar un sistema a partir de ruedas de fricción. Otro punto a tener en cuenta, es el diseño de su

estructura, dado a la simplicidad con la que esta cuenta, permite una mayor cantidad de opciones en el diseño del soporte.

De igual manera es ideal determinar el comportamiento en el uso de la máquina de estudio, puesto que, se requerirá de la interacción con los usuarios para que el sistema satisfaga las necesidades energéticas. Este estudio se realiza con una muestra de la población que hace uso de las instalaciones del gimnasio y que trabaja con la bicicleta estática mostrada en la figura 10.

### 2.3. Generalidades de la bicicleta estática

**Figura 10.**  
*Bicicleta estática*



**Nota:** Bicicleta estática de estudio

La bicicleta estática Spinning Titanium Evolution (figura 10) es un producto comercial de la marca Evolution Fitness Corporation S.A.S. En la página oficial se puede encontrar el valor comercial de esta máquina el cual es de \$1.435.650 pesos colombianos [7]. Según el fabricante, esta máquina cuenta con las características mostradas en la tabla 2.

**Tabla 2.**

*Especificaciones de la bicicleta estática Spinning Titanium Evolution.*

Descripción	Especificaciones
Peso del volante [kg]	13
Sistema de transmisión	Banda
Sistema de resistencia	Manual por perilla
Porta botella	Si
Ruedas de desplazamiento	Si
Protector de banda	Si
Straps sujetadores en los pedales	Si
Biela	De 3 piezas
Largo [cm]	107
Alto [cm]	115
Ancho [cm]	51
Peso máximo del usuario [kg]	120

**Nota.** Características de la bicicleta estática Spinning Titanium Evolution. Tomado de: “Bicicleta Spinning Titanium Evolution”, *Evolution Fitness*. [En línea]. Disponible en: <https://www.evolutionfitness.co/categorias/1-bicicletas/26-bicicleta-spinning-titanium-evolution>. [Acceso: 01-jun-2022].

Estas características permiten identificar los componentes que conforman la bicicleta estática y como estos toman una gran importancia a la hora de diseñar el sistema de generación que será acoplado. En el caso del sistema de transmisión, el cual, es de banda se presentan puntos delicados que pueden verse afectados por las cargas aplicadas en la transmisión de la energía al generador. De igual manera, el dimensionamiento de esta bicicleta se debe respetar en la mayor medida para que siga siendo ideal para los espacios que fue diseñada. Por último, el sistema de

resistencia y freno que ofrece la bicicleta debe ser identificado como un factor importante que se respete, como elemento de seguridad.

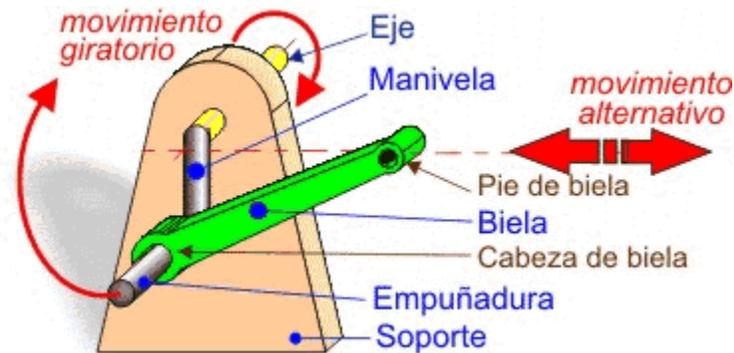
### **2.3.1. Principio de funcionamiento**

La bicicleta estática, al igual que su predecesora, es una máquina compuesta por varios mecanismos, los cuales, permiten la transformación de la energía mecánica y su transmisión hasta las ruedas motrices, (en este caso el volante de inercia). Es necesario entender el comportamiento de cada uno de estos sistemas integrados en las bicicletas, dado que, en la transmisión y transformación de energía mecánica se presentan pérdidas de energía.

Al igual que una bicicleta urbana, la bicicleta estática comparte en su mayoría los mismos componentes que el medio de transporte urbano.

2.3.1.a. Mecanismo biela manivela. El sistema de biela-manivela consta de una manivela, un soporte y una biela, cuyo extremo está conectado en el eje excéntrico de la manivela [8]. Este es uno de los sistemas, de los cuales, se pueden determinar cómo reversibles, por lo tanto, también puede transformar un movimiento circular en un movimiento rectilíneo como se muestra en la figura 11 [9].

**Figura 11.**  
*Principio de funcionamiento del sistema de biela-manivela.*



**Nota.** La figura representa el principio de funcionamiento del sistema de biela-manivela. Tomado de: “Mecanismo biela-manivela”, *Iesmareostrum.com*. [En línea]. Disponible en: [https://www.iesmareostrum.com/departamentos/tecnologia/mecanismo/mecanica\\_basica/mecanismos/mec\\_biela-manivela.htm](https://www.iesmareostrum.com/departamentos/tecnologia/mecanismo/mecanica_basica/mecanismos/mec_biela-manivela.htm). [Consultado: 02-jun-2022]

Los puntos claves para interpretar un sistema en la bicicleta estática, son:

- La biela hace referencia a la extremidad del usuario en cuestión, este, ejerce una fuerza sobre los pedales los cuales están ubicados en el eje excéntrico de la manivela.
- La manivela corresponde al sistema conformado por los pedales y el plato de velocidades, donde, su eje de rotación será el pedal o eje de centro.

A continuación, la Figura 12 muestra el principio de funcionamiento en la bicicleta estática, en la cual se está diseñando el sistema de almacenamiento y producción de energía.

**Figura 12.**  
*Principio de funcionamiento bicicleta estática*



**Nota.** La figura representa el principio de funcionamiento de bicicleta estática. Principio de funcionamiento de la bicicleta estática en estudio

2.3.1.b. Transmisión por correa dentada. En este caso la bicicleta estática de estudio cuenta con una transmisión por correa dentada. Los sistemas de transmisión son todos aquellos sistemas que transmiten energía mecánica entre uno o varios elementos de trabajo que conforman el mecanismo. Estos cuentan con la capacidad de transformar velocidades, fuerzas o momentos [10].

La transmisión por correa es uno de los principales sistemas de transmisión, empleado en máquinas. Este sistema en la bicicleta estática está compuesto por un par de poleas y una única correa dentada, según el fabricante como se muestra en la figura 13. Se caracteriza por ser un sistema de transmisión que requiere de un bajo nivel de mantenimiento, un fácil ensamble y un bajo costo de producción [11].

**Figura 13.**  
*Sistema de transmisión por correa dentada*



**Nota.** La figura representa el sistema de transmisión por correa dentada. Tomado de: C. Ruiz, “Transmisión por correas,” *cesarruiz.webnode.com*, 03-Jan-2011. [Online].  
Available: [https://cesarruiz.webnode.com.co/\\_files/200000095-1e5b7204f2/TransmisionPorCorreas.pdf](https://cesarruiz.webnode.com.co/_files/200000095-1e5b7204f2/TransmisionPorCorreas.pdf).

### **2.3.2. Relación de velocidad**

La relación de velocidad está determinada por el tamaño de las poleas del sistema de transmisión, donde la polea conductora tiene un diámetro de 260 milímetros, esta polea está ensamblada al pedal o eje de centro. Por otro lado, la polea conducida se encuentra acoplada al volante de inercia y tiene un diámetro de 67,5 milímetros. Una vez determinados los diámetros, se procede a calcular la relación de velocidades con la cual fue diseñada la bicicleta estática.

La relación de transmisión se puede determinar mediante la relación entre el diámetro de la polea de entrada (o también llamada conductora) entre el diámetro de la polea de salida (o también llamada conducida).

**Ecuación 1.**  
*Relación de transmisión*

$$i = \frac{d_{\text{conductor}}}{d_{\text{conducida}}}$$

Dónde:

$i$  = *relación de transmisión*

$d_{conductor} = \text{diámetro de la polea conductora [mm]}$   $d_{conducido} =$   
 $\text{diámetro de la polea conducida [mm]}$

$$i = \frac{260mm}{67,5mm} = 3,8518$$

*Nota.* Ecuación para determinar la relación de transmisión. Tomado de: A. J. D. Agostino, *Diseño de producto: Generación de energía eléctrica a partir de bicicletas fijas de indoor.*, Córdoba, Argentina: Facultad de ciencias exactas, Universidad nacional de Córdoba, 2014.

La relación de transmisión con la cual fue diseñada la bicicleta estática es de 3,85; con lo cual, por cada pedaleo que realice el usuario en la bicicleta, el volante de inercia girará 3,85 veces en el mismo sentido.

#### **2.4. Adecuaciones de la bicicleta**

Para poder integrar el diseño del mecanismo no son necesarias las modificaciones a la bicicleta estática, de manera paralela a los objetivos propuestos, se diseña el sistema de acople sobre el cual se sostendrá el dinamo, de manera que no sea invasivo, es decir, no requiere del desensamble de la máquina o de su modificación.

### **3. SELECCIÓN DE GENERADOR DE ENERGÍA**

Una vez analizado el funcionamiento de los equipos y la selección de la bicicleta estática para el análisis propuesto, se procede a realizar un análisis de la demanda energética, con el fin de poder determinar las especificaciones de la batería que almacenará la energía transformada, de igual manera es indispensable determinar en base a las características de la batería el generador de energía necesario para un óptimo funcionamiento.

#### **3.1. Demanda energética**

Se plantea inicialmente una demanda energética, la cual se busca suplir con el sistema a diseñar. El gimnasio de estudio cuenta con 16 bombillas de iluminación LED con una potencia de 5 watts cada una, las cuales, se distribuyen a lo largo de las instalaciones. Para fines prácticos se toma como demanda energética a la cantidad de energía requerida para poder mantener las instalaciones iluminadas durante sus horarios de funcionamiento. Es necesario tener en cuenta este planteamiento, el cual, determinará la cantidad de energía mínima necesaria para poder considerar de este proyecto una propuesta viable a las energías renovables.

Para determinar la demanda de energía se requieren de conceptos tales como el coeficiente de potencia, el coeficiente de utilización y potencia total, estos tres parámetros determinan la demanda promedio de energía, en este caso, de todo el sistema de iluminación de las instalaciones.

Se denomina coeficiente de potencia a la relación entre la potencia instantánea promedio que demanda el equipo y la potencia máxima del equipo en cuestión, este determina la cantidad de corriente ciega (corriente que no es usada por el dispositivo, dado sus características y es devuelta al circuito) [12]. En el caso del tipo de la bombilla que se encuentra en las instalaciones, se observa que es una bombilla de luz led referencia Spot Led GU10 de 5W de la marca ecolite [13]. Según la ficha técnica que provee el fabricante se determinan sus características en la figura 14.

**Figura 14.**

*Especificaciones técnicas del modelo de las luminarias presentes en las instalaciones.*



**Nota.** La figura representa las especificaciones técnicas del modelo de las luminarias presentes en las instalaciones. Tomado de: *Panel de luz LED Colombia.* (s/f). Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://ecolite.com.co/productos/spot-led-gu10-ecolite-5w-lbgu105w-p166/>

El coeficiente de utilización determina, el porcentaje de tiempo que es usado el sistema de iluminación. Las instalaciones del gimnasio en cuestión cuenta con dos horarios durante el día; de lunes a viernes los horarios son desde las 5 de la mañana hasta las 9 de la mañana, y desde las 5 de la tarde hasta las 9 de la noche, con lo cual cada día de lunes a viernes el gimnasio opera 8 horas diarias; de sábado a domingo el gimnasio únicamente opera en un solo horario de la mañana, desde las 7:00 am hasta las 10:00 am. Teniendo en cuenta estos datos, se determina que en su uso cotidiano, el sistema de iluminación es usado antes de amanecer y después de atardecer. En la ciudad de Bogotá la hora en que amanece es 5:42 de la mañana y la hora en que llega la puesta de sol es a las 6:07 de la tarde. Estableciendo que el uso de las luces diariamente fluctúa se establece el uso desde las 5 de la mañana hasta las 7 de la mañana y de las 6 de la tarde hasta las 9 de la noche. El uso combinado de ambos horarios es de 5 horas diarias entre semana. Una vez establecido, se procede a realizar el cálculo donde:

### **Ecuación 2.**

*Coefficiente de utilización*

$$C_u = \frac{H_u}{H_d} = \frac{5 \text{ horas}}{24 \text{ horas}} \approx 0,208333$$

$C_u$  = *Coefficiente de utilización*

$H_u$  = *Horas de utilización [horas]*

$H_d$  = *Horas del día [horas]*

**Nota.** Ecuación para determinar el coeficiente de utilización. Tomado de: A. J. D. Agostino, *Diseño de producto: Generación de energía eléctrica a partir de bicicletas fijas de indoor.*, Córdoba, Argentina: Facultad de ciencias exactas, Universidad nacional de Córdoba, 2014.

La potencia total es la potencia usada por todas las bombillas en el sistema lumínico. Este se determina mediante el producto de la potencia del modelo de la bombilla por la cantidad de bombillas presentes.

### **Ecuación 3.**

*Potencia total de las bombillas*

$$w_{total} = w_{bombillas} * n_{bombillas}$$
$$w_{total} = 5W * 16 \text{ bombillas} = 80W$$

$w_{total}$  = *Potencia total [W]*

$w_{bombillas}$  = *Potencia de la bombilla [W]*

$n_{bombillas}$  = *Número de bombillas*

**Nota.** Ecuación para calcular la potencia total. Tomado de: A. J. D. Agostino, *Diseño de producto: Generación de energía eléctrica a partir de bicicletas fijas de indoor.*, Córdoba, Argentina: Facultad de ciencias exactas, Universidad nacional de Córdoba, 2014.

Una vez determinado la potencia total y los anteriores coeficientes, se determina la demanda promedio, mediante el producto de estas tres variables como se muestra en la ecuación 4.

#### **Ecuación 4.**

*Demanda promedio*

$$D_p = w_{total} * C_u * C_p$$

$$D_p = 80W * 0,208333 * 0,9 = 15W$$

$D_p =$  Demanda promedio [W]

$w_{total} =$  Potencia total [W]

$C_u =$  Coeficiente de utilización

$C_p =$  Coeficiente de potencia

**Nota.** Ecuación para el cálculo de la demanda promedio. Tomado de: A. J. D. Agostino, *Diseño de producto: Generación de energía eléctrica a partir de bicicletas fijas de indoor.*, Córdoba, Argentina: Facultad de ciencias exactas, Universidad nacional de Córdoba, 2014.

Una vez determinada la demanda promedio se determina la demanda diaria mediante la multiplicación promedio y las horas del día.

#### **Ecuación 5.**

*Demanda diaria de potencia*

$$D_d = D_p * 24 \text{ horas}$$

$$PD_d = 15W * 24 \text{ horas} = 360 Wh$$

$PD_d =$  Potencia demanda diaria [Wh]

**Nota.** Ecuación para el cálculo de la potencia demanda promedio. Tomado de: A. J. D. Agostino, *Diseño de producto: Generación de energía eléctrica a partir de bicicletas fijas de indoor.*, Córdoba, Argentina: Facultad de ciencias exactas, Universidad nacional de Córdoba, 2014.

Una vez la potencia diaria es determinada, se calcula la corriente demandada diaria mediante la relación entre la potencia y el voltaje que suministra el sistema de almacenamiento, en este caso, es una batería de automóvil de 12 voltios, la cual es seleccionada en el apartado 3.2. Sistema de almacenamiento, en este documento.

**Ecuación 6.**

*Demanda diaria de corriente*

$$CD_d = \frac{PD_p}{12 V}$$

$$CD_d = \frac{360 Wh}{12 V} = 30 Ah$$

$CD_d =$  Corriente demanda diaria [Ah]

**Nota.** Cálculo de la corriente demandada diaria. Tomado de: A. J. D. Agostino, *Diseño de producto: Generación de energía eléctrica a partir de bicicletas fijas de indoor.*, Córdoba, Argentina: Facultad de ciencias exactas, Universidad nacional de Córdoba, 2014.

Para determinar cuál ha sido el ahorro en los costos se determina el consumo promedio de las instalaciones durante un mes hábil con condiciones normales y un uso estandarizado. El uso ponderado del sistema de iluminación durante un mes representa un consumo de 9 kWh. Este dato es calculado con la potencia total multiplicada por el tiempo de uso en horas durante todo el mes como se muestra en la ecuación 7.

**Ecuación 7.**

*Demanda de potencia ponderada*

$PD_p =$  Potencia demanda ponderada [kWh]

$$PD_p = PD_d * 25 \text{ días hábiles}$$

$$PD_p = 360 W * 25 \text{ días hábiles} = 9000 Wh$$

$$PD_p = 9000 Wh = 9 kWh$$

**Nota.** Cálculo de la corriente demandada diaria. Tomado de: A. J. D. Agostino, *Diseño de producto: Generación de energía eléctrica a partir de bicicletas fijas de indoor.*, Córdoba, Argentina: Facultad de ciencias exactas, Universidad nacional de Córdoba, 2014.

## **3.2. Sistema de almacenamiento de energía**

Los sistemas de almacenamiento de energía (SAE) son todos aquellos sistemas, los cuales, permiten guardar la energía para su posterior utilización [14]. Estos sistemas permiten almacenar la energía renovable restante, para su distribución en los momentos que lo requiera o haya una baja producción.

### ***3.2.1. Tipos de métodos de almacenamiento de energía***

Existen diversos tipos métodos de almacenamiento, los cuales han evolucionado de manera veloz en los últimos años, gracias a la popularidad e importancia que han recibido las energías renovables. Estos se categorizan en base a su principio de funcionamiento.

- Químico
- Biológico
- Electroquímico
- Eléctrico
- Mecánico
- Térmico
- Temporal

### ***3.2.2. Selección del sistema de almacenamiento de energía***

Dentro de la selección del sistema de almacenamiento se determinan las características que son esenciales para el sistema en cuestión. Se toman dos factores externos, los cuales juegan un papel importante en la selección, estos factores son sociales y económicos. Este proyecto no está patrocinado por ninguna entidad tanto pública como privada, los costos de los materiales y las herramientas necesarias son abordados por los autores de este documento, de igual manera, al estar en la ciudad de Bogotá, son pocas las diversas opciones de los sistemas de almacenamiento anteriormente mencionados. Por otro lado, los contactos y acercamientos a empresas relacionadas a la reparación de automóviles, hacen que los componentes de esta industria sean de menor costo y de mayor accesibilidad.

Una vez determinado el presupuesto y las opciones disponibles por los distribuidores, se decide utilizar un sistema de almacenamiento electroquímico, los cuales están conformados por baterías. Las baterías del sector automotriz, son ideales para este propósito, dado que pueden cumplir con los requerimientos energéticos necesarios para el funcionamiento del sistema. Si bien es necesario cumplir con los requerimientos, es ideal tomar en cuenta, las variables en el uso de la bicicleta estática, en la variación de la generación de energía eléctrica y el tiempo de uso del sistema de iluminación.

### **3.2.3. *Caracterización de la batería***

La batería de elección es una batería de automóvil dadas sus características en la tabla 3, pues satisface las necesidades energéticas que se requieren para alimentar las instalaciones del gimnasio.

**Tabla 3.***Características de la batería Chevy Parts*

<b>Característica</b>	<b>Unid.</b>
Capacidad de reserva [Min]	96
Corriente [A]	850
Voltaje [V]	12
Capacidad del acumulador [Ah]	50
Arranque en frío [mA]	550
Alto [cm]	20,3
Ancho [cm]	17
Largo [cm]	25,9
Peso [kg]	14,64

**Nota.** A pesar de no contar con un catálogo propio, las especificaciones de la batería fueron tomadas de otros fabricantes con un modelo similar. Tomado de: Macbaterias.com. Recuperado el 6 de junio de 2022, de [https://macbaterias.com/wp-content/uploads/2020/07/catalogo\\_mac\\_2020.pdf](https://macbaterias.com/wp-content/uploads/2020/07/catalogo_mac_2020.pdf)

Esta batería cuenta con un alto nivel de intensidad, lo cual permite satisfacer las necesidades de los 30 Ah necesarios en las luces con un margen de 20 Ah excedente.

Las características anteriormente mencionadas expresan las capacidades de la batería, las cuales tienen que alinearse de manera que satisfagan las necesidades planteadas. En el caso del amperaje, determina la corriente que está disponible con una carga; el voltaje de esta batería toma un papel importante como el valor al cual puede alimentar un sistema y ser recargada. Las medidas de esta permiten identificar cuál es la mejor manera de optimizar el espacio que esta toma en el sistema integrado.

### **3.3. Generadores de energía**

Los generadores de energía son máquinas eléctricas, las cuales poseen la capacidad de rotar, transformando la energía mecánica en electricidad [15]. Estas máquinas cuentan con dos partes principales, el estator y el rotor. Estas dos partes interactúan bajo el principio de inducción eléctrica, el cual se sustenta sobre la ley de Faraday-Lenz.

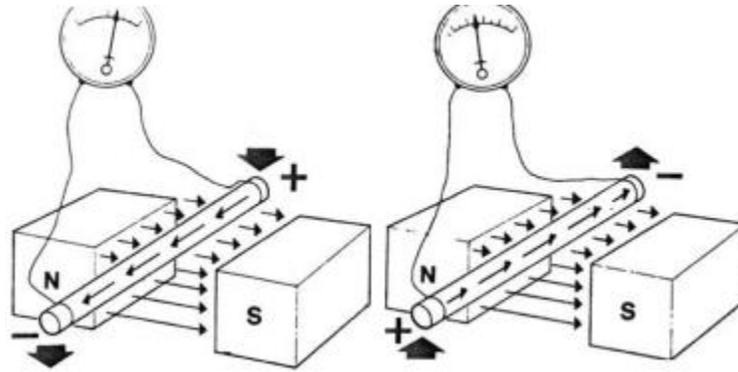
#### **3.3.1. Principio de funcionamiento**

El principio de funcionamiento de este mecanismo está basado en el fundamento de la inducción electromagnética, donde, una corriente eléctrica es formada por una serie de campos magnéticos variando a lo largo del tiempo. La ley de Faraday establece que el voltaje que es inducido a un circuito cerrado es directamente proporcional al cambio del flujo magnético en un conductor o espira [15].

Cuando un conductor en movimiento atraviesa un campo magnético, se produce un diferencial de potencia en sus extremos como se muestra en la figura 15, esto es debido a que las líneas de fuerza del campo magnético cortan de manera perpendicular al conductor en cuestión.

**Figura 15.**

*Representación gráfica de la formación de un diferencial energético dado el paso de un campo magnético a través de un conductor*

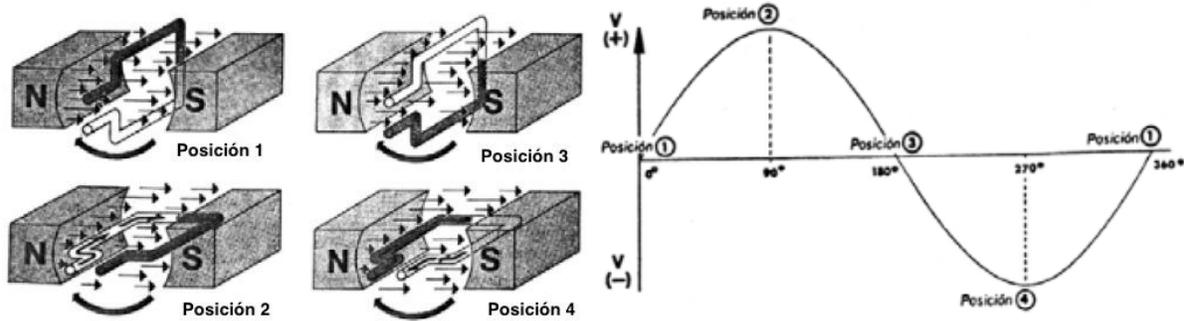


**Nota.** La figura muestra la representación gráfica de la formación de un diferencial energético dado el paso de un campo magnético a través de un conductor. Tomado de: D'agostino, A. J. F. (2014). *Diseño de Producto: Generación de Energía Eléctrica a Partir de Bicicletas Fijas de Indoor*. Escuela de ingeniería industrial.

Dado a la formación del diferencial de voltaje, al conectar ambos extremos a un circuito eléctrico, se produce una circulación de corriente eléctrica. En la figura 16 se observa como el sentido de la corriente varía en base a la dirección del conductor dentro del campo magnético. Al rotar 360° se observar cómo se forma una onda sinusoidal [3].

**Figura 16.**

*Señales de salida de un alternador cuando su espiral se encuentra en diferentes posiciones*

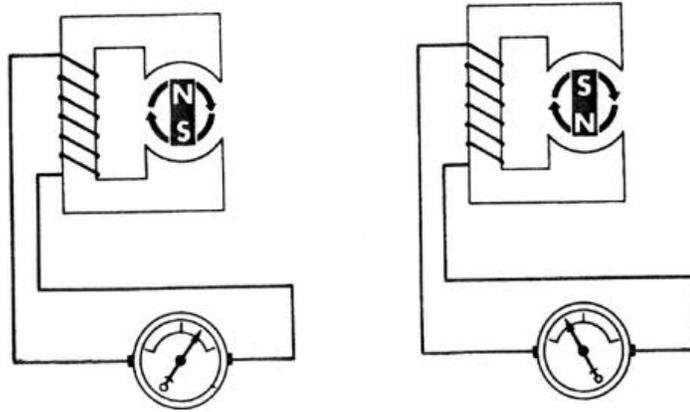


**Nota.** La figura presenta las señales de salida de un alternador cuando su espiral se encuentra en diferentes posiciones. Tomado de: *Manual DE taller alternadores.* (s/f). Docplayer.Es. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://docplayer.es/8935872-Manual-de-taller-alternadores.html>

En las anteriores ilustraciones se observa el inductor en una posición fija, sin embargo, en el caso que se quiera revertir el funcionamiento es posible, dejando fijo el sistema inducido y rotando  $360^\circ$  el inductor como se muestra en la figura 17.

**Figura 17.**

*Señales de salida del alternador con el inductor en rotación.*



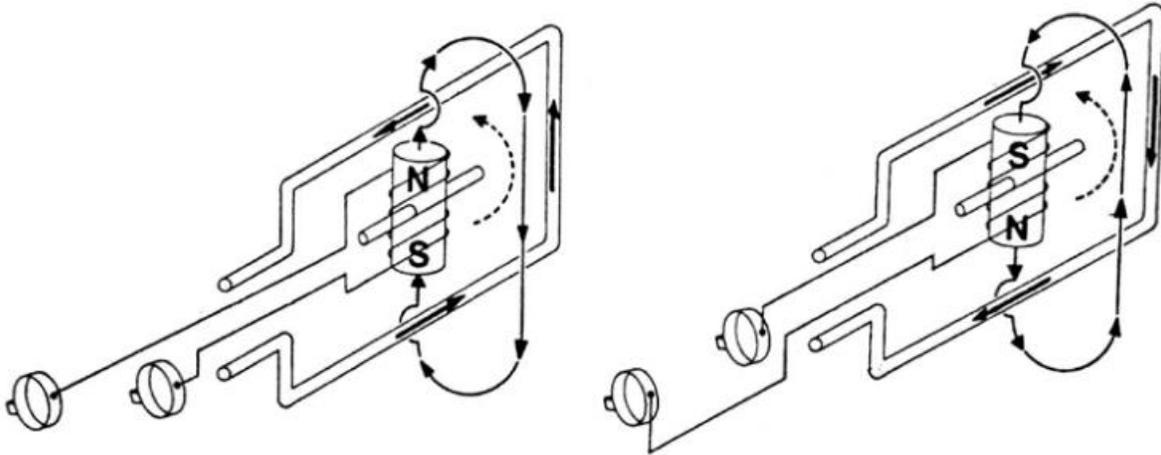
**Nota.** La figura presenta las señales de salida del alternador con el inductor en rotación. Tomado de: *Manual DE taller alternadores.* (s/f). Docplayer.Es. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://docplayer.es/8935872-Manual-de-taller-alternadores.html>

En el caso que no se desee hacer uso de un imán, es posible usar una serie de bobinas que permitan la formación del campo magnético, esto se logra gracias a que el inductor es un conductor enrollado, el cual es posteriormente excitado para energizar el sistema y producir un campo magnético. Este sistema inductor es denominado rotor.

Por el lado contrario, el uso de bobinas de conductor fijas y sin excitar, será denominado estator, este tomará el papel como el sistema inducido por el rotor mostrado en la figura 18.

**Figura 18.**

*Representación gráfica de un estator de una sola espira.*

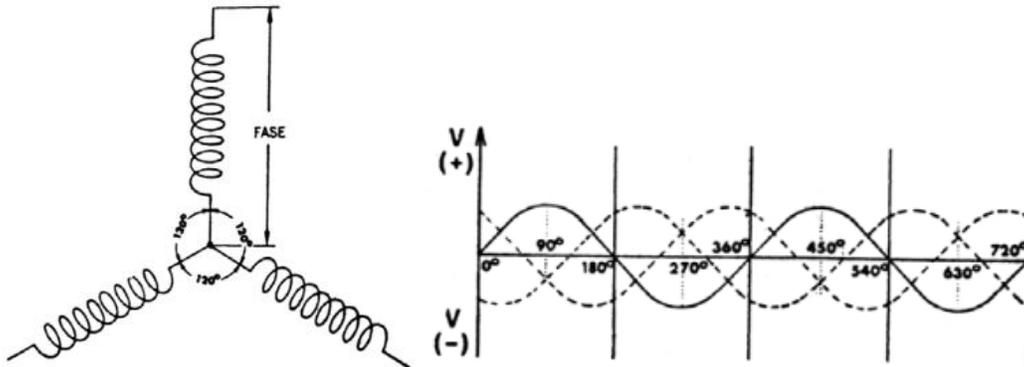


*Nota.* La figura representación gráfica de un estator de una sola espira. Tomado de: *Manual DE taller alternadores.* (s/f). Docplayer.Es. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://docplayer.es/8935872-Manual-de-taller-alternadores.html>

En el caso de los estatores, estos tienen alrededor de tres o más bobinas, las cuales se conectan entre ellas de dos distintas maneras, en formación de estrella o en formación de triángulo como se muestra en la figura 19, lo cual otorga beneficios en el comportamiento del alternador en términos de rendimiento en la intensidad y/o la tensión de las fases.

**Figura 19.**

*Representación gráfica de la conexión en estrella y su señal de salida.*



*Nota.* Tomado de: *Manual DE taller alternadores.* (s/f). Docplayer.Es. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://docplayer.es/8935872-Manual-de-taller-alternadores.html>

Parte primordial del proceso de transformación de energía es la rectificación de la señal de salida del estator, este es un trabajo para los diodos de silicio, los cuales se encargan de transformar la corriente alterna en corriente continua, como se muestra en la figura 20.

**Figura 20.**

*Representación gráfica de rectificación de la corriente alterna en corriente continua*



*Nota.* Tomado de: *Manual DE taller alternadores.* (s/f). Docplayer.Es. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://docplayer.es/8935872-Manual-de-taller-alternadores.html>

Una vez la corriente ha sido rectificada su valor es controlado por un regulador de voltaje, el cual varía la intensidad de corriente que circula por el embobinado. Por ende, la fuerza electromotriz o la cantidad de corriente están determinadas por la cantidad de flujo magnético que la espira

pueda atravesar, esto es debido a que, una mayor variación de flujo producirá una mayor fuerza electromotriz [16].

### **3.3.2. Selección del alternador**

La selección del alternador es un punto clave del proyecto, dado que este es el que transformará la energía mecánica que posee el volante de inercia de la bicicleta estática en energía eléctrica. Es importante determinar las necesidades que requiere satisfacer el alternador, en este caso debe ser capaz de cargar la batería seleccionada, logrando alcanzar la corriente y el voltaje ideal.

Para el proceso de selección es ideal comunicarse con los distribuidores con un mayor tiempo de servicio, debido a su experiencia con los alternadores. Dentro de esta selección es importante tomar en cuenta, los factores externos que influyen en las características del alternador deseado. El alternador escogido en cuestión es un alternador de Chevrolet Aveo, el cual es de segunda mano renovado. Esta referencia es de la marca Delco Lester, una de los mayores fabricantes para marcas comerciales de vehículos a nivel mundial. Esta es una excelente opción, gracias a su disponibilidad, su costo comercial y sus prestaciones. Según el fabricante, a continuación se observan las principales características que permiten la compatibilidad entre el sistema de almacenamiento y el alternador. Desafortunadamente no hay bastante información reciente de varios de los modelos de alternadores que los distribuidores ofrecen, sin embargo, revisando la documentación de algunos fabricantes se puede tener una clara idea de su diseño y desempeño.

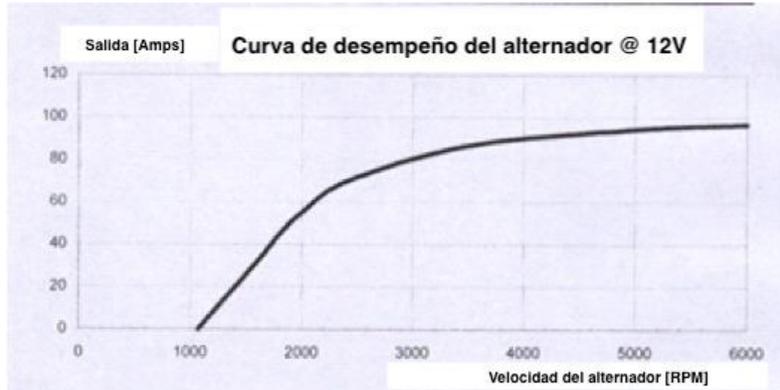
**Tabla 4.***Ficha técnica del alternador Delco Lester*

Tipo de unidad	Alternador	Descripción
El tipo de artículo	Unidad	Se trata de un alternador de Delco Corea de 2004-08 Chevrolet Aveo (construido en Corea) y la 2004-05 Suzuki Swift (Canadá) con el mismo motor. Esta unidad se ve un poco como el Delco 7SI mediante una cubierta trasera de plástico negro, pero utiliza un óvalo de 4 pines macho de tamaño (pero sólo utiliza el medio 2 pines), tiene 2 montajes de la parte inferior, el montaje superior a las 12:00, y utiliza un sistema convencional 6 ranura de la polea.
Tensión	12 V	
Rotación	CW	
Amperaje	85 A	
Reloj	3	
Clase de polea	S6	
Regulador	Interno	
Ventilador	Si	
Fabricante	DELCO	

**Nota.** La tabla anterior enseña la ficha técnica del alternador seleccionado. Tomado de: 12V85AAlternadorChevrolet8483DelcoLester96540542.(s/f).Made-in-china.com. Recuperado el 6 de junio de 2022, de [https://es.made-in-china.com/co\\_atl001/image\\_12V-85A-Alternator-for-Delco-Chevrolet-Lester-8483-96540542\\_esggoiory\\_2f1j00JsFaymAnPGur.html](https://es.made-in-china.com/co_atl001/image_12V-85A-Alternator-for-Delco-Chevrolet-Lester-8483-96540542_esggoiory_2f1j00JsFaymAnPGur.html)

Se escoge este alternador debido a su corriente de salida y su voltaje, es importante resaltar que el uso de la batería del sistema de almacenamiento proviene de igual manera de un vehículo familiar. Esta batería está diseñada para ser cargada con un alternador de automóvil. De igual manera, al observar la curvatura de desempeño en la figura 21 se observa que a partir de las 2300 revoluciones otorga una buena salida corriente [17].

**Figura 21.**  
*Curvatura de desempeño del alternador*



*Nota.* La figura muestra la curva de intensidad según las RPM del alternador. Tomado de: 12V85AAlternadorChevrolet8483DelcoLester96540542.(s/f).Made-in-china.com.Recuperado el 6 de junio de 2022, de [https://es.made-in-china.com/co\\_atl001/image\\_12V-85A-Alternator-for-Delco-Chevrolet-Lester-8483-96540542\\_esggoiory\\_2f1j00JsFaymAnPGur.html](https://es.made-in-china.com/co_atl001/image_12V-85A-Alternator-for-Delco-Chevrolet-Lester-8483-96540542_esggoiory_2f1j00JsFaymAnPGur.html)

A pesar de que el volante de inercia de la bicicleta no alcance a lograr estas velocidades angulares, en el siguiente apartado se realiza la selección del sistema, con lo cual se determina cual es la mejor relación de velocidades que permitan un óptimo funcionamiento del sistema.

### **3.4. Sistema de transmisión**

Una vez se ha determinado el sistema de almacenamiento y el sistema de transformación de energía se requiere de un sistema que integre la energía del volante de inercia al eje del alternador. Este sistema de transmisión, debe ser no invasivo, con lo cual el factor de alterar el funcionamiento de la bicicleta queda totalmente fuera de la ecuación.

Durante la caracterización de la bicicleta estática se observa que el sistema de transmisión está totalmente cubierto, de esta manera se descartan las opciones que requieran de modificaciones invasivas a este sistema. Se plantea realizar un sistema de banda-polea mediante el uso del perfil

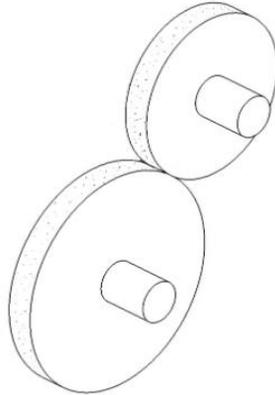
del volante de inercia y la polea del alternador, sin embargo, hay un elemento que perjudica el diseño de este sistema, el cual es el freno por fricción que se encuentra posado en la parte superior del volante.

El perfil del volante de inercia cuenta con una característica que permite tomar partido con un concepto bastante simple. La cara pulida del volante ofrece un área de contacto con un coeficiente fricción suficiente con diversos materiales, dentro de los cuales se encuentran los cauchos.

#### ***3.4.1. Ruedas de fricción***

Se requiere adentrarse en el concepto de las ruedas de fricción para determinar las variables que pueden afectar este sistema de transmisión. Las ruedas de fricción son elementos de máquinas y sistemas, las cuales transfieren la energía mecánica entre dos ejes o más mediante la fuerza de rozamiento que producen los materiales de los cuales están hechos como se muestra en la figura 22 [18]. El uso de las ruedas de fricción brinda ventajas que promueven una mejor aceptación por los usuarios.

**Figura 22.**  
*Ruedas de fricción*



**Nota.** Tomado de:  
Xunta.gal., «Ruedas de  
fricción,» (s.f). [En línea].  
Available:  
[https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/41\\_ruedas\\_de\\_fricc.](https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/41_ruedas_de_fricc.) [Último  
acceso: 06 Junio 2022].

Dentro de las características de la rueda de fricción se encuentran: fácil fabricación, bajo mantenimiento y mínimo el nivel de ruido producido. Por otro lado, esta cuenta con limitantes, tales como la transferencia de grandes cantidades de potencia, debido al deslizamiento que se puede presentar y el rápido desgaste, dadas las condiciones de fuerza a las que se ve sometida.

### **3.4.2. Elección de ruedas de fricción**

La elección de la rueda de fricción requiere de parámetros para lograr compaginar su comportamiento con el resto de los componentes del sistema. Este debe generar un buen contacto

a la hora de producir fricción con el volante de inercia, del cual, solo se conoce que el material de fabricación es acero.

Teniendo en cuenta que la superficie del volante está totalmente pulida, se empiezan a probar cuales son los elementos que mejor traccionan con este. Se construye la tabla 5, donde, se comparan los elementos con los cuales se desea probar la fuerza de fricción en conjunto con el volante de inercia. Este ejercicio es un prueba preliminar para determinar hacia qué material se debe enfocar la rueda de fricción. La metodología del ejercicio es bastante sencilla, se toman los materiales de estudio y se ejerce presión con la palma de la mano sobre la cara del volante de inercia. El volante de inercia está totalmente detenido por el regulador de intensidad que viene incluido en la bicicleta estática.

**Tabla 5.**

*Estudio de diversos materiales sobre la superficie del volante.*

<b>Prueba de tracción</b>		
<b>Material</b>	<b>Descripción</b>	<b>Calificación (1 - 5)</b>
Papel de lija 600	A pesar de lograr una gran adherencia entre las superficies, una vez se sobrepasa el coeficiente de fricción este se resbala de la superficie del volante, lo cual provoca que los granos arañan la superficie de este	2, No es una opción confiable y produce bastante desgaste
Cámara del neumático de una bicicleta	Esta combinación de un caucho suave en conjunto con la cara pulida del volante tiene los mejores resultados, esto bajo condiciones específicas, tal y como, que ninguna de las dos superficies se encuentren húmedas o mojadas. En condiciones ideales la fricción que se consigue es mucho mayor a la del componente del freno de emergencia con el que cuenta la bicicleta.	5, Es la mejor opción pues aparte de otorgar un gran coeficiente de fricción, absorbe ruidos y vibraciones.
Suela de zapatos	De manera similar a los resultados de la cámara del neumático, se obtienen buenos resultados de fricción, esto se determina si se es capaz de mover el volante de inercia, sin embargo, logra perder la tracción bajo menor esfuerzo que la el neumático	4, Es una opción viable, al ser un material blando permite tener una mayor superficie de contacto

**Nota.** La tabla muestra las opciones de tracción para la rueda de fricción en el alternador.

Una vez se comprende cuáles son los materiales más afines para un sistema de fricción se selecciona y analiza el material, sus componentes y sus características. En el caso de la cámara del neumático, esta está compuesta por butilo, un caucho resistente, el cual puede expandirse. El tomar como referente a la cámara del neumático permite determinar que el material por el cual se inclina la selección de la rueda de fricción es la goma o caucho. El caucho es un polímero elástico el cual puede ser de origen natural o sintético [19]. Una vez determinado el material, se presentan diversas opciones en la figura 23, que pueden ser viables y afines con el proyecto, la cual consiste en acoplar una rueda industrial de goma

**Figura 23.**

*Ruedas de goma del catálogo de ruedas de la empresa Tente Colombia*



**Nota.** Tomado de: Somos Voodoo S A. (s/f). Tente Ruedas Colombia, distribuidor autorizado, gran catálogo de ruedas para su empresa, envíos a nivel nacional. Tente.co. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://tente.co/catalogo/industrial/ruedas/goma-elastica/fija-goma-elastica-azul-alpha-100mm-160kg-T01112/>

Dado a sus altos costos, se buscan opciones viables para mantener los costos bajos de producción del proyecto. Dentro de las nuevas opciones se encuentran la producción o modificación de un buje de caucho sintético. Estos bujes son elementos bastante fáciles de encontrar en el mercado colombiano. El buje se planea acoplar a la polea presente del alternador mediante un adhesivo

epóxido que garantice la sujeción del buje en la polea del alternador; los bujes son utilizados en la industria de producción y manufactura de mangueras de agua, estos bujes son usados para crear acople herméticos entre dos superficies con diferentes diámetros. Con base a estas propiedades y características se selecciona el buje que mejor se adapte a las necesidades que necesita satisfacer (figura 24).

**Figura 24.**  
*Buje de caucho elegido*



**Nota.** Buje de caucho escogida como rueda de fricción para el sistema de generación energética

### **3.4.3. *Relación de velocidad alternador - volante de inercia***

La relación de velocidad está determinada por el tamaño de las ruedas de fricción del sistema de transmisión, donde la rueda conductora (volante) tiene un diámetro de 450 milímetros. Por otro lado, la rueda conducida se encuentra acoplada al alternador y tiene un diámetro de 64 milímetros. Una vez determinados los diámetros, se procede a calcular la relación de velocidades con la cual fue diseñada la bicicleta estática.

La relación de transmisión se puede determinar mediante la relación entre el diámetro de la rueda de entrada (o también llamada conductora) entre el diámetro de la rueda de salida (o también llamada conducida) [20].

### **Ecuación 8.**

*Relación de transmisión*

$$i = \frac{d_{conductora}}{d_{conducida}}$$

Dónde:

$i$  = *relación de transmisión*

$d_{conductor}$  = *diámetro de la rueda conductora [mm]*

*diámetro de la rueda conducida [mm]*

$d_{conducido}$  =

$$i = \frac{450mm}{64mm} = 7,03125$$

**Nota.** Ecuacion de relacion de transmisión. Tomado de: V. U. Libardo, Introducción a los accionamientos de máquinas, Pereira, 2012.

La relación de transmisión que se obtuvo mediante las diferencias entre las ruedas de fricción es de 7,03; con lo cual, por cada rotación que realice el volante de inercia, la rueda del alternador girará 7,03 veces en el sentido contrario.

### **3.5. Cantidad teórica de energía generada**

Con la relación de transmisión determinada se estima de manera teórica la cantidad de energía que se puede generar mientras el usuario se encuentra usando la bicicleta estática. Para ello se toman los datos de los usuarios y la tabla del desempeño del alternador.

Para determinar la cantidad de energía se estima que durante una sesión de entrenamiento en la bicicleta estática, el volante tiene una velocidad de 450 revoluciones por minuto medido a través de una aplicación móvil contadora de revoluciones, el tiempo de las sesiones en promedio es de 17,5 minutos. Una vez establecidos estos datos teóricos, se procede a determinar la velocidad angular a la cual se somete la rueda de fricción del alternador.

**Ecuación 9.**  
*Velocidad angular del alternador*

$$\omega_{\text{alternador}} = i * \omega_{\text{volante}}$$

Dónde:

$$i = \text{relación de transmisión} = 7,03125$$

$$\omega_{\text{volante}} = \text{velocidad angular del volante [rpm]}$$

$$\omega_{\text{alternador}} = \text{velocidad angular de la rueda de fricción del alternador [rpm]}$$

$$\omega_{\text{alternador}} = 7,03125 * 450 \text{ rpm} = 3164,06 \text{ rpm}$$

**Nota.** Ecuacion de Velocidad angular para el eje del alternador. Tomado de: V. U. Libardo, Introducción a los accionamientos de máquinas, Pereira, 2012.

Una vez determinada la velocidad angular que presenta el alternador se identifica su corriente de salida en la Figura 25 la cual contempla el desempeño de este. La gráfica permite determinar la corriente de salida, debido a que el comportamiento del alternador no es lineal, esta curva describe de la manera más precisa la relación entre las revoluciones y el amperaje que produce este modelo.

### Figura 25.

*Amperaje de salida del alternador a las 3164 revoluciones por minuto*



**Nota.** La figura muestra la curva de intensidad a 3.164 RPM del alternador. Tomado de: Made-in-china.com. , «12V 85A Alternador Chevrolet 8483 Delco Lester 96540542,» (s.f). [En línea]. Available: [https://es.made-inchina.com/co\\_atl001/image\\_12V-85A-Alternator-for-Delco-Chevrolet-Lester-8483-96540542\\_esggoiory\\_2f1j00JsFaymAnPGur.html](https://es.made-inchina.com/co_atl001/image_12V-85A-Alternator-for-Delco-Chevrolet-Lester-8483-96540542_esggoiory_2f1j00JsFaymAnPGur.html). [Último acceso: 06 Junio 2022].

Se observa que el amperaje de salida alrededor de las 3100 revoluciones por minuto es de 80 amperios. Una vez determinado este valor procedemos a determinar la potencia que puede producir durante las sesiones de 17,5 minutos.

#### **Ecuación 10.** *Potencia producida*

$$w = V * I$$

$w =$  Potencia [W]

$I =$  Corriente de salida [A]

$V =$  Voltaje de funcionamiento [V]

$$w = 12 V * 80A = 960 W$$

**Nota.** Potencia producida. Tomado de: Docplayer.Es, «Manual de taller alternadores.» (s.f). [En línea]. Available: <https://docplayer.es/8935872-Manual-de-taller-alternadores.html>. [Último acceso: 06 Junio 2022].

Se observa que la cadencia del ritmo y las relaciones de velocidad del sistema nos permiten obtener hasta 960 W de potencia. En el caso de que este ejercicio sea realizado continuamente por una hora se obtendría 960 Wh o 0,96 kWh por cada sesión. Sin embargo las sesiones en promedio duran únicamente un tercio del tiempo.

#### **Ecuación 11.**

*Potencia neta producida*

$$w_p = \frac{w * t}{1 \text{ hora}} = \frac{w * t}{60 \text{ minutos}}$$

$w_p =$  Potencia producida neta [kWh]

$w =$  Potencia producida [kWh]

$t =$  tiempo de sesión [min]

$$w_p = \frac{0,96 \text{ kWh} * 17,5 \text{ minutos}}{60 \text{ minutos}} = 0,28 \text{ kWh}$$

La cantidad que se produce por una sesión de entrenamiento en la bicicleta estática asciende a la cifra de 0,28 kWh. Ahora teniendo en cuenta las variaciones en las sesiones de entrenamiento, se promedia el entrenamiento en esta máquina a 3 sesiones por día, con lo cual se puede obtener un rendimiento diario teórico.

#### **Ecuación 12.**

*Potencia neta diaria*

$$w_d = w_p * n$$

$w_d =$  Potencia producida diaria neta [kWh]

$n =$  número de sesiones

$$w_d = 0,28 \text{ kWh} * 3 \text{ sesiones} = 0,84 \text{ kWh}$$

La cantidad de energía generada diaria teóricamente asciende a los 0,84 kWh, lo cual representa una parte de la demanda energética suplida por el sistema de recolección de energía. Al mes se estima una producción de alrededor de 16,8 kWh durante 20 días hábiles.

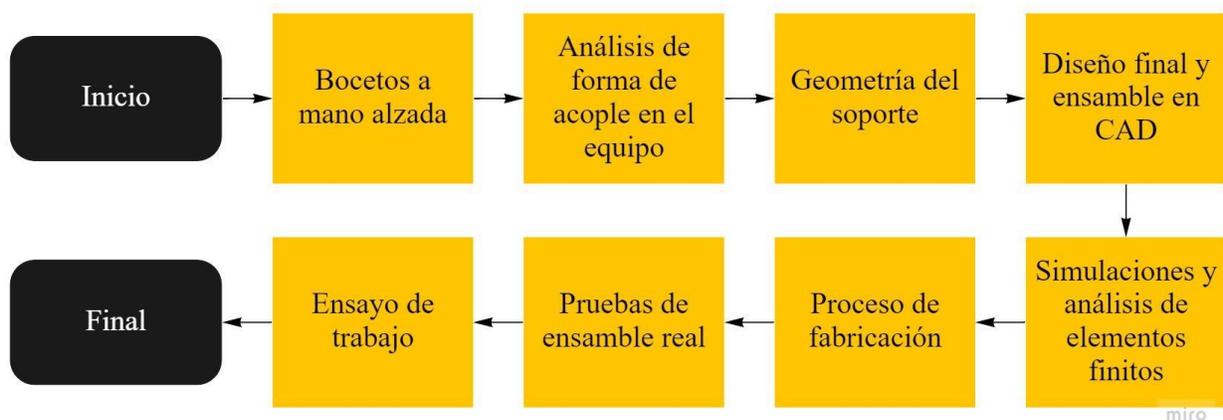
## 4. DISEÑO DEL SISTEMA

Para poder llevar a cabo la adaptación del generador de energía en el equipo de gimnasio, se toma la decisión de realizar una geometría que tenga como principales características un diseño simple de bajo costo de fabricación, con una alta resistencia al trabajo, además de contar con la capacidad de ser fácilmente ensamblado, de manera que no se requiera de modificaciones relevantes en los equipos de gimnasio; en este caso, la bicicleta estática.

En la figura 26, se describe el orden del proceso a través del diagrama de flujo que da orden al proceso de diseño y fabricación del soporte para el generador.

**Figura 26.**

*Diagrama de flujo para el diseño y fabricación del soporte para el generador*



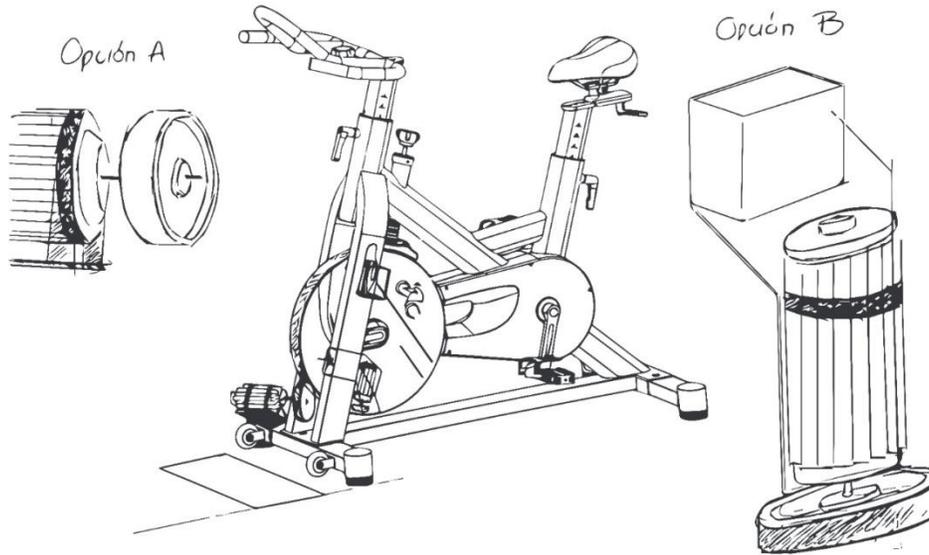
*Nota.* La imagen ilustra el proceso planeado para realizar el diseño del soporte para el generador.

### 4.1. Bocetos del soporte

Para iniciar el proceso de fabricación, se realiza un boceto a mano alzada para determinar la ubicación y geometría más óptima del soporte que cumpla con las limitaciones de tamaño y geometría de la bicicleta estática (figura 27).

**Figura 27.**

*Opciones de ubicación y geometría del soporte para el generador.*



**Nota.** La imagen muestra las opciones preliminares de ubicación y geometría del soporte.

Al analizar el boceto planteado en la figura 27, se decide optar por la opción A, ya que se ajusta al tamaño aproximado de un generador estándar, con facilidad de fabricación y ensamble, además de tener mayor estabilidad ya que las fuerzas presentes en el generador se transmiten al soporte de manera perpendicular, permitiendo una mejor distribución de estas fuerzas en el soporte, mientras que la opción B al estar ubicado de forma vertical, este se desliza por su propio peso y las vibraciones de trabajo presentes hace que la rueda de fricción pierda el contacto con el volante de inercia de la bicicleta, por tal motivo se descarta esta opción.

#### **4.2. Forma de acople a la bicicleta**

Teniendo en cuenta la opción A mencionada anteriormente, se opta por diseñar el soporte de una manera no invasiva; por ende, no se debe realizar ningún tipo de modificación a la estructura o forma de la bicicleta estática. Por lo cual, se diseña un soporte en forma de abrazadera como se muestra en la figura 28, permitiendo recargar todo su peso sobre uno de los apoyos de la bicicleta, cerrándose en los extremos mediante tornillos que permitieran una fuerte sujeción del soporte a la bicicleta.

**Figura 28.**  
*Ejemplo de abrazadera metálica*

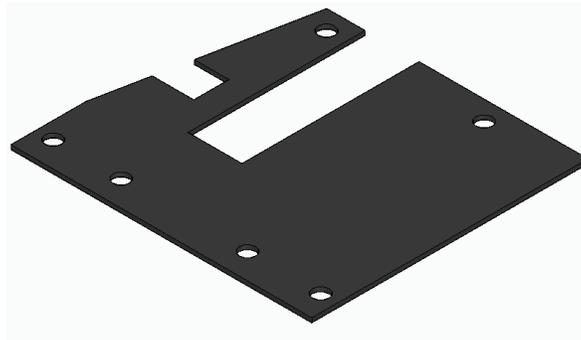


**Nota.** Tipo de acople al soporte

#### 4.3. Geometría del soporte

Para este soporte se plantea una geometría simple, fácil de fabricar y ensamblar. Para la parte superior del soporte se presenta una limitación de la estructura en la zona de la horquilla de la bicicleta, por ende se diseñan dos muescas en las que se aloja la horquilla y uno de los pernos de sujeción de la estructura como se muestra en la figura 29.

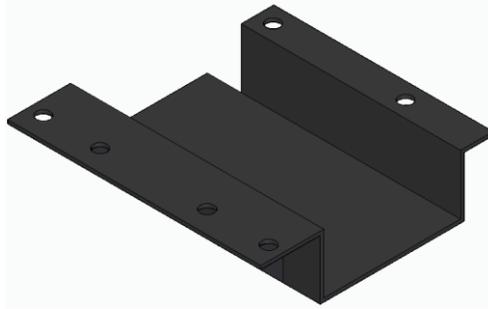
**Figura 29.**  
*Geometría superior del soporte*



**Nota.** Pieza superior del soporte

Para la parte inferior del soporte, se realiza un doblado en forma de abrazadera metálica tipo U, con una leve muesca en el costado para que el soporte no interfiera con la estructura como se muestra en la figura 30.

**Figura 30.**  
*Geometría Inferior del soporte*

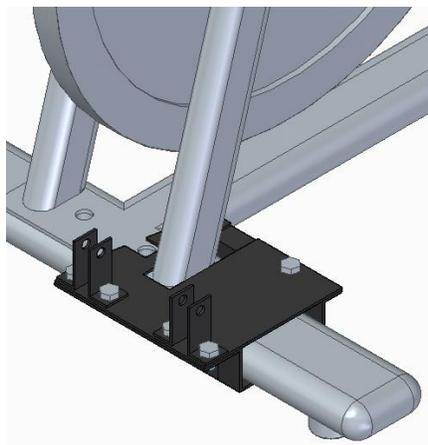


*Nota.* Las figuras muestran la geometría del soporte del generador ubicado en la bicicleta estática.

#### **4.4. Diseño y ensamble CAD**

Una vez diseñada la forma de acople del soporte y su geometría, se realiza el diseño final en cual se incluyen 4 apoyos en forma de “L” que conectan el generador con el soporte; una vez diseñado cada uno de los componentes, se ensamblan en el software CAD y se ubica en la bicicleta para observar su posición final con relación a la estructura (figura 31).

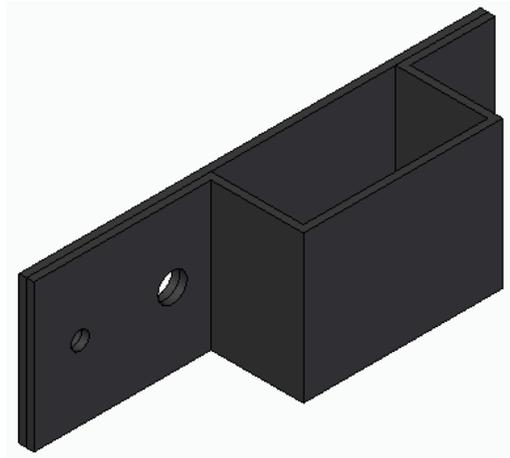
**Figura 31.**  
*Diseño y ensamble final del soporte*



*Nota.* Ensamble del soporte en CAD

Adicionalmente se diseñó una estructura, que tiene como función sostener un resorte el cual tensiona el alternador contra la estructura de la bicicleta, manteniendo la rueda de fricción en constante contacto con el volante de inercia, además de absorber mínimas vibraciones de trabajo en el equipo (figura 32).

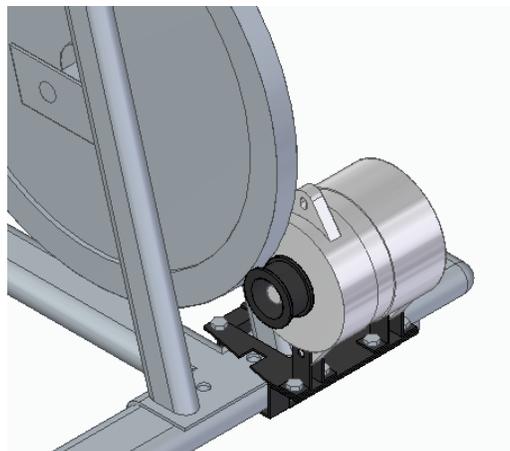
**Figura 32.**  
*Estructura superior*



**Nota.** Pieza superior en CAD

Por último se realizó el ensamble final del conjunto de piezas diseñadas en CAD para observar un preliminar del resultado final al momento de ensamblar las piezas en físico, como se muestra en la figura 33.

**Figura 33.**  
*Ensamble final en CAD*



**Nota.** Ensamble completo en el software CAD

#### **4.5. Fuerzas presentes en el soporte**

El soporte diseñado contempla la masa del alternador a sostener, la cual es de 4,8 kg según el fabricante. Esta masa se multiplica por la aceleración de la gravedad con el fin de determinar la fuerza ejercida, la cual es vertical con una magnitud de 50 N, adicionalmente soporta las vibraciones de trabajo en la bicicleta que se tomarán como despreciables ya que no presentan una carga significativa en el sistema. Para contrarrestar el esfuerzo que produce el generador, se usaron 6 pernos que aseguran el soporte diseñado a la medida de la estructura de la bicicleta y para distribuir la carga del generador, se agregaron dos refuerzos en forma de ángulo en la parte inferior del soporte.

#### **4.6. Material de producción**

Una vez determinada la geometría y las fuerzas a las cuales se va a someter el acople se procede a investigar cuál es el material más adecuado para su construcción. Se tienen en cuenta factores como los costos del material, los costos que presentan los procesos a los cuales se somete el material y la disponibilidad a nivel local con el que esta cuenta. De acuerdo a las características del diseño, un buen material debe contar con las capacidades integrales que le permitan ser doblado y soldado.

El material de elección para la producción fue el acero AISI-SAE 1018 cold rolled (o laminación en frío), en su presentación de lámina con un espesor de 2mm. Este metal es un acero medio-bajo en carbón, el cual, tiene varios usos en diferentes aplicaciones de diversas industrias. Este acero es una excelente opción dado a su disponibilidad y costo, al ser un material bastante integral es ideal para el proceso de manufactura el cual requiere de cortes, dobleces y soldadura [21].

**Tabla 6.***Ficha técnica del acero AISI-SAE 1018 dada por el proveedor Vazbros*

Propiedades químicas						
Calidad	Norma		C	Mn	P	S
			Contenido % en volumen máximo			
Comercial	ASTM	A29/A29M	0.15 - 0.20	0.60 - 0.90	0.040 máx	0.050 máx
	JIS	S18C				
	DIN	1.1141				

Propiedades mecánicas				
Condición de suministro		Recocido con una dureza estimada 126 HBN (~71 HBR) como estirado en frío (SAE J414a)		
Elongación 2" [%]	Reducción de área [%]	Límite elástico [Mpa] (Lb/in <sup>2</sup> )	Resistencia a la tensión [Mpa] (Lb/in <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad [GPa] (kLb/in <sup>2</sup> )
15	40	370 (53,700)	440 (63,800)	205 (29,700)

Propiedades físicas	
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ] (lb/in <sup>3</sup> )	7.87 (0.284)

**Nota.** Propiedades tomadas de un catálogo de México para el mismo material en Colombia. Tomado de: Plásticos y Metales para la Industria de México, Acero AISI-SAE 1018 Cold Rolled, Reynosa, Mexico: Vazbros Plásticos y Metales Industriales en Reynosa, (s.F).

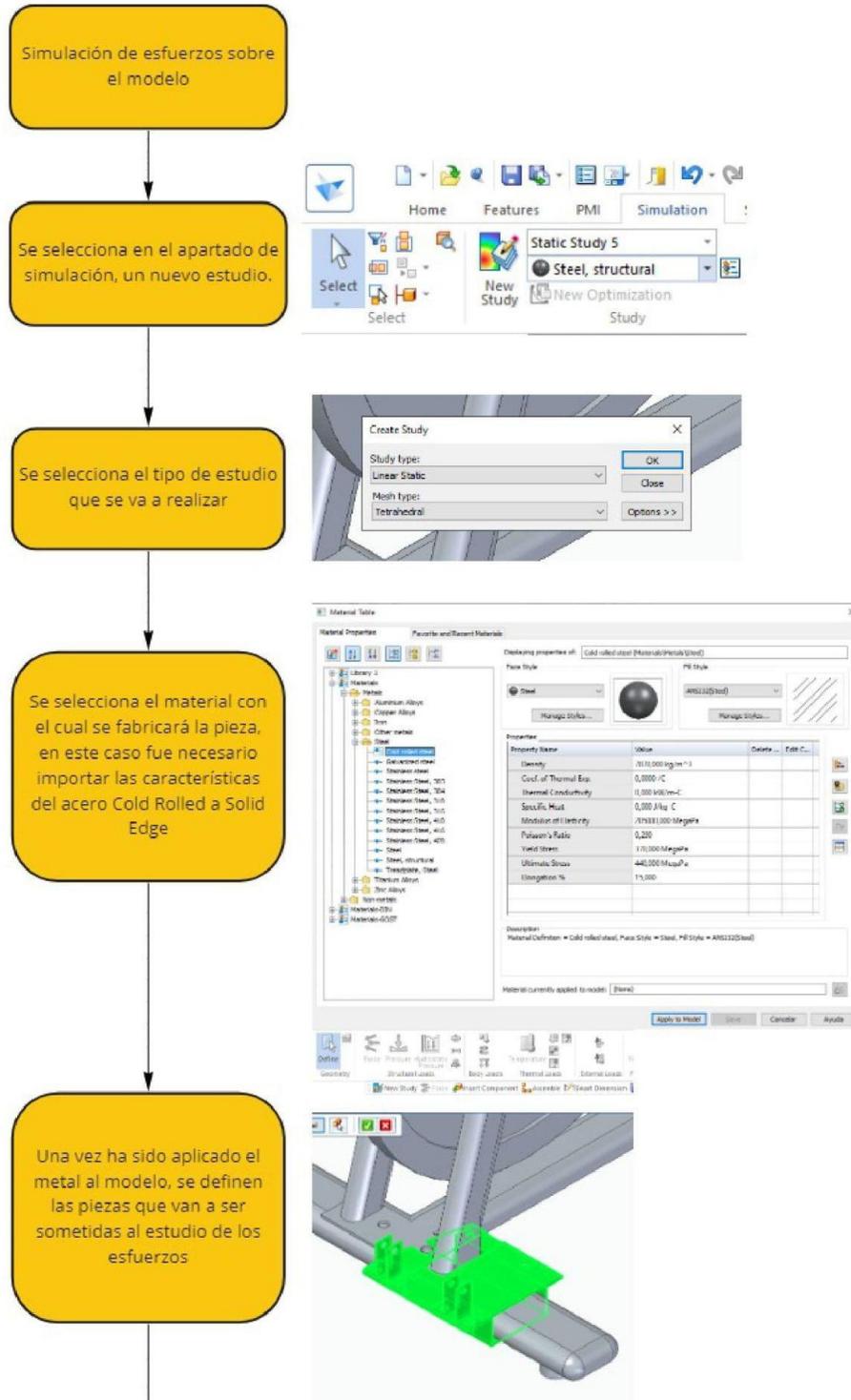
Las características y propiedades del metal seleccionado deben ser registradas, con el fin de ingresarlas al software de simulación y obtener resultados lo más acertados posibles. En el caso del software Solid Edge, se cuentan con varias bibliotecas de metales, sin embargo, ninguno se asemeja a las propiedades del metal cold rolled.

#### **4.7. Simulaciones de carga**

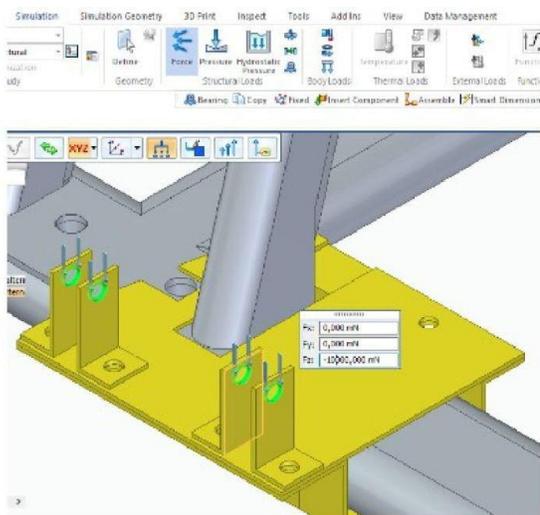
Con el fin de analizar las cargas presentes en el soporte, se realiza una simulación de elementos finitos en la estructura, la cual arroja resultados positivos según la figura 35 dado que no presenta ninguna alteración en las características de la pieza al aplicar 50N en los apoyos del generador.

Para realizar dicha simulación se diseña el siguiente diagrama de flujo mostrado en la figura 34 con el fin de explicar el paso a paso para ejecutar la simulación de carga.

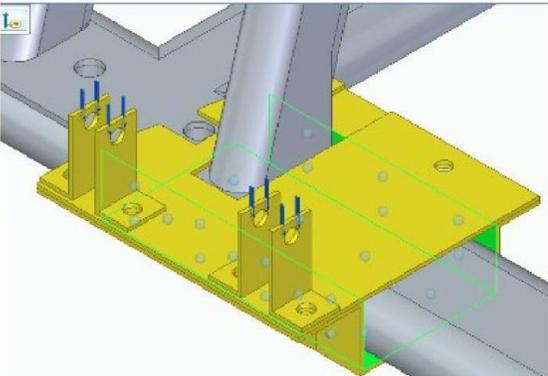
**Figura 34.**  
*Diagrama de flujo de simulación.*



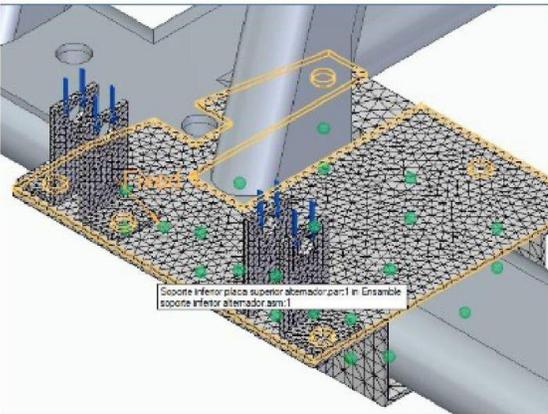
Se determinan las cargas a las cuales se va enfrentar el modelo, en este caso la magnitud de la fuerza es el peso del alternador



Se especifican cuales son las restricciones que se presentan en el modelo, de manera que los grados de libertad se ven afectados

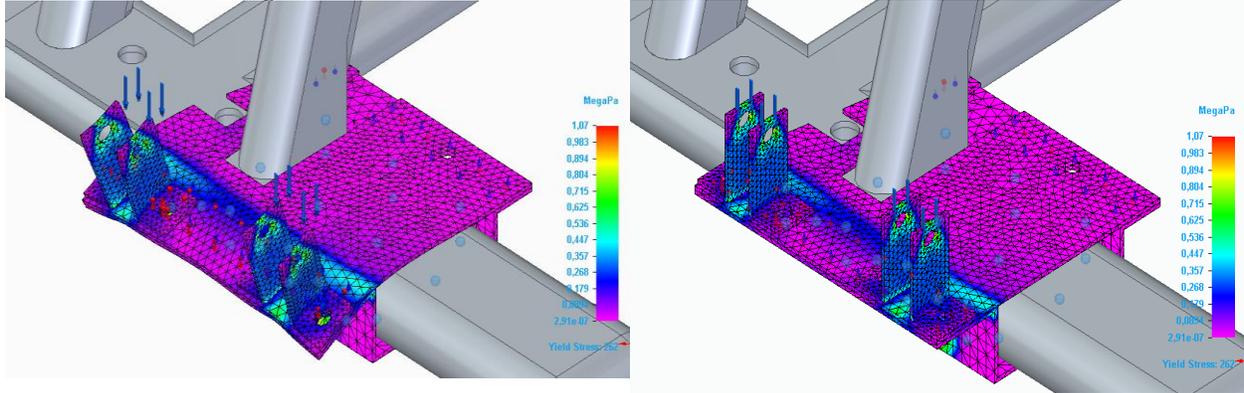


Se realiza el mallado de la estructura a estudiar, esta malla permite realizar el estudio por medio del método de elementos finitos



**Nota.** Diagrama de proceso de simulación en CAD

**Figura 35.**  
*Simulaciones de carga*



**Nota.** Deformación relativa del modelo, donde, la escala es el 10 por ciento del modelo en cuestión y deformación actual del modelo.

Los resultados que arroja el software de Solid Edge mostrados en la figura 35, indican que no se presentan deformaciones considerables en el acople diseñado, donde, el mayor desplazamiento que se presenta tiene un valor de 0,000649 milímetros. De igual manera, la mayor tensión de Von Misses que se presenta en el diseño es de 1,07 MPa con lo cual se puede considerar despreciable.

#### **4.8. Selección del resorte de tensión**

El diseño del soporte superior implica la adición de un resorte de tensión, el cual, tiene como finalidad ejercer tensión entre el alternador y el volante de inercia la bicicleta estática para que se genere la fuerza de fricción necesaria para mantener la rodadura entre los dos componentes. Durante el cálculo y análisis para la selección del resorte se abarcan las fuerzas que se ejercen sobre los distintos componentes del sistema de transformación de energía.

##### **4.8.1. Fuerzas ejercidas en el alternador**

Inicialmente se realiza el cálculo del torque requerido en el alternador para lograr la potencia teórica definida en el apartado 3.5, se parte de la ecuación 13 para el cálculo de la potencia, en base a, la torsión y la velocidad angular. En este caso se realiza el despeje de la incógnita torsión.

**Ecuación 13.**  
*Torque requerido*

$$w = \tau * \omega$$

Dónde:

$w = \text{Potencia [W]}$

$\tau = \text{Torque [Nm]}$

$\omega = \text{velocidad angular [rad/s]}$

$$\tau = \frac{\omega}{w} = \frac{3100 \text{ rpm} * \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rpm}} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}}\right)}{960 \text{ W}}$$

$$\tau = 0,338 \text{ Nm}$$

**Nota.** Tomado de: A. J. D. Agostino, *Diseño de producto: Generación de energía eléctrica a partir de bicicletas fijas de indoor.*, Córdoba, Argentina: Facultad de ciencias exactas, Universidad nacional de Córdoba, 2014.

Posterior a este cálculo se realiza el cálculo de la fuerza que se requiere ejercer sobre el punto más alejado del centro de la polea incluyendo la rueda de fricción. Este valor está determinado por el producto entre el torque y el radio de la polea con la rueda de fricción [22].

**Ecuación 14.**  
*Torque requerido*

$$\tau = F * d$$

Dónde:

$\tau = \text{Torque [Nm]}$

$F = \text{Fuerza tangencial [N]}$

$d = \text{diámetro de la polea [m]}$

$$F = \frac{\tau}{d} = \frac{0,338 \text{ Nm}}{0,064 \text{ m}}$$

$$F = 5,28 \text{ N}$$

**Nota.** Tomado de: R. Hibbeler, *Ingeniería Mecánica ESTÁTICA*, Naucalpan de Juárez, Estado de México: Pearson, 2010.

En este caso no se requiere de una gran fuerza para poder hacer girar la polea del alternador, por ende, la fuerza que se ejerce de manera horizontal al alternador para hacer fricción con el volante de inercia no requiere de una gran magnitud. Se hace uso del coeficiente de fricción estático entre el caucho y el acero en seco mostrado en la figura 36.

**Figura 36.**  
*Coefficientes de rozamiento entre superficies.*

<b>Superficies en contacto</b>	<b>estático</b>	<b>cinético</b>
Metal sobre metal (secas)	0.2	0.1
Metal sobre metal (engrasadas)	0.1	0.05
Cuerda metálica sobre <b>hierro</b> (secas)	0.2	0.15
Goma o cuero sobre madera o metal (secas)	0.4	0.3
Madera dura sobre metal (secas)	0.6	0.4
Madera dura sobre metal (engrasadas)	0.2	0.1
Cáñamo sobre metal (secas)	0.3	0.2
Cuerda metálica sobre polea de <b>hierro</b> (secas)	0.2	0.15
Neumáticos de <b>caucho</b> sobre pavimento (secos)	0.9	0.8
Forro de amianto para frenos sobre <b>hierro</b> colado	0.4	0.3
<b>acero</b> sobre piedra de afilar mojada	.....	0.7
Metal sobre hielo	.....	0.02

*Nota.* Tabla de coeficientes de rozamiento entre diferentes superficies. Tomado de: Full mecánica (s.f.) “Coeficiente de rozamiento”, [En línea]. <http://www.fullmecanica.com/definiciones/c/1277-coeficiente-de-rozamiento>. [Acceso: Julio 11, 2022].

Se procede a calcular la fuerza necesaria entre ambas superficies con el fin de poder transmitir la energía entre los componentes. Usando la ecuación fricción estática, se contempla el evitar el deslizamiento de estas superficies.

**Ecuación 15.**

*Fuerza de fricción estática*

$$Fr_e = \mu * N$$

$Fr_e$  = Fuerza de fricción estática [N]

$\mu$  = Coeficiente de fricción

$N$  = Fuerza normal al punto de contacto entre superficies [N]

$$N = \frac{Fr_e}{\mu} = \frac{5,28 N}{0,4}$$

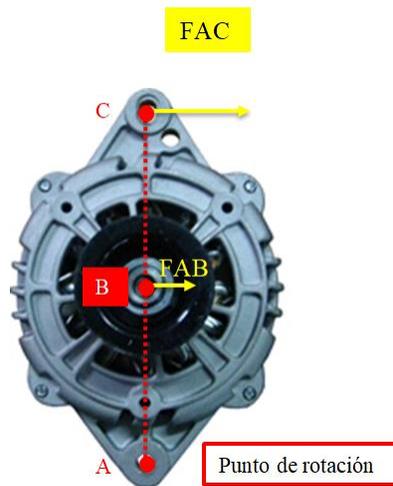
$$N = 13,2 N$$

**Nota.** Tomado de: Xunta.gal., «Ruedas de fricción,» (s.f). [En línea]. Available: [https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/41\\_ruedas\\_de\\_fricc.](https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/41_ruedas_de_fricc.) [Último acceso: 06 Junio 2022].

Esta es la fuerza que se tiene que ejercer entre el punto de contacto de ambas superficies de la rueda de fricción del alternador y el volante de inercia de la bicicleta estática. Teniendo en cuenta la manera en la que el alternador está acoplado al soporte inferior, se requiere calcular la fuerza que tiene que ejercer el resorte en la parte superior. Se usa como punto de rotación del alternador los puntos de sujeción de este como se muestra en la figura 37.

**Figura 37.**

*Diagrama de fuerzas*



**Nota.** Diagrama de fuerzas presentes en el alternador.

Mediante la fuerza FB se puede determinar la correspondiente magnitud de la fuerza FC, esto está dado a que el punto A es un punto fijo en el sistema de acople, el cual actúa como un punto de pivote para el cuerpo del alternador

**Ecuación 16.**  
*Fuerza estática*

$$\tau = F_B * AB = F_C * AC$$

$$F_C = \frac{F_B * AB}{AC} = \frac{13,2 \text{ N} * 8,6 \text{ cm}}{17,2 \text{ cm}}$$

$$F_C = 6,6 \text{ N}$$

*Nota.* Tomado de: R. Hibbeler, Ingeniería Mecánica ESTÁTICA, Naucalpan de Juárez, Estado de México: Pearson, 2010.

En este caso, se requiere ejercer una fuerza en el punto C de la figura 34, con la mitad de la magnitud de la fuerza ejercida en el punto B. Una vez calculada la fuerza se procede a seleccionar un resorte a tensión que cumpla con las siguientes características:

- Tiene que contar con una longitud menor o igual a 11,5cm, esta longitud es la distancia entre el punto de anclaje superior del alternador y el soporte superior diseñado en el apartado 4.4. de este documento.
- Su carga mínima debe ser de 6,6 N.

**4.8.2. Selección del resorte de tensión**

Se realiza un estudio de las principales marcas que producen y comercializan resortes en Colombia, se determinó que el proveedor que abarca más referencias es Century Springs, se pueden encontrar varias referencias de resortes en comercios de cadena tal y como lo es Sodimac Homecenter.

Revisando el catálogo en la figura 38, se determinó el resorte que cumple con las características planteadas anteriormente.

**Figura 38.**

*Tabla de resortes de tensión*




O.D.		Ref	Longitud		Constante		Tensión inicial		Def. Máx		Carga máx		Diámetro		Mat.	FMS
inches	mm		inches	mm	Lbs./in.	N/mm	Lbs.	N	inches	mm	Lbs.	N	inches	mm		
0.359	9.12	80486	4.50	114.3	.80	.14	.5	2	7.5	190	6.5	29	0.037	0.94	MW	N
0.359	9.12	80486S	4.50	114.3	.68	.12	.4	2	5.9	150	4.4	20	0.037	0.94	SST	N
0.359	9.12	80513	4.50	114.3	1.3	.23	.7	3	6.2	158	8.8	39	0.041	1.04	MW	N
0.359	9.12	80513S	4.50	114.3	1.1	.19	.6	3	4.9	125	6.0	27	0.041	1.04	SST	N
0.359	9.12	80529	4.50	114.3	2.1	.37	1	5	5.1	129	12	52	0.045	1.14	MW	N
0.359	9.12	80529S	4.50	114.3	1.8	.31	.9	4	4.0	102	8.0	36	0.045	1.14	SST	N
0.359	9.12	80546	4.50	114.3	3.4	.59	1	6	4.1	103	15	67	0.049	1.24	MW	N
0.359	9.12	80546S	4.50	114.3	2.8	.50	1	5	3.2	82	10	46	0.049	1.24	SST	N
0.359	9.12	5865	4.50	114.3	5.5	.97	4	16	2.1	54	15	68	0.055	1.40	SST	Z
0.359	9.12	80574	4.50	114.3	6.3	1.1	2	8	2.8	70	19	86	0.055	1.40	MW	N
0.359	9.12	80574S	4.50	114.3	5.4	.94	2	7	2.2	55	13	59	0.055	1.40	SST	N

*Nota.* Tomado de: Catálogo de Century Spring.

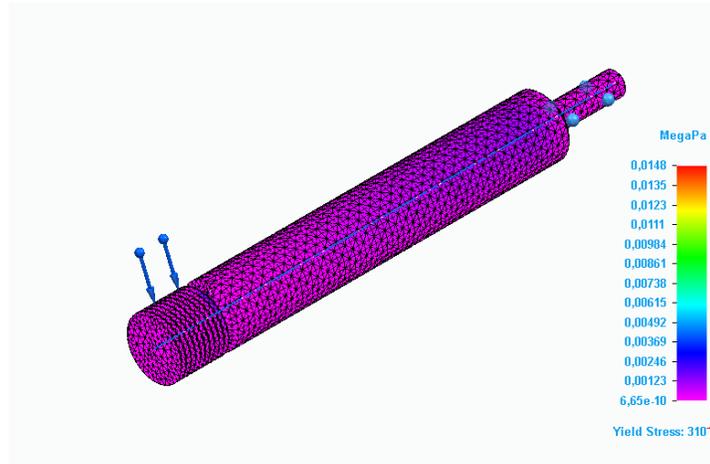
Según el catálogo la referencia del resorte de tensión que se elige es el 80546 el cual cuenta con una longitud de 114,3 mm el cual es ligeramente menor que la distancia entre el alternador y el soporte. De igual manera se tiene en cuenta que ejerce una tensión inicial de 6 N, lo que lo hace ideal para ejercer la fuerza.

#### 4.9. Esfuerzos presentes en eje del alternador

Se analiza la reacción en el eje del rotor del alternador de la fuerza ejercida por el resorte de tensión, el cual es seleccionado en el apartado 4.8.2. Este resorte cuenta con una tensión inicial de 6 N, que se ejerce de manera perpendicular al eje de rotación del alternador mostrado en la figura 39.

**Figura 39.**

*Esfuerzos sobre el eje del alternador*



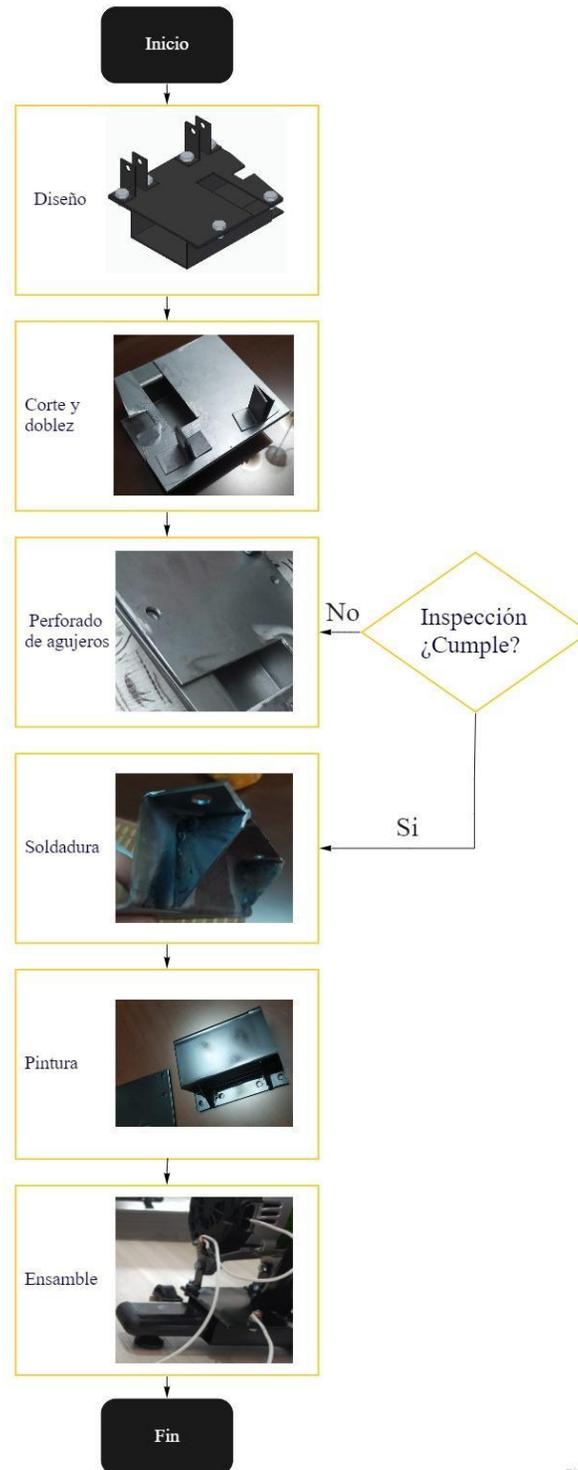
*Nota.* Deformación actual del modelo.

Se observa en la figura 39 que el eje del alternador no se vio afectado por la carga generada por el resorte, se entiende que este tipo de piezas están sujetas a un diseño altamente resistente, debido a su funcionamiento.

#### **4.10. Diagrama de flujo de fabricación**

En realiza el diagrama de flujo de la fabricación del soporte, el cual permite identificar el paso a paso para la fabricación del dispositivo. Es ideal realizar un diagrama del flujo de fabricación con el fin de identificar los pasos cruciales en la manufactura del acople, en el caso de algún imprevisto o corrección únicamente basta con volver al punto donde se modifican las características y se realiza nuevamente los pasos restantes requeridos del proceso. Sin un diagrama de flujo no es posible encontrar errores en la fabricación y retrasos en los tiempos de fabricación (figura 40).

**Figura 40.**  
*Diagrama de flujo del proceso de fabricación del soporte*



**Nota.** Diagrama de flujo del proceso de fabricación del soporte

#### 4.11. Formas de almacenamiento de la energía obtenida

Actualmente la energía eléctrica del gimnasio, está suministrada por la red pública; con el proyecto actual se pretende que la energía sea suministrada a través de una batería local, que permita abastecer al gimnasio en las horas valle; la cual será recargada por medio del alternador que está conectado en la bicicleta una vez se ejecute su funcionamiento (figura 41).

**Figura 41.**  
*Almacenamiento de la energía obtenida*



*Nota.* Batería seleccionada para almacenamiento de la energía generada por el sistema.

#### 4.12. Conexiones eléctricas requeridas

Una vez caracterizada y seleccionada la batería se requieren múltiples conexiones, que permiten energizar las bobinas del alternador y alimentar al sistema de almacenamiento, en este caso, la batería.

De igual manera, se requiere un inversor de tipo monofásico que vaya conectado a la batería para transformar la tensión de entrada continua en alterna, requerida para el funcionamiento de los equipos eléctricos presentes en el gimnasio.

#### 4.12.1. Tipo de cableado

Para llevar a cabo las conexiones, es necesario especificar el tipo de cableado requerido para la aplicación, en este caso se debe usar un cable de cobre TW calibre 2 AWG que cuenta con una capacidad de 95 A necesaria para la salida de corriente positiva del alternador como especifica el catálogo de electro cables en la tabla 7.

**Tabla 7.**  
*Especificaciones del cableado*

CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Diámetro Externo Aprox (mm)	Peso total Aprox. (kg / km)	*Capacidad de Corriente (A)
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm <sup>2</sup> )	No. Hilos				
<b>FORMACIÓN SÓLIDO Y CABLEADO CONCÉNTRICO</b>						
14	2,08	1	0,76	3,15	26,30	15
12	3,31	1	0,76	3,57	38,62	20
10	5,261	1	0,76	4,11	57,72	30
8	8,367	1	1,14	5,54	95,99	40
8	8,367	7	1,14	5,98	101,89	40
6	13,3	7	1,52	7,70	164,63	55
4	21,15	7	1,52	8,92	245,90	70
<b>FORMACIÓN UNILAY</b>						
14	2,08	19	0,76	3,32	27,58	15
12	3,31	19	0,76	3,82	40,60	20
10	5,261	19	0,76	4,41	60,56	30
8	8,367	19	1,14	5,90	100,61	40
6	13,3	19	1,52	7,60	162,56	55
4	21,15	19	1,52	8,79	242,87	70
2	33,62	19	1,52	10,29	367,85	95
1	42,4	19	2,03	12,20	480,40	110
1/0	53,49	19	2,03	13,21	591,62	125
2/0	67,44	19	2,03	14,33	730,21	145
3/0	85,02	19	2,03	15,59	903,58	165
4/0	107,2	19	2,03	17,01	1120,73	195

*Nota.* Especificaciones tomadas de catálogo en México para el mismo producto en Colombia. Tomado de: Catálogo de productos, 2018, Electro Cables, Guayaquil, 2018.

#### 4.12.2. Conexiones del alternador

A continuación se describen las características y conexiones eléctricas del alternador seleccionado, dando inicio con el regulador interno, el cual permite mantener constante el voltaje de salida, como se indican en la figura 42.

**Figura 42.**  
*Regulador de voltaje interno*



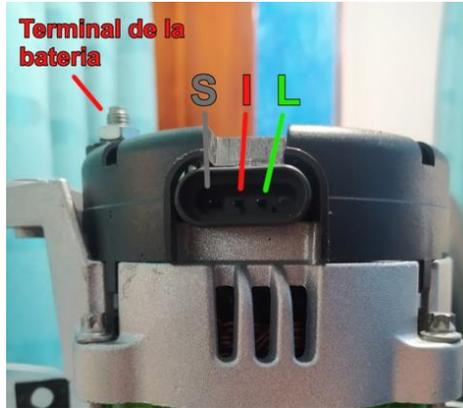
**Nota.** Ubicación del regulador interno del alternador.

Como se muestra en la figura 43, el terminal de la batería es la salida de la corriente positiva que genera el alternador y se envía a la batería para ser recargada; adicionalmente, el alternador cuenta con un regulador interno de corriente cuenta con los pines S, I y L, descritas a continuación:

- La conexión L permite conectar un bombillo testigo para identificar visualmente que el alternador esté en funcionamiento, para el proyecto no se hará uso.
- La conexión I es la ignición de 12 V que energiza las bobinas del alternador para que este pueda producir energía, el cual para proyecto funciona correctamente.
- La conexión S cumple la función de sensado de la batería en la computadora del vehículo, pero para este proyecto tampoco se hará uso de esta conexión.

**Nota:** Se debe tener precaución en el momento de realizar las conexiones, ya que si se conecta de manera incorrecta se pueden generar daños en el regulador del alternador

**Figura 43.**  
*Conexiones del alternador*



**Nota.** Ubicación de las conexiones disponibles en el alternador.

#### **4.12.3. Inversor**

Para realizar la conexión del sistema a la red eléctrica local del gimnasio es necesario el uso de un inversor que permita convertir la tensión de entrada a 120 V ya que la mayoría de equipos eléctricos funcionan con un voltaje de 120 V, para este caso se seleccionó el inversor de la marca ERAYAC mostrado en la figura 44 que ofrece una tensión de salida de 120 V y una potencia de 2 kW como se especifica en la ficha técnica del equipo.

**Figura 44.**  
*Inversor*

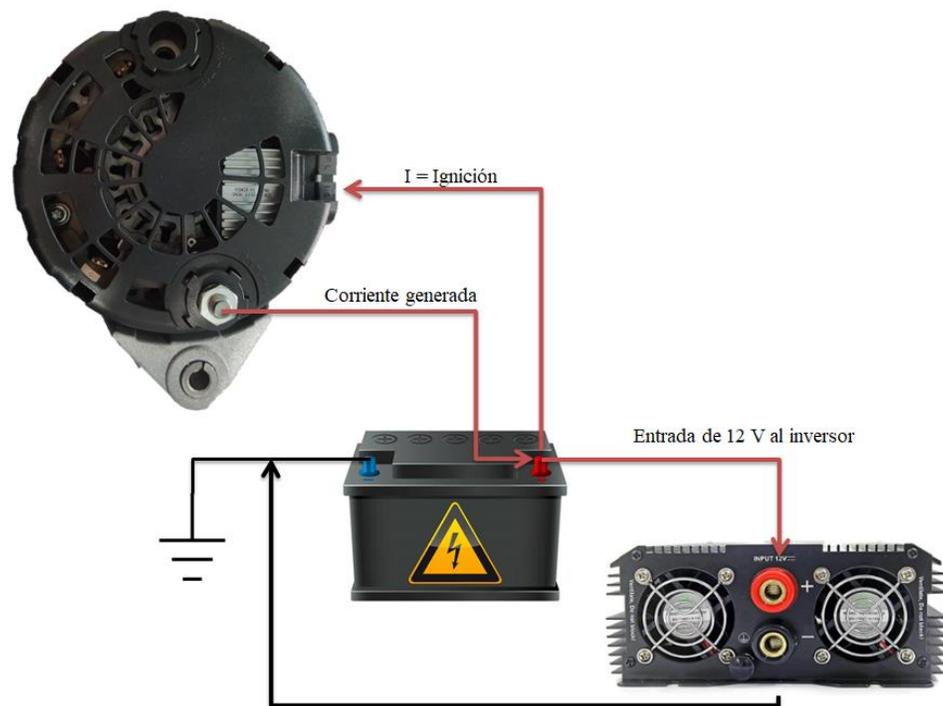


*Nota.* Imagen de referencia, puede haber diferencias con el equipo real. Tomado de: ERAYAK®. (2022), “Inversor de energía ERAYAK® Convertidor de CC a CA fuera de la red para camión solar, auto caravana, automóvil, clásico”, [En línea]. <https://erayakpower.com/products/power-inverter-classic1500?variant=4096182845460> 5. [Acceso: Julio 11, 2022].

#### **4.12.4. Diagrama Eléctrico**

Teniendo en cuenta las conexiones presentes en el alternador, se realiza el diagrama eléctrico que permite identificar la forma adecuada de realizar la conexión entre el alternador, la batería y el inversor como se muestra en la figura 45.

**Figura 45.**  
*Diagrama eléctrico*



*Nota.* Diagrama de conexiones eléctricas para el funcionamiento del sistema

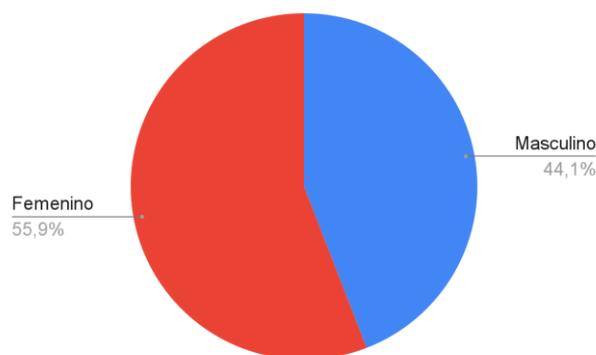
## 5. RECOLECCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. Tamaño de la muestra

La muestra es tomada en dos jornadas, una en la mañana y una en la tarde, esto con la finalidad de validar si existe algún tipo de variación de energía según la hora del día.

Durante 6 días se tomaron los datos de 17 usuarios a través de una encuesta personal, donde, se pregunta el género, la edad, la distancia recorrida y el tiempo de uso para promediar el desempeño de los individuos, en la figura 46, se muestra la proporción de género que hace uso de los equipos del gimnasio, el cual 55,9% de los encuestados son mujeres, y el 44,1% restante son hombres.

**Figura 46.**  
*Tamaño de la muestra*



*Nota.* Gráfico representativo del tamaño de la muestra

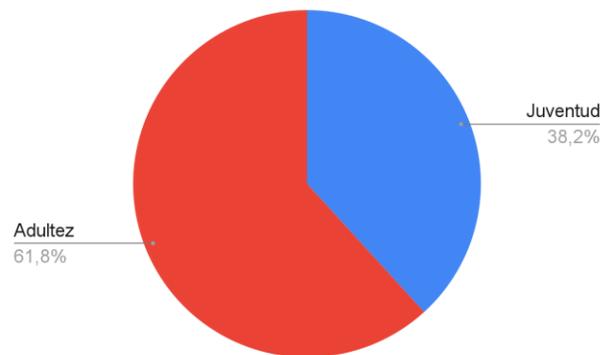
### 5.2. Variables estudiadas

A continuación, se expondrán las variables a estudiar, con el fin de poder identificar, cómo el comportamiento de los usuarios puede influir en el desempeño del sistema de transformación de la energía.

### 5.2.1. *Distribución de la muestra por edad*

Según los datos obtenidos de la muestra, los usuarios únicamente se separan en dos grupos etarios activos, donde, las edades desde los 14 años hasta los 26 años de edad comprenden el grupo de los jóvenes y las edades desde los 27 años hasta los 59 años comprende al grupo de los adultos como se muestra en la figura 47.

**Figura 47.**  
*Distribución de los datos recolectados por grupo etario.*



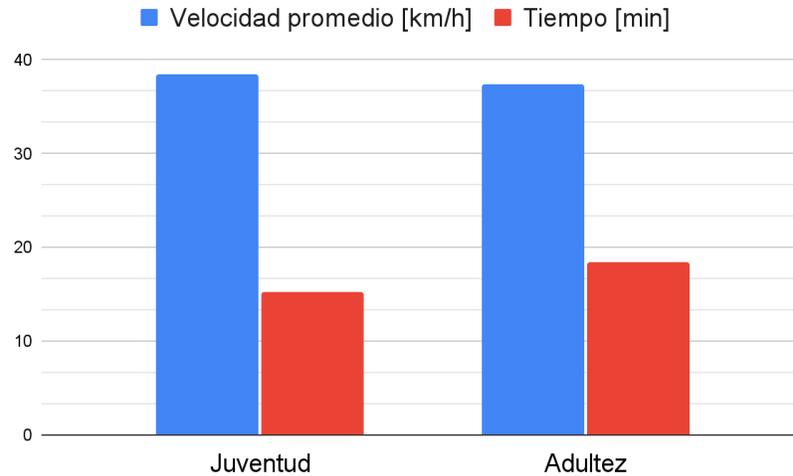
**Nota.** Gráfico representativa distribución de los datos recolectados por grupo etario.

### 5.2.2. *Uso de la bicicleta estática por la muestra*

El uso de la bicicleta estática determinará el comportamiento del sistema desarrollado, dado que, sin un uso mínimo constante, el sistema no será capaz de suplir las necesidades energéticas para alimentar la infraestructura del gimnasio. Esta medida combina las actividades de los usuarios con una mayor intensidad o velocidad, los cuales pertenecen al grupo de los jóvenes con un promedio de 38,47 km/h, y el tiempo de uso, el cual es superior en el grupo de los adultos con un promedio de uso de 18,47 minutos por sesión.

**Figura 48.**

*Comparación entre los grupos etarios en velocidad y tiempo de uso de la bicicleta estática.*



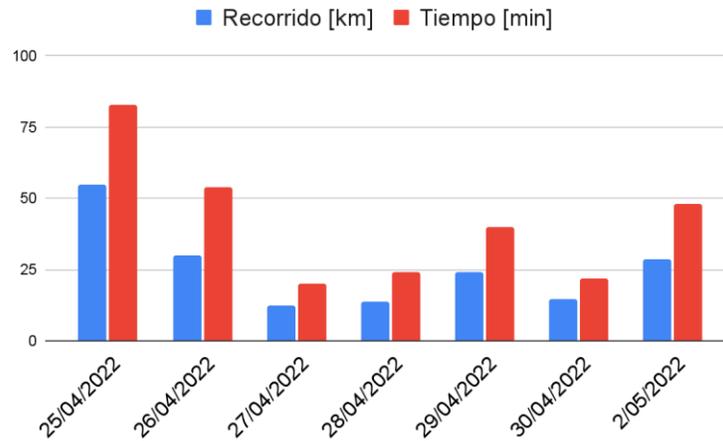
**Nota.** La figura representa la comparación entre los grupos etarios en velocidad y tiempo de uso de la bicicleta estática

Cada uno de estos grupos aporta de manera significativa al uso de la máquina en cuestión. Se observa que los jóvenes optan por utilizar la bicicleta en sesiones de alta intensidad y baja duración y por el lado contrario, los adultos se inclinan por sesiones de mayor duración con una menor velocidad. Esto beneficia el sistema, dado que la transformación de la energía se puede ver alterada con la relación de velocidad a emplear entre la máquina y el sistema de recolección de energía.

A continuación se observará el comportamiento diario de los usuarios a nivel global, donde se mide el uso diario de la bicicleta estática mediante el tiempo y la velocidad total de los usuarios.

**Figura 49.**

*Gráfica del uso diario de la bicicleta estática medida en los kilómetros y minutos ponderados*

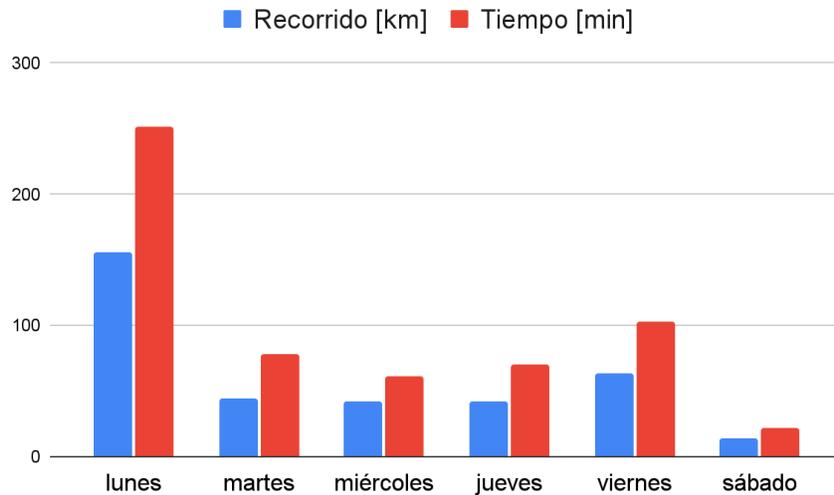


**Nota.** Gráfica del uso diario de la bicicleta estática medida en los kilómetros y minutos ponderados

Una vez analizados los resultados del uso diario de los usuarios, se observa un patrón en la muestra, donde, hay días de la semana principalmente con una mayor captación de usuarios, reorganizando el promedio del uso en los días de la semana, se observan cuáles son los días con el mayor uso de la máquina y cuáles son los días con el menor promedio de uso.

**Figura 50.**

*Uso de la bicicleta estática medida en kilómetros y minutos ponderados, por día de la semana.*



**Nota.** Uso de la bicicleta estática meda en kilómetros y minutos ponderados por día de la semana

Al leer los resultados, es notable que el día lunes, sea el día de la semana con una mayor actividad, gracias al mayor volumen de usuarios que percibe las instalaciones del gimnasio. Por el contrario, el día menos activo es el día sábado, cuenta con la menor cantidad de usuarios, por ende, menos trabajo ejecutado en la bicicleta de spinning.

Para resumir los resultados obtenidos, se establece a nivel general, sin discriminar el sexo y el grupo etario de la muestra que la edad promedio del usuario es de 35 años de edad. El recorrido promedio es de 11,86 kilómetros, con una tiempo promedio de 19,40 minutos de duración por sesión. La velocidad promedio de los registros tomados es de 37,15 km/h., estos datos se resumen en la Tabla 8.

**Tabla 8.***Recolección de datos inicial*

Fecha	Día	Jornada	Género	Edad	Grupo etario	Recorrido [km]	Tiempo [min]	Velocidad prom [km/h]
25/04/2022	lunes	Mañana	Masculino	22	Juventud	15,18	22	41,4
25/04/2022	lunes	Mañana	Masculino	25	Juventud	9,88	15	39,5
25/04/2022	lunes	Mañana	Femenino	23	Juventud	15,12	24	37,8
25/04/2022	lunes	Tarde	Masculino	26	Juventud	11,28	17	39,8
25/04/2022	lunes	Tarde	Masculino	47	Aduldez	3,43	5	41,2
26/04/2022	martes	Mañana	Femenino	32	Aduldez	18,76	31	36,3
26/04/2022	martes	Mañana	Femenino	56	Aduldez	11,16	23	29,1
27/04/2022	miércoles	Tarde	Masculino	47	Aduldez	6,27	10	37,6
27/04/2022	miércoles	Tarde	Masculino	22	Juventud	6,10	10	36,6
28/04/2022	jueves	Tarde	Femenino	26	Juventud	13,64	24	34,1
29/04/2022	viernes	Mañana	Femenino	56	Aduldez	8,20	15	32,8
29/04/2022	viernes	Mañana	Femenino	23	Juventud	4,96	8	37,2
29/04/2022	viernes	Mañana	Femenino	49	Aduldez	10,99	17	38,8
30/04/2022	sábado	Mañana	Femenino	49	Aduldez	14,45	22	39,4
30/05/2022	sábado	Mañana	Femenino	29	Aduldez	28,48	48	35,6
<b>Promedios:</b>						<b>11,86</b>	<b>19,40</b>	<b>37,15</b>

*Nota.* Datos recolectados en la primera etapa de muestreo.

### 5.3. Velocidades angulares a partir de las velocidades lineales

De acuerdo con la caracterización de la bicicleta estática, se observa que, esta no cuenta con un contador de revoluciones, por ende, a partir de los datos tomados de forma manual se calcula, mediante las ecuaciones pertinentes, las revoluciones por minuto a las cuales se somete el

volante de inercia. Para ello se inicia con el cálculo de la circunferencia del volante de inercia [23].

**Ecuación 17.**

*Perímetro de una circunferencia*

$$C_v = \varphi_v * \pi$$

$C_v =$  Circunferencia del volante [m]

$\varphi_v =$  Diámetro del volante [m]

$$C_v = 0,45m * \pi$$

$$C_v = \frac{9}{20}\pi \approx 1,41 m$$

**Nota.** Tomado de: D. J. A. Baldor, Geometría plana y del espacio, Mexico: Publicaciones cultural, 2004.

Una vez determinada la circunferencia del volante, se procede a dividir el recorrido de las sesiones, sobre la circunferencia del volante de inercia.

**Ecuación 18.**

*Revoluciones del volante de inercia*

$$n_v = \frac{D_s}{C_v}$$

$D_s =$  distancia de la sesión [m]

$n_v =$  revoluciones del volante [rev]

**Nota.** Tomado de: D. J. A. Baldor, Geometría plana y del espacio, Mexico: Publicaciones cultural, 2004.

Tomando los resultados de cinco de los registros obtenidos, se puede visualizar, cuantas revoluciones puede llegar a realizar el volante. Una vez determinada las revoluciones que realizó el volante de inercia, podemos determinar la velocidad angular de este, dividiendo los resultados por los tiempos de las sesiones en cuestión.

**Ecuación 19.**

*Velocidad angular del volante de inercia*

$$\omega_v = \frac{n_v}{t_s}$$

$t_s = \text{tiempo de la sesión [min]}$

$\omega_v = \text{velocidad angular del volante [rpm]}$

*Nota.* Tomado de: D. J. A. Baldor, Geometria plana y del espacio, Mexico: Publicaciones cultural, 2004.

**Tabla 9.**

*Velocidad angular de cada registro, medida en revoluciones por minuto.*

Recorrido [km]	Tiempo [min]	Revoluciones del volante	Velocidad angular promedio del volante [rpm]
15,18	22,00	10737,65	488,07
9,88	15,00	6985,13	465,67
15,12	24,00	10695,21	445,63
11,28	17,00	7976,61	469,21
3,43	5,00	2428,59	485,71
18,76	31,00	13266,45	427,94
11,16	23,00	7890,55	343,06
6,27	10,00	4432,76	443,27
6,10	10,00	4314,87	431,48
13,64	24,00	9648,33	402,01
8,20	15,00	5800,31	386,68
4,96	8,00	3508,48	438,56
10,99	17,00	7776,19	457,42
14,45	22,00	10218,93	464,49
28,48	48,00	20145,48	419,69

*Nota.* Velocidades angulares del volante de inercia según la velocidad de trabajo en la bicicleta.

#### 5.4. Energía teórica generada

Una vez obtenidos los datos de revoluciones por minuto del volante de inercia y teniendo en cuenta la relación de transmisión entre el volante y la rueda de fricción, se puede hallar la generación de energía teórica, según las especificaciones del alternador demostradas en la tabla

4, según estos datos, se realiza la tabla 10 donde se muestra el amperaje y la potencia generada por el alternador.

**Tabla 10.**  
*Datos teóricos de generación de energía*

Recorrido [km]	Velocidad angular promedio de la rueda de fricción [rpm]	Amperios aprox del alternador [A]	Potencia producida en el tiempo trabajado [kWh]	Tiempo [min]	Velocidad promedio [km/h]
15,18	3431,77	85	0,37	22,00	41,40
9,88	3274,28	85	0,26	15,00	39,50
15,12	3133,36	85	0,41	24,00	37,80
11,28	3299,14	85	0,29	17,00	39,80
3,43	3415,19	85	0,09	5,00	41,20
18,76	3009,02	85	0,53	31,00	36,30
11,16	2412,19	70	0,32	23,00	29,10
6,27	3116,78	85	0,17	10,00	37,60
6,10	3033,89	85	0,17	10,00	36,60
13,64	2826,65	80	0,38	24,00	34,10
8,20	2718,89	80	0,24	15,00	32,80
4,96	3083,62	85	0,14	8,00	37,20
10,99	3216,25	85	0,29	17,00	38,80
14,45	3265,99	85	0,37	22,00	39,40
28,48	2950,99	80	0,77	48,00	35,60
<b>Promedio</b>			<b>0,32</b>	<b>19,40</b>	<b>37,15</b>

*Nota.* Potencia teórica promedio generada según el tiempo trabajado.

Para la obtención del amperaje se usó los datos que suministró el proveedor del alternador mediante la Figura 25, una vez hallado el amperaje del alternador a las revoluciones trabajadas se obtuvo la potencia teórica generada a dichas RPM mediante la ecuación de la ley de Watt [24].

**Ecuación 20.**  
*Potencia*

$$P = V * I$$

$V =$  Voltaje del generador [V]

$I =$  Intensidad de la corriente del generador [A]

$P =$  Potencia generada [kWh]

**Nota.** Tomado de: M. D. Addario, Manual de electricidad básica, Createspace Independent Publishing Platform, 2015.

Dicha potencia está dada en kWh, por lo que para determinar la energía producida en el lapso de tiempo real, se divide por el tiempo de trabajo del usuario la siguiente manera:

**Ecuación 21.**

*Potencia por unidad de tiempo*

$$\text{Potencia en el tiempo trabajado} = \frac{\text{Potencia}}{\text{tiempo trabajado}} = \frac{P}{t}$$

**Nota.** Tomado de: M. D. Addario, Manual de electricidad básica, Createspace Independent Publishing Platform, 2015.

Una vez obtenidos estos resultados se puede concluir teóricamente que por cada 20 minutos aproximadamente de trabajo en la bicicleta estática, el promedio de personas que concurren el gimnasio generan 0,32 kWh.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. Toma de datos reales

Una vez implementado el sistema real de producción y almacenamiento de energía eléctrica, se realizaron pruebas con usuarios trabajando en la bicicleta, donde se obtuvieron datos de distancia recorrida, tiempo de uso y el voltaje del alternador; mediante estos datos y las demás variables halladas matemáticamente en las anteriores secciones, se halló la potencia real generada por el sistema.

Para el voltaje generado por el alternador, se evidenció que este valor se mantuvo aproximadamente constante en 10 V, con oscilaciones mínimas como se muestra en la figura 51, por lo cual se tomó este valor como una constante en la obtención de la potencia generada según los datos obtenidos por los usuarios en las pruebas reales.

**Figura 51.**  
*Voltaje generado por el generador en pruebas reales*



**Nota.** Resultados de medición de voltaje

Las pruebas reales que se realizaron con usuarios arrojaron los siguientes datos presentados en la tabla 11, en la cual se evidencia la energía real generada mediante el sistema por unidad de tiempo a velocidades promedio.

**Tabla 11.**  
Resultados reales de generación de energía [kWh]

Fecha	Día	Jornada	Género	Edad	Recorrido [km]	Tiempo [min]	Velocidad prom [km/h]	Potencia producida en el tiempo trabajado [kWh]
2/05/2022	lunes	Tarde	Femenino	26	13,35	22	36,4	0,37
2/05/2022	lunes	Tarde	Masculino	28	9,73	15	38,9	0,26
2/05/2022	lunes	Tarde	Femenino	33	14,54	27	32,3	0,43
3/05/2022	martes	Tarde	Femenino	56	9,01	16	33,8	0,26
4/05/2022	miércoles	Mañana	Masculino	22	7,72	11	42,1	0,19
4/05/2022	miércoles	Mañana	Masculino	47	7,38	10	44,3	0,18
4/05/2022	miércoles	Mañana	Masculino	25	5,61	8	42,1	0,14
5/05/2022	jueves	Tarde	Femenino	34	7,95	13	36,7	0,22
5/05/2022	jueves	Tarde	Masculino	36	11,52	18	38,4	0,31
6/05/2022	viernes	Mañana	Femenino	45	13,60	22	37,1	0,37
9/05/2022	lunes	Mañana	Femenino	26	9,20	16	34,5	0,26
9/05/2022	lunes	Mañana	Masculino	28	11,55	18	38,5	0,31
9/05/2022	lunes	Mañana	Femenino	33	14,26	23	37,2	0,39
10/05/2022	martes	Mañana	Femenino	36	5,36	8	40,2	0,14
11/05/2022	miércoles	Tarde	Masculino	22	4,34	6	43,4	0,11
11/05/2022	miércoles	Tarde	Masculino	47	4,23	6	42,3	0,11
12/05/2022	jueves	Tarde	Femenino	24	8,83	15	35,3	0,24
13/05/2022	viernes	Tarde	Masculino	59	14,64	23	38,2	0,39
13/05/2022	viernes	Mañana	Femenino	38	11,28	18	37,6	0,31
<b>Promedios:</b>						<b>17,30</b>	<b>37,82</b>	<b>0,26</b>

*Nota.* Potencia real al trabajar en la bicicleta según el tiempo trabajado.

Basados en los resultados mostrados anteriormente en la tabla 11, Los usuarios que usan la bicicleta estática Spinning Titanium Evolution de la marca Evolution Fitness Corporation S.A.S. seleccionada del gimnasio en un tiempo de 17,30 minutos generan una energía de 0,26 kWh o 260 Wh en promedio.

Comparado con la energía obtenida teóricamente con los datos reales, se obtuvo un error relativo porcentual de 23% que representa una reducción 60 Wh, lo cual no dista en exceso los datos reales de los teóricos.

## 6.2. Cantidad de energía generada por equipo de gimnasio

Teniendo en cuenta los datos obtenidos anteriormente, consultando con el entrenador del gimnasio y lo observado durante la toma de datos, la bicicleta estática funciona en el día un total de 4 horas de forma discontinua y teniendo en cuenta una eficiencia estimada del sistema de 80% debido a las perdidas relacionadas con el proceso; esto quiere decir que la generación de energía durante ese periodo será de 2885,5 Wh.

Por lo tanto, cada bicicleta estática Spinning Titanium Evolution de la marca Evolution Fitness Corporation S.A.S. en la que se implemente el sistema de producción y almacenamiento de energía estará produciendo 2885,5 Wh por día, en un mes calendario de 30 días, se provee que generará 86,5 kWh trabajando 4 horas diarias.

## 6.3. Equipos que se pueden alimentar con la energía producida

**Tabla 12.**

*Consumo de energía de las máquinas presentes en las instalaciones del gimnasio*

Descripción	Cantidad	Potencia total [W]	Coefficiente de potencia	Coefficiente de utilización	Demanda promedio [W]	Demanda diaria [kWh]	Demanda diaria [Ah @ 12V]	Demanda mensual [kWh]
Luces Led 5W	16	80	90%	20,83%	15,00	0,36	30,00	10,80
Equipo de sonido	1	120	100%	41,67%	50,00	1,20	100,00	36,00
Máquina trotadora	4	11936	100%	16,67%	1.989,33	47,74	3.978,67	1.432,32
<b>Total</b>					<b>2.054,33</b>	<b>49,30</b>	<b>4.108,67</b>	<b>1.479,12</b>

**Nota.** La tabla enseña los equipos presentes en el gimnasio con su respectivo consumo además de la demanda energética.

## 7. ESTUDIO ECONÓMICO

### 7.1. Componentes requeridos

Para generar energía eléctrica, es necesaria la adquisición de los siguientes componentes:

- 1 Alternador 12 V
- 1 inductor de 12V a 120 V
- 1 Batería de 12V - 750 Ah
- Base metálica 13,5cm x 14,5
- Tornillería 5/16'' (8 und)
- Soporte resorte
- Resorte de tensión
- Cableado

### 7.2. Inversión inicial

El monto de la inversión inicial se relaciona en la tabla No. 13, la cual relaciona el costo promedio por tipo de componente utilizado; se tiene en cuenta que esta inversión hace referencia a 1 sola bicicleta dado que es nuestro enfoque inicial se ve reflejada en la tabla No. 1, adicionalmente en el análisis no se contempla la adquisición de las bicicletas, únicamente se tiene en cuenta los componentes necesarios para la implementación del sistema de producción y almacenamiento de energía.

**Tabla 13.**

*Inversión inicial, para implementación de 1 bicicleta*

Ítem	Componentes	Cantidad total	Valor unitario	Valor total
1	Alternador 12 V	1	\$270.000	\$270.000
2	Inductor 12 V a 120 V	1	\$900.000	\$900.000
3	Buje en caucho	1	\$8.000	\$8.000
4	Batería de 12V - 750 Ah	1	\$260.000	\$260.000
5	Base metálica 13,5cm x 14,5	1	\$40.000	\$40.000
6	Tornillería 5/16''	8	\$500	\$4.000
7	Soporte resorte	1	\$15.000	\$15.000
8	Resorte de tensión	1	\$10.000	\$10.000
9	Cableado	2	\$5.000	\$10.000
Inversión inicial				<b>\$1.517.000</b>

*Nota.* La tabla muestra los costos de implementación para una bicicleta.

Con el fin de presentar otra alternativa de ahorro al inversionista, se realizó el cálculo para acoplar el sistema de almacenamiento y producción de energía a las 4 bicicletas que actualmente están disponibles en el gimnasio, como se refleja en la tabla 14.

**Tabla 14.**  
*Inversión inicial, para implementación de 4 bicicletas*

Ítem	Componentes	Cantidad total	Valor unitario	Valor total
1	Alternador 12 V	4	\$270.000	\$1.080.000
2	Inversor 12 V a 120 V	1	\$900.000	\$900.000
3	Buje en caucho	4	\$8.000	\$32.000
4	Batería de 12V - 750 Ah	2	\$260.000	\$520.000
5	Base metálica 13,5cm x 14,5	4	\$40.000	\$160.000
6	Tornillería 5/16''	32	\$500	\$16.000
7	Soporte resorte	4	\$15.000	\$60.000
8	Resorte de tensión	4	\$10.000	\$40.000
9	Cableado	8	\$5.000	\$40.000
<b>Inversión inicial</b>				<b>\$2.848.000</b>

*Nota.* Costos de implementación para 4 bicicletas.

Con base a la información suministrada anteriormente, se determina que no se requiere de una inversión excesiva para poder ejecutar el sistema de almacenamiento y producción de energía, sin embargo; en la siguiente sección 7.3, se especifica el ahorro energético.

### **7.3. Ahorro en el consumo de energía eléctrica**

Actualmente la empresa proveedora de energía eléctrica para el gimnasio, es ENEL Codensa, en el sector norte de la ciudad de Bogotá donde el precio del kWh es de \$653.57 [25]; la fórmula que se tomó para determinar el ahorro mensual se discrimina en la ecuación 22.

## Ecuación 22.

### Potencia

$$\text{Ahorro mensual} = \text{Energía generada por el sistema [kWh]} * \text{Costo de energía [\$]}$$

*Nota.* Tomado de: fuente propia

De esta manera se estima que el ahorro mensual generado en el gimnasio es de 2885,5 Wh según los datos expuestos en la sección 6.2 representados en costos equivale a \$56.534 en la ejecución de una sola bicicleta, si se requiere aumentar el ahorro se instalaría este mecanismo en las 4 bicicletas el valor total de la energía generada sería de \$226.136

#### 7.4. Beneficios obtenidos

Teniendo en cuenta el numeral 6.2, los beneficios obtenidos se ven reflejados en los ahorros de energía eléctrica que son de 89.5 en kWh y el costo será de \$56.534 como se evidencia en la tabla No 15, esto sería alrededor de un ahorro energético en la factura mensual de un 6%; mientras que, si se implementara el sistema en las 4 bicicletas el ahorro sería de un 23,4% aproximadamente.

**Tabla 15.**

*Costos de la demanda energética mensual y la energía generada*

Mes	Consumo mensual del Gimnasio [kWh]	Generación energética del sistema [kWh]	Valor del kw/h	Costo mensual energía del gimnasio	Costo mensual de la energía generada
1	1479,12	86,5	\$654	\$966.708	\$56.534

*Nota.* Energía consumida en el gimnasio vs la energía generada por el sistema de producción y almacenamiento.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla No 15, con la energía que genera el sistema no se puede suplir un 100% de la demanda eléctrica del gimnasio, pero si se puede generar un ahorro energético, ya que; la energía generada por el alternador es suficiente para alimentar la iluminación completa del gimnasio que consta de 16 bombillos de 5 Wh cada uno, además del equipo de sonido que tienen un consumo promedio mensual de 36 kWh como se muestra en la

tabla No 12. Por ende, el sistema no llega a generar la energía tal como para suplir la demanda del gimnasio pero sí como para presentar un ahorro en la factura mensual de electricidad.

## 8. VIABILIDAD DEL PROYECTO

### 8.1. Cálculo del PayBack (Recuperación de la inversión)

El PayBack se define como el número de periodos (normalmente meses o años) necesarios para recuperar un capital de inversión [26]. Este es un método estático para evaluar una inversión.

#### **Ecuación 23.**

*PayBack*

$$PayBack = \frac{Lo}{F}$$

Dónde:

*Lo = inversión inicial*

*F = Ganancias*

**Nota.** Tomado de: W. N. P.A. Samuelson, Economía con aplicaciones a Latinoamérica, Mexico, D. F.: Mc Graw Hill, 2010.

Para este caso, la inversión inicial de acuerdo a la sección 7.2 es de \$1.517.000 para la implementación en un solo equipo de gimnasio y el ahorro según los beneficios obtenidos en la sección 7.3 es de \$56.534 mensuales, por ende el PayBack sería de:

#### **Ecuación 24.**

*Calculo de PayBack para una bicicleta*

$$PayBack = \frac{\$1.517.000}{\$56.534}$$

$$PayBack = 26,8 \text{ meses}$$

Si se requiere expandir la implementación del sistema de producción y almacenamiento de energía eléctrica en las 4 bicicletas, la inversión inicial sería de \$2.848.000 por ende el PayBack sería el siguiente:

**Ecuación 25.**

*Calculo de PayBack para 4 bicicletas*

$$PayBack = \frac{\$2.848.000}{\$56.534 * 4}$$

$$PayBack = 12,5 \text{ meses}$$

Según estos resultados se puede concluir que a corto plazo, implementar el sistema en las 4 bicicletas presentes en el gimnasio es la opción más rentable ya que en un estimado de 13 meses se recuperará el capital invertido; mientras que, si se implementa el sistema en una sola bicicleta el retorno de la inversión será evidenciado después de los 27 meses.

**8.2. Cálculo del ROI (Retorno sobre la inversión)**

Con base al numeral 7.3, donde se especifica el ahorro; a continuación se realizará el ROI (Retorno Sobre la Inversión) de 1 sola bicicleta teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

**Ecuación 26.**

*ROI*

$$ROI = \frac{Ganancia - inversión}{Inversión}$$

*Nota.* Tomado de: W. N. P.A. Samuelson, Economía con aplicaciones a Latinoamérica, Mexico, D. F.: Mc Graw Hill, 2010.

El análisis de la información varía con relación al resultado, es decir; cuando el valor arrojado es <0, el retorno de la inversión es negativo por ende no se obtienen utilidades, pero cuando el valor es >1, el retorno de la inversión es positiva [26]. Para este caso, si se implementa en una sola bicicleta y teniendo en cuenta la vida útil de los componentes en óptimas condiciones de alrededor de 5 años, el retorno de la inversión sería:

**Ecuación 27.**

*Calculo del ROI para una bicicleta*

$$ROI = \frac{(\$56.534 * 60 \text{ meses}) - \$1.517.000}{\$1.517.000}$$

$$ROI = 1,24$$

Donde se evidencia que el retorno de la inversión es positivo, por ende no es una inversión rentable a muy corto plazo pero en un periodo de 5 años (60 meses) se evidenciaría un retorno de 1,24 veces el capital invertido; por otro lado, si se implementara el sistema en las cuatro bicicletas el retorno sería:

**Ecuación 28.**

*Calculo del ROI para una bicicleta*

$$ROI = \frac{(\$56.534 * 60 \text{ meses} * 4 \text{ bicicletas}) - \$2.848.000}{\$2.848.000}$$

$$ROI = 3,76$$

Este resultado evidencia que igualmente si se implementara el sistema de producción y almacenamiento de energía en las 4 bicicletas, existiría un retorno de la inversión positivo, en el cual se evidencia que el retorno del capital al cabo de 5 años (60 meses) será de 3,76 veces lo invertido, Por ende, es más rentable la implementación en las 4 bicicletas del gimnasio; ya que, al cabo de 5 años se evidenciaría un retorno positivo de la inversión mayor a la implementación en una única bicicleta.

## 9. CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se planteó una nueva manera de mitigar las problemáticas ambientales y sociales que representan las formas de generación de energía actuales, a través del diseño de un sistema de producción y almacenamiento de energía eléctrica mediante la transformación de energía de una bicicleta estática permitiendo cumplir los objetivos propuestos.

Con base a lo anterior, se da como resultado la selección del equipo de gimnasio donde se llevó a cabo el sistema de producción y almacenamiento de energía eléctrica, el cual fue una bicicleta estática Spinning Titanium Evolution de la marca Evolution Fitness Corporation S.A.S. debido a que se adapta a las limitaciones planteadas, como una implementación de una manera no invasiva que no necesita de modificaciones en la estructura ni diseño del equipo, además de el fácil acceso al volante de inercia y un fácil ensamble del sistema.

El diseño del sistema de producción y almacenamiento, se realizó de tal manera que minimizará los costos de fabricación del soporte, manteniendo un diseño no invasivo y un fácil ensamble en la bicicleta estática, además buscando una eficiencia del consumo de energía eléctrica en el gimnasio, reduciendo los costos del servicio de energía en un 6% para la implementación en una sola bicicleta y de un 23.4% si se implementa en las 4 bicicletas del gimnasio.

Para finalizar, el estudio económico del proyecto fue desarrollado a través del ROI y del PayBack, donde se evidencio un retorno de la inversión en 27 meses para la implementación en una sola bicicleta y en 13 meses para las 4 bicicletas que dispone el gimnasio, por lo cual; la rentabilidad de la implementación del sistema de producción y almacenamiento de energía es positiva.

Este sistema permite almacenar la energía generada en una actividad física que normalmente se desperdicia, este proyecto es una forma de eficiencia energética que permite aprovechar esa energía liberada a la hora de hacer actividad física en las bicicletas estáticas de gimnasio.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] OLADE, «Generación eléctrica mundial y para América Latina y el Caribe (ALC) y su impacto en el sector energético por la pandemia producida por el COVID – 19,» Organización Latinoamericana de Energía, [En línea]. Available: <https://sielac.olade.org/>. [Último acceso: 24 Marzo 2022].
- [2] ENEL, «Descripción del mercado,» [En línea]. Available: <https://www.enel.com.co/es/empresas/enel-generacion/como-se-genera-laelectricidad.html>. [Último acceso: 24 Marzo 2022].
- [3] A. J. D. Agostino, *Diseño de producto: Generación de energía eléctrica a partir de bicicletas fijas de indoor.*, Córdoba, Argentina: Facultad de ciencias exactas, Universidad nacional de Córdoba, 2014.
- [4] Ossfitness.com, «¿Qué tipo de Maquinaria encontramos en un Gimnasio?,» Laia, 24 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://ossfitness.com/tiposmaquinas-gimm>. [Último acceso: 2022 Marzo 24].
- [5] Educación y actividad física, «5 Máquinas Aeróbicas excelentes para quemar calorías,» [En línea]. Available: <https://deportesyeducacionfisica.com/musculacion/maquinas-aerobicas/5-maquinas-aerobicas-excelentes-para-quemar-calorias/>. [Último acceso: 20 Marzo 2022].
- [6] smart fit, «Te Contamos Para Qué Sirve La Escaladora Del Gym,» 25 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://blog.smartfit.com.mx/para-que-sirve-la-escaladora-del-gym/>. [Último acceso: 05 Junio 2022].
- [7] Evolution Fitness, «Bicicleta Spinning Titanium Evolution,» [En línea]. Available: <https://www.evolutionfitness.co/categorias/1-bicicletas/26-bicicletaspinning-titanium-evolution>. [Último acceso: 2022 Junio 2022].
- [8] Iesmarenostrium.com, «Mecanismo biela-manivela,» [En línea]. Available: [https://www.iesmarenostrium.com/departamentos/tecnologia/mecanismo/mecanica\\_basica/mecanismos/mec\\_biela-manivela.html](https://www.iesmarenostrium.com/departamentos/tecnologia/mecanismo/mecanica_basica/mecanismos/mec_biela-manivela.html). [Último acceso: 02 Junio 2022].
- [9] Xunta.gal, «5.3.- Biela-manivela,» [En línea]. Available: <https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/>

53\_bielamanivela.html. . [Último acceso: 01 Junio 2022].

[10 J. C. F. Garcia, *Sistemas De Transmisión Mecánica*, San Andrés: Universidad Mayor de San Andrés, 2012.

[11 C. Ruiz, «Transmisión por correas,» cesarruiz.webnode.com, 03 Enero 2011. [En línea]. Available: [https://cesarruiz.webnode.com.co/\\_files/200000095-1e5b7204f2/TransmisionPorCorreas.pdf](https://cesarruiz.webnode.com.co/_files/200000095-1e5b7204f2/TransmisionPorCorreas.pdf). [Último acceso: 2022 Junio 10].

[12 Lamparadirecta.es, «¿Qué es el factor de potencia de la luz?,» (s.f). [En línea]. Available: <https://www.lamparadirecta.es/blog/que-es-el-factor-de-potencia-de-la-luz>. [Último acceso: 06 Junio 2022].

[13 Ecolite, «Panel de luz LED Colombia.,» (s.f). [En línea]. Available: <https://ecolite.com.co/productos/spot-led-gu10-ecolite-5w-lbgu105w-p166/>. [Último acceso: 06 Junio 2022].

[14 E. Malagón, «Sistemas de almacenamiento de energía,» *Energía para el Futuro*; Inter-American Development Bank, 20 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://blogs.iadb.org/energia/es/sistemas-de-almacenamiento-de-energia-descarbonizacion/>.

[15 Endesa, «El generador eléctrico.,» (s.f). [En línea]. Available: <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/generador-electrico>. [Último acceso: 06 Junio 2022].

[16 Docplayer.Es, «Manual de taller alternadores.,» (s.f). [En línea]. Available: <https://docplayer.es/8935872-Manual-de-taller-alternadores.html>. [Último acceso: 06 Junio 2022].

[17 Made-in-china.com. , «12V 85A Alternador Chevrolet 8483 Delco Lester 96540542,» (s.f). [En línea]. Available: [https://es.made-inchina.com/co\\_atl001/image\\_12V-85A-Alternador-for-Delco-Chevrolet-Lester-8483-96540542\\_esggoiory\\_2f1j00JsFaymAnPGur.html](https://es.made-inchina.com/co_atl001/image_12V-85A-Alternador-for-Delco-Chevrolet-Lester-8483-96540542_esggoiory_2f1j00JsFaymAnPGur.html). [Último acceso: 06 Junio 2022].

[18 Xunta.gal., «Ruedas de fricción,» (s.f). [En línea]. Available: [https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/41\\_ruedas\\_de\\_fricc](https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/41_ruedas_de_fricc). [Último acceso: 06 Junio 2022].

[19 Diccionario etimológico de la lengua castellana, «Caucho,» (s.f). [En línea]. Available:

- ] <https://desocuparlapieza.files.wordpress.com/2016/02/corominas-joan-brevediccionario-etimolc3b3gico-de-la-lengua-castellana.pdf>. [Último acceso: 06 Junio 2022].
- [20 V. U. Libardo, Introducción a los accionamientos de máquinas, Pereira, 2012.
- ]
- [21 Plásticos y Metales para la Industria de México, Acero AISI-SAE 1018 Cold Rolled,
- ] Reynosa, Mexico: Vazbros Plásticos y Metales Industriales en Reynosa, (s.F).
- [22 R. Hibbeler, Ingeniería Mecánica ESTÁTICA, Naucalpan de Juárez, Estado de México:
- ] Pearson, 2010.
- [23 D. J. A. Baldor, Geometría plana y del espacio, Mexico: Publicaciones cultural, 2004.
- ]
- [24 M. D. Addario, Manual de electricidad básica, Createspace Independent Publishing Platform,
- ] 2015.
- [25 ENEL, «Descripción del mercado,» (s.f). [En línea]. Available:
- ] <https://www.enel.com.co/es/empresas/enel-generacion/como-se-genera-laelectricidad.html>.  
[Último acceso: 24 Marzo 2022].
- [26 W. N. P.A. Samuelson, Economía con aplicaciones a Latinoamérica, Mexico, D. F.: Mc
- ] Graw Hill, 2010.

ANEXOS  
ANEXO 1.  
CATALOGO DE CABLEADO

» **CATÁLOGO**  
DE PRODUCTOS





Conductor de cobre para 600 V. aislado con policloruro de vinilo (PVC) 60°C resistente a la humedad.

### CONSTRUCCIÓN

Los conductores tipo TW pueden ser sólidos o cableados y están contruidos con cobre de temple suave, están además aislados con una capa uniforme de material termoplástico policloruro de vinilo (PVC) resistente a la humedad. Pueden ser suministrados en colores variados según su calibre y con distintas formas de embalaje.

### APLICACIONES

Los conductores de cobre tipo TW son utilizados para circuitos de fuerza y alumbrado en edificaciones industriales, comerciales y residenciales, tal como se especifica en el National Electrical Code. Este tipo de conductor puede ser usado en lugares secos y húmedos, su temperatura máxima de operación es 60 °C y su tensión de servicio para todas las aplicaciones es 600 V.

### ESPECIFICACIONES

Los conductores de cobre tipo TW fabricados por ELECTROCABLES C.A., cumplen con las siguientes especificaciones y normas:

- ▶ **ASTM B3:** Alambres de cobre recocido o suave.
- ▶ **ASTM B8:** Conductores trenzados de cobre en capas concéntricas.
- ▶ **ASTM B787:** Conductores trenzados de cobre de 19 hilos, formación unilay para ser aislados posteriormente.
- ▶ **UL 63:** Alambres y cables aislados con material termoplástico.
- ▶ **ANSI/ NEMA WC-70**  
**ICEA S-95-658** : Cables de potencia nominal 2000 V. o menos, para distribución de energía eléctrica.
- ▶ **NTE INEN 2 345:** Conductores y alambres aislados con material termoplástico.

Además de todos los requerimientos del National Electrical Code.

Conductor de cobre para 600 V. aislado con policloruro de vinilo (PVC) 60°C resistente a la humedad.

CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Diámetro Externo Aprox. (mm)	Peso total Aprox. (kg / km)	*Capacidad de Corriente (A)
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm <sup>2</sup> )	No. Hilos				
<b>FORMACIÓN SÓLIDO Y CABLEADO CONCÉNTRICO</b>						
14	2,08	1	0,76	3,15	26,30	15
12	3,31	1	0,76	3,57	38,62	20
10	5,261	1	0,76	4,11	57,72	30
8	8,367	1	1,14	5,54	95,99	40
8	8,367	7	1,14	5,98	101,89	40
6	13,3	7	1,52	7,70	164,63	55
4	21,15	7	1,52	8,92	245,90	70
<b>FORMACIÓN UNILAY</b>						
14	2,08	19	0,76	3,32	27,58	15
12	3,31	19	0,76	3,82	40,60	20
10	5,261	19	0,76	4,41	60,56	30
8	8,367	19	1,14	5,90	100,61	40
6	13,3	19	1,52	7,60	162,56	55
4	21,15	19	1,52	8,79	242,87	70
2	33,62	19	1,52	10,29	367,85	95
1	42,4	19	2,03	12,20	480,40	110
1/0	53,49	19	2,03	13,21	591,62	125
2/0	67,44	19	2,03	14,33	730,21	145
3/0	85,02	19	2,03	15,59	903,58	165
4/0	107,2	19	2,03	17,01	1120,73	195
<b>FORMACIÓN CABLEADO CONCÉNTRICO</b>						
250	126,7	37	2,41	19,44	1350,37	215
300	152	37	2,41	20,82	1599,11	240
350	177	37	2,41	22,12	1844,34	260
400	203	37	2,41	23,31	2097,39	280
500	253	37	2,41	25,48	2583,14	320
600	304	61	2,79	28,26	3117,04	355
750	380	61	2,79	30,93	3822,35	400
1000	507	61	2,79	34,84	5033,71	455

\* Capacidad máxima de corriente, para no más de 3 conductores en tensión en ducto, cable o tierra (directamente enterrados), para temperatura ambiente de 30°C. Ref NEC (Tabla 310.16).

ANEXO 2.  
CATALOGO DE INVERSOR



Inversor de energía ERAYAK® Convertidor de CC a CA

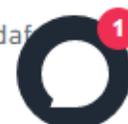
 inglés >

para camión solar, autocaravana,  
automóvil, clásico



## Especificaciones

Tensión de salida	120V ± 10V	230V ± 10V
Potencia continua máxima	120 % de vatios nominales	
La punta del Poder	200% de vatios nominales	
Forma de onda	Onda sinusoidal modificada	
Voltaje nominal de entrada	CC 13 V +/- 0,2 V	26 V CC +/- 0,4 V
Rango de tensión de funcionamiento	CC 11V - 15V	CC 22V - 30V
Corriente sin carga	≤1.3A	≤0.7A
máx. eficiencia	≥85%	
Entrada de alarma de bajo voltaje	CC 10,5 V +/- 0,3 V	21 V CC +/- 0,4 V
Protección de entrada de bajo voltaje	CC 9,5 V +/- 0,3 V	CC 19 V +/- 0,4 V
Protección contra sobretensión de entrada	CC 16 V +/- 0,3 V	CC 32 V +/- 0,4 V
Solicitud	Aparatos domésticos y de oficina, equipos de energía portátiles, vehículos, yates y sistemas de energía solar fuera de la red ... etc.	
Tipo de enchufe	Europeo/Francia/italiano/Reino Unido/australiano/americano/universal/sudamericano/brasileño, etc.	



ANEXO 3.

CATALOGO DE ALTERNADOR DELCO



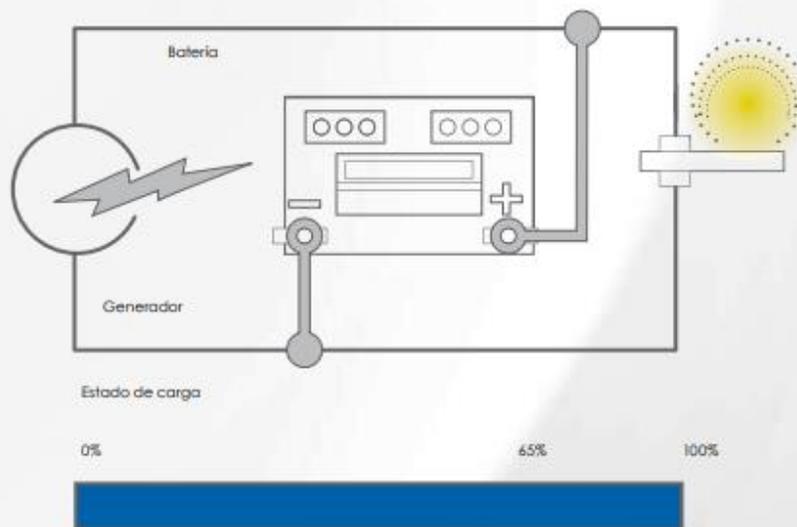
## ALTERNADORES

### Descripción y funcionamiento

El alternador es un dispositivo electromagnético que transforma la energía mecánica en energía eléctrica. El alternador produce corriente alterna (AC) en su estator; este voltaje se envía después a través de un ensamble rectificador y la convierte en corriente directa (DC) para su uso en el sistema eléctrico del vehículo.

Cuando el motor no está funcionando, la batería proporciona la energía necesaria a todos los sistemas eléctricos del vehículo. Una vez que el motor está funcionando, el alternador se convierte en la "planta generadora de electricidad" y se requiere que actúe como una fuente confiable de energía para alimentar todos los dispositivos eléctricos y electrónicos del automóvil (ECM, ABS, iluminación, entretenimiento, etcétera), así como para recargar la batería hasta un punto de referencia de voltaje óptimo.

OPERACIÓN DEL GENERADOR MOTOR FUNCIONANDO CON RECARGA DE BATERÍA



## Componentes

- **Carcasa.** Aloja todos los componentes del alternador.
- **Rotor.** Se conecta directamente a una polea, de modo que una banda lo haga girar cuando el motor esté en marcha.
- **Estátor.** Se monta a la carcasa del generador y permanece estacionario.
- **Regulador de voltaje.** Se puede montar dentro o fuera de la carcasa del generador; controla la corriente de campo aplicada al rotor.
- **Ensamble rectificador.** Convierte la corriente alterna (AC) en corriente directa (DC).
- **Aspas de ventilación.** Mientras la corriente fluye a través del ensamble rectificador, se genera una cantidad importante de calor; por esto, los alternadores requieren aspas de ventilación. Algunos alternadores están diseñados con un solo ventilador externo y grande. Otro diseño ocupa dos ventiladores internos, más pequeños, que enfrían con mayor eficacia.
- **Polea.** Es impulsada por el cigüeñal a través de la banda de accesorios.

## Mantenimiento

La mayoría de los alternadores no requieren mantenimiento periódico, ya que los baleros contienen lubricante permanentemente. ACDelco recomienda reemplazar los alternadores en lugar de repararlos.



## Diagnóstico

Un mal funcionamiento, la activación o la desactivación de algunos componentes pueden causar un diagnóstico erróneo del sistema de carga. Realice una revisión rápida de los componentes antes de reemplazar el generador.

# TABLA DE APLICACIONES DE ALTERNADORES



La garantía de los expertos

Modelo	Submodelo	Años de cobertura		Tipo de motor	Motor (litros)	Tipo de inyección	Amperios salida	Características	Tipo de alternador		No. ACDelco
		Inicial	Final						Nuevo	Remanufacturado	
<b>GENERAL MOTORS</b>											
<b>CADILLAC</b>											
<b>SUV's</b>											
Escalade		2003	2004	V8	5.3		105	ACD	N		AB247
		2003	2004	V8	6.0		105		N		AB247
<b>CHEVROLET</b>											
<b>Automóviles</b>											
Aveo		2008	2016	L4	1.6	DOHC MPI	95		N		17D005MX
Chevy		1994	2012	L4	1.6	SFI MPI (SOHC)	100		N		A4669353
Corsa		2003	2005	L4	1.8		80		N		A3315175
Matiz		2011	2016	L4	1.0	Engine gas. 1.0L, MPI, 4 cil., OHC, 48kW	65		N		17D006MX
Optra		2007	2010	L4	2.0	DOHC MPI	85		N		17D004MX
<b>SUV's</b>											
Astro		2001	2004	V6	4.3		105		N		AB247
Suburban		2000	2005	V8	5.3		105		N		AB247
		2000	2005	V8	6.0		105		N		AB247
		2000	2005	V8	8.1		105		N		AB247
		1996	2000	V8			105		N		AB206
Tahoe		2000	2005				105		N		AB247
		1996	2000	V8	5.3		105		N		AB206
<b>Camionetas</b>											
Avalanche		2002	2004	V8	5.3		105		N		AB247
		2002	2004	V8	8.1		105		N		AB247
Silverado		1999	2005				105		N		AB247
Tornado		2003	2005				80		N		A3315175
<b>Comerciales</b>											
Express Van	Passenger/ Cargo Van	2001	2004	V8	4.3		105		N		AB247
	Van 1/2 ton. Cargo	1996	2000	V6	4.3		105		N		AB206
	Van 1/2 ton. Cargo	1996	2000	V6	5.7		105		N		AB206
	Van 1/2 ton. Cargo	1996	2000	V6	6.5		105		N		AB206
	Van 1/2 ton. Cargo	1996	2000	V6	5.0		105		N		AB206
	Van 1/2 ton. Cargo	1996	2000	V8	7.4		105		N		AB206
Pickup	S	1996	2000	V8			105		N		AB206
<b>GMC</b>											
<b>SUV's</b>											
Safari		2001	2004	V6	4.3		105		N		AB247
Savana		2001	2004	V6	4.3		105		N		AB247
		2001	2004	V8	5.0		105		N		AB247
		2001	2004	V8	5.7		105		N		AB247
		2001	2004	V8	6.0		105		N		AB247
		2001	2004	V8	6.5		105		N		AB247
		2001	2004	V8	8.1		105		N		AB247
Yukon		2000	2005	V6	4.8		105		N		AB247
		2000	2005	V8	5.3		105		N		AB247
		2000	2005	V8	6.0		105		N		AB247
		2000	2005	V8	8.1		105		N		AB247
	1996	2000	V8			105		N		AB206	
<b>Camionetas</b>											
Sierra		1999	2005	V6	4.3		105		N		AB247
		1999	2005	V6	4.8		105		N		AB247
		1999	2005	V8	5.3		105		N		AB247
		1999	2005	V8	6.0		105		N		AB247
		1999	2005	V8	6.5		105		N		AB247
		1999	2005	V8	6.6		105		N		AB247
	1999	2005	V8	8.1		105		N		AB247	

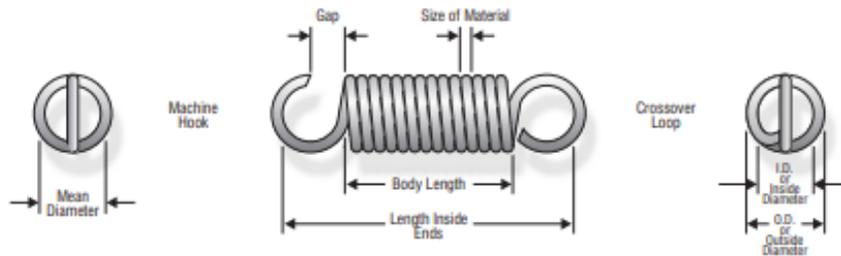
## ANEXO 4. CATALOGO RESORTE

### EXTENSION SPRINGS

Century Spring warehouses the largest inventory of high grade extension springs in the world. All of these springs are of the constant diameter type with a variety of hook/loop styles. Each spring is wound with an ini-

tial tension force which offers a small deflection load for secure installation holding. The initial tension is equal to the minimum force required to separate adjacent coils.

#### Selecting an Extension Spring:



Turn to a page with outside diameters (O.D.) of interest. O.D.'s found in the left column of the page increase with page numbers.

Next find the spring's length or rate (strength) you require. These values are normally in increasing order also.

The rate is the load (pounds) it takes to deflect (stretch) the spring one theoretical inch. The rate is linear, i.e., if the rate = 40 lbs./in, it would take 10 pounds to deflect it 1/4 inch and 80 pounds to deflect it 2 inches, etc.. The initial tension (I.T.) must be overcome before stretching commences.

The load required to stretch a spring to some point is equal to the sum of the initial tension and the distance it stretched times its rate.

$$\text{TOTAL FORCE} = \text{I.T.} + \text{DEFLECTION} \times \text{RATE}$$

If the required springs O.D. and/or length are not important, select a page having reasonably sized springs for your application and scan the Maximum Suggested Load column. This value is the force created at the Maximum Suggested Deflection and includes the initial tension. The suggested maximum deflection and loads listed are for a spring expected to give an average cycle life of around 100,000 cycles. As cycling increases, the maximum load should be decreased in order to support a long service life.

The use of a fish scale of an appropriate size can be a convenient aid in determining the load required.

If a spring cannot be found for your application in our catalog inventory, we can build it for you. If a certain low minimum quantity is met, there will be no increase in cost. If you need assistance in selecting your spring, call us; we will be glad to help.

#### Design Information

The basic extension rate and body-wire stress can be calculated with:

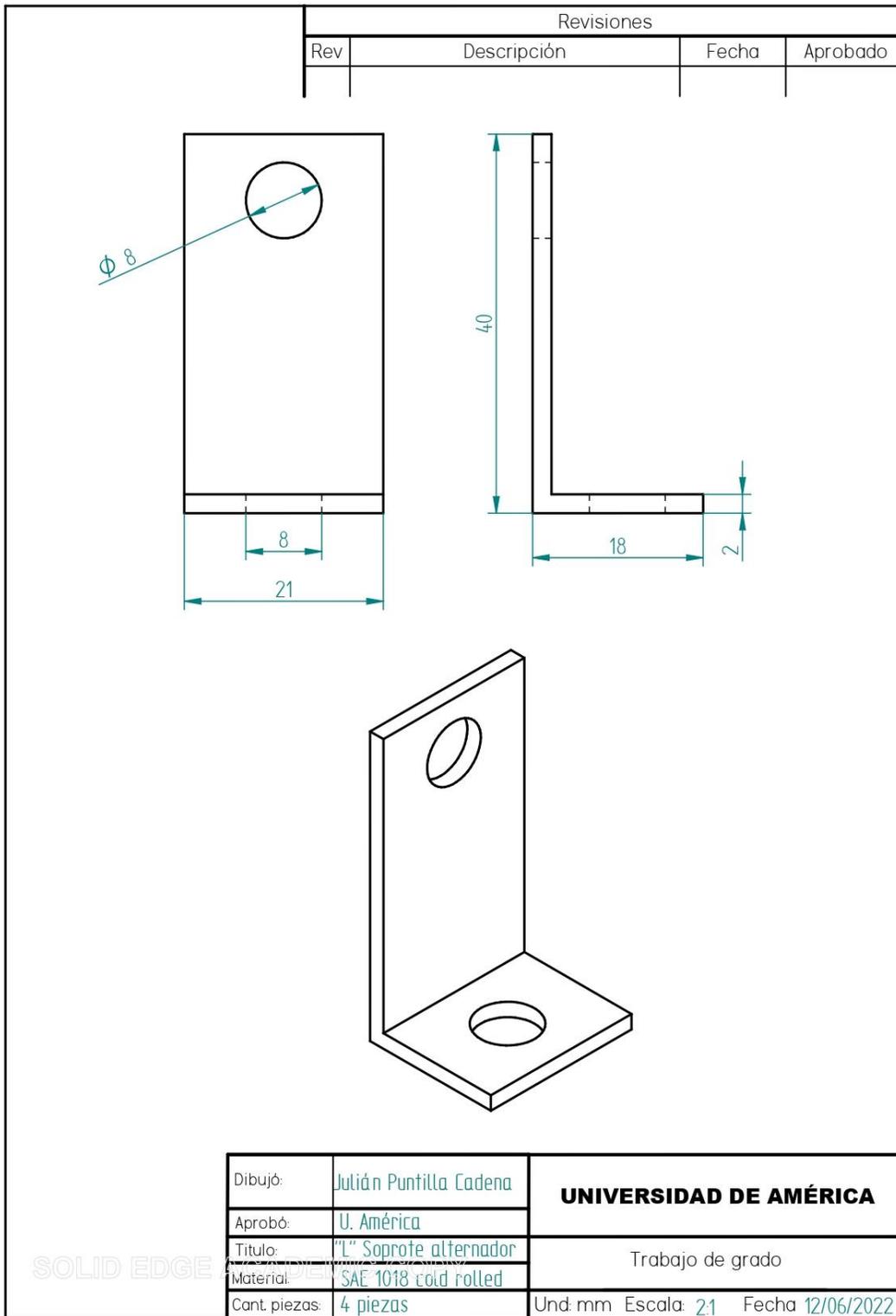
$$R = \frac{Gd^4}{8nD^3} \quad \text{and} \quad R = \frac{P}{\Delta}$$

$$S = \frac{SPDK}{\pi d^3} + S_1 \quad \text{or} \quad S = \frac{SRDK\Delta}{\pi d^3}$$

Where: D = Mean diameter, (O.D. - d) inches  
d = Wire diameter, inches  
G = Modulus (spring steel=11.5x10<sup>6</sup>, stainless10x10<sup>6</sup>)  
K = Stress correction factor, see next page  
n = Number of coils  
P = Applied load, lbs.  
R = Rate (constant), lbs./in.  
S = Body wire stress, psi  
Δ = Deflection (stretch) due to load, inches  
p = 3.14  
S<sub>1</sub> = Stress due to Initial Tension (see page 220)

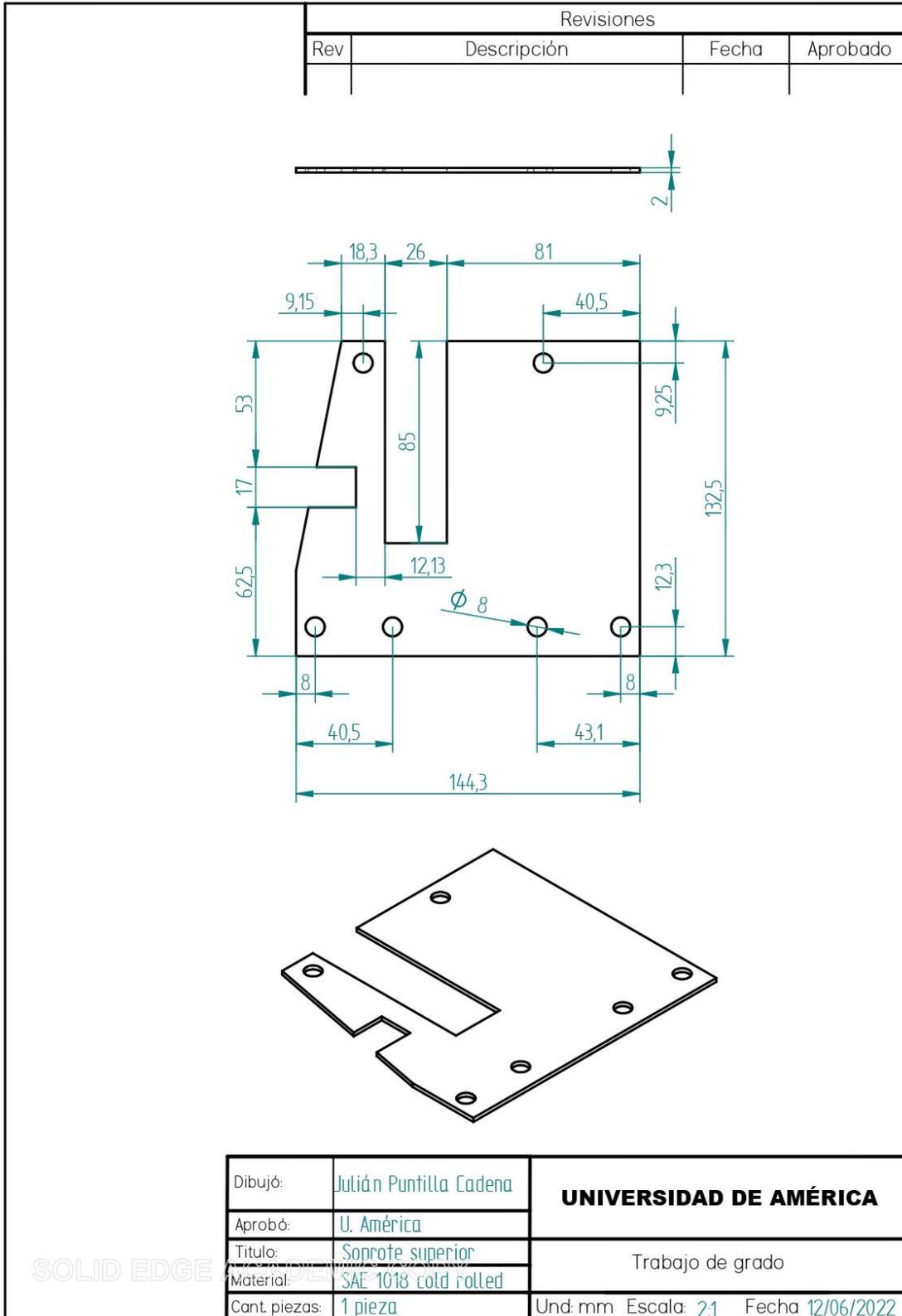


**ANEXO 5.**  
**PLANO L SOPORTE**



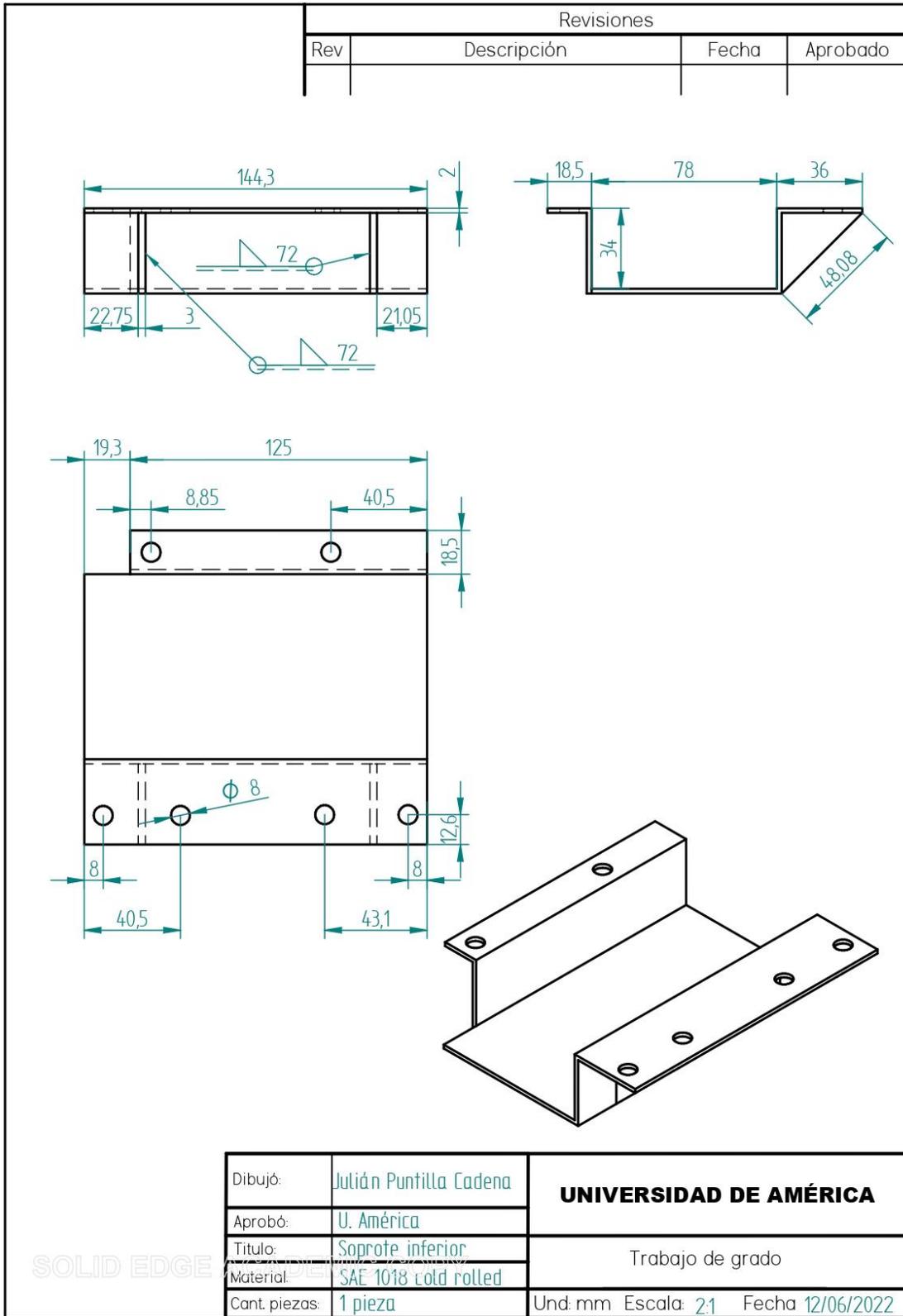
## ANEXO 6.

### PLANO SUPERIOR SOPORTE



## ANEXO 7.

### PLANO INFERIOR SOPORTE



## **ANEXO 8.**

### **RECOMENDACIONES**

Ante los ahorros demostrados en el capítulo anterior, se recomienda al inversionista desplegar este sistema de producción y almacenamiento de energía, en las 4 bicicletas estáticas, contemplando la posibilidad de implementar un sistema de eficiencia energética similar en otros equipos de gimnasio siempre y cuando se tenga en cuenta que se tendrá que realizar modificación al diseño y la estructura del equipo.