

**CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE MÁQUINA MULTIFUERZA PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE ESFUERZO
FÍSICO COMO SUPLEMENTO A LA DEMANDA ENERGÉTICA**

**LAURA XIMENA BARÓN SANTOS
LAURA CAMILA MAHECHA CEPEDA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2015**

**CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE MÁQUINA MULTIFUERZA PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE ESFUERZO
FÍSICO COMO SUPLEMENTO A LA DEMANDA ENERGÉTICA**

**LAURA XIMENA BARÓN SANTOS
LAURA CAMILA MAHECHA CEPEDA**

**Trabajo de tesis para optar por el título de Ingeniero Ambiental
Modalidad: Solución de un problema de Ingeniería**

**Director, Juan José Vargas Osorio
Ingeniero Ambiental y Sanitario
MSC en Economía Ambiental**

**Codirector, Iván Orlando Cabeza Rojas
PhD en Ingeniería química – Recursos Naturales y Medio Ambiente**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2015**

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, D.C. 30 de Junio del 2015

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar queremos expresar nuestros agradecimientos a nuestro director y codirector, los Ingenieros Juan José Vargas Osorio e Iván Orlando Cabeza Rojas, por la dedicación y el apoyo que hicieron posible la realización de este proyecto.

A nuestros padres, Antonio Barón, Gladys Santos, Jairo Mahecha y Myriam Cepeda, por apoyarnos en todo lo propuesto, además del apoyo económico para el desarrollo del mismo.

A todos los profesores que nos acompañaron en este proceso, en especial a Jesús Villareal, Gabriel Acevedo, Nidia Ortiz y Felipe Leal por compartir sus conocimientos, por su tiempo, dedicación y comprensión.

A nuestros amigos, por hacer parte de nuestra investigación, apoyarnos en todo momento durante este proceso, y siempre estar ahí. A Daniel Trujillo, Alejandra Hernández, Jennifer Ayala, Camilo Santana, José Roa, Tatiana García, Andrea León, Claudia Barajas y demás amigos que nos acompañaron.

A los asesores externos, William Romero, Manuel Fajardo, Natalia Mahecha, Alejandro Monroy y demás personas involucradas, por sus asesorías y desarrollo de nuestras ideas.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GENERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1 MARCO TEÓRICO	4
3.1.1 FISIOLÓGÍA DEL DEPORTE	4
3.1.1.1 Rendimiento físico	5
3.1.1.2 Potencia muscular	5
3.1.2 SISTEMA MECÁNICO	7
3.1.2.1 Sistemas de transmisión de movimiento.....	8
3.1.2.2 Sistemas de transformación de movimiento	10
3.1.3 SISTEMA NEUMÁTICO.....	11
3.1.3.1 Compresor	12
3.1.4 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	13
3.1.4.1 Tipos de generadores	13
3.1.4.2 Batería o acumulador de energía.....	14
3.1.5 GIMNASIOS VERDES	15
3.2 MARCO CONCEPTUAL	19
3.3 MARCO LEGAL	24
4. MATERIALES Y MÉTODOS	26
4.1 METODOLOGÍA	26
4.1.1 Revisión bibliográfica	26
4.1.2 Fisiología.....	27
4.1.3 Elección de prototipo para la generación de energía.....	28
4.1.3.1 Diseño del sistema mecánico.....	28
4.1.3.2 Diseño del sistema neumático	30
4.1.3.3 Selección de los generadores y acumuladores.....	30
4.1.3.4 Construcción del sistema	31
4.1.3.5 Viabilidad del proyecto	31

5	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	32
5.1	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	32
5.1.1	Fisiología.....	32
5.1.1.1	Grupos musculares del cuerpo humano	32
5.1.1.2	Ejercicios que se desarrollan para ejercitar los grupos musculares.....	33
5.1.1.3	Máquinas multifuerza capaces de desarrollar mayor cantidad de ejercicio.....	34
5.1.2	Elección del prototipo para la generación de energía.....	35
5.1.2.1	Sistema mecánico.....	35
5.1.2.2	Sistema neumático	37
5.1.3	Generadores y acumuladores eléctricos	37
5.2	FISIOLOGÍA.....	39
5.2.1	Grupos musculares del cuerpo humano	39
5.2.2	Selección del grupo muscular	39
5.2.3	Ejercicios que se desarrollan para ejercitar los grupos musculares.....	42
5.2.4	Selección de la máquina multifuerza	42
5.3	ELECCIÓN DEL PROTOTIPO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ...	44
5.3.1	Diseño del sistema mecánico	44
5.3.2	Diseño del sistema neumático	49
5.3.3	Construcción del prototipo	55
5.3.4	Viabilidad del prototipo.....	56
6.	CONCLUSIONES.....	61
7.	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	64
	ANEXOS.....	67

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Sistemas de transmisión de movimiento.....	9
Tabla 2. Sistemas de transformación de movimiento	10
Tabla 3. Sistema neumático	11
Tabla 4. Tipos de compresores.....	12
Tabla 5. Leyes de gases ideales.....	12
Tabla 6. Clasificación de baterías	14
Tabla 7. Marco legal	24
Tabla 8. Planes gubernamentales	24
Tabla 9. Grupos musculares.....	33
Tabla 10. Ejercicios según el grupo muscular	33
Tabla 11. Máquinas multifuerza	35
Tabla 12. Ventajas y desventajas de los sistemas de transmisión de movimiento.....	36
Tabla 13. Ventajas y desventajas de los sistemas de transformación de movimiento.....	37
Tabla 14. Ventajas y desventajas del Sistema Neumático	37
Tabla 15. Generadores eléctricos	38
Tabla 16. Clasificación de baterías	38
Tabla 17. Revisión estudios de los grupos musculares	39
Tabla 18. Grupo muscular esquirotibial.....	40
Tabla 19. Rutinas a realizar en la máquina multifuerza	43
Tabla 20. <i>Elementos que componen el sistema mecánico</i>	46
Tabla 21. Energía generada por el Sistema Mecánico	49
Tabla 22. Elementos que componen el sistema neumático	50
Tabla 23. Datos de velocidad registrados en laboratorio	53
Tabla 24. Energía generada por el sistema neumático.....	54
Tabla 25. Consumo energético del gimnasio Training & Fitness GYM y el hogar	56
Tabla 26. Ahorro anual del gimnasio <i>Training & Fitness GYM</i> y el hogar	58
Tabla 27. Viabilidad ambiental del proyecto	60

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Equivalencia fuerza de mujer vs fuerza varón	7
Figura 2. Generador eléctrico elemental	13
Figura 3. Generador de dc elemental	13
Figura 4. Forma óptima del plato de la bicicleta de Spinning.....	17
Figura 5. Principales grupos musculares	32
Figura 6. Músculos esquirotibiales	40
Figura 7. Músculo bíceps braquial	41
Figura 8. Máquina MTDP-7060 de BodyTone.....	42
Figura 9. Caja de reducción	45
Figura 10. Máquina multifuerza generadora de energía	55

LISTA DE DIAGRAMAS

	Pág.
Diagrama 1. Rendimiento físico	5
Diagrama 2. Clasificación de los mecanismos.....	8
Diagrama 3. Modelo entradas y salidas de HP	16
Diagrama 4. Metodología - Desarrollo central	26
Diagrama 5. Sistema de generación de energía - Sistema Mecánico.	45
Diagrama 6. Sistema de generación de energía - Sistema Neumático.....	50

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Máquina multifuerza generadora de energía	67
Anexo 2. Diseño cadena.	68
Anexo 3. Diseño del tren de engranajes.	68
Anexo 4. Diseño de la Caja de reducción.	69
Anexo 5. Acople de la cadena en el tren de engranajes.	69
Anexo 6. Diagrama de flujo de Sistema Neumático.	70
Anexo 7. Diseño del Sistema Neumático.	70
Anexo 8. Acople polea-plato.	71
Anexo 9. Cambio de platinas por brazo.	71
Anexo 10. Caja de reducción acoplada a la máquina multifuerza.	72
Anexo 11. Acoplamiento caja de reducción.	72
Anexo 12. Tabla de muestreos	73
Anexo 13. Costos Caja de Reducción.	73
Anexo 14. IPC anual e incremento.	74
Anexo 15. Viabilidad económica <i>Training & Fitness GYM</i> y hogar.	76

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objeto la construcción del prototipo a escala 1:1 de una máquina multifuerza generadora de energía eléctrica como suplemento a la demanda energética de un gimnasio y un hogar, este prototipo fue diseñado tomando como referencia la generación de energía eléctrica por medio de esfuerzo físico, como un tipo de energía no convencional, conocido como *Human Power* (HP).

Para tal fin, se realizó una revisión bibliográfica, con la cual fue posible identificar los grupos musculares del cuerpo humano que son capaces de generar mayor potencia, sistemas de transmisión y transformación de movimiento, generadores y acumuladores eléctricos, con lo cual se construyó una caja de reducción compuesta por un tren de engranajes y una cadena, los cuales son de fácil acople en una máquina multifuerza MTDP-7060 de *BodyTone*, que fue elegida con el fin de ejercitar los grupos musculares identificados (esquiotibiales y antebrazo).

La viabilidad económica y ambiental de este proyecto se realizó tomando como referencia el consumo energético del gimnasio *Training & Fitness GYM* y un hogar habitado por 3 adultos, con el cual se lograría un ahorro anual de \$1'498.400,83 y una reducción de la huella de carbono del 3,52% en ton CO_{2eq} para el gimnasio y un ahorro anual de \$374.600,21 y una reducción del 18,85% en ton CO_{2eq} para el hogar.

1. INTRODUCCIÓN

La demanda energética global se ha ido incrementando, por lo cual se ha creado la necesidad de implementar energías renovables, las cuales busquen suplir este consumo con menor impacto al medio ambiente, generando ventajas económicas, ambientales y globales para quienes las empleen. Dentro de estos beneficios se encuentra el desarrollo de nuevas tecnologías para comunidades vulnerables, beneficios económicos a las empresas al implementar estas alternativas, reducción en la huella de carbono, generando reconocimiento ambiental, entre otras.

Las energías renovables según C. Belt, *et. al* [30] se generan a partir de fuentes de energía inagotables, como energía solar, hidráulica, eólica, biomasa (líquida, sólida o gasificada) y geotérmica, dentro de lo cual América Latina y el Caribe presentan una gran ventaja sobre las demás regiones, al contar con gran diversidad de recursos naturales, sin embargo, la infraestructura del sistema energético no es la suficiente para interconectar el 100% de la población, lo que lleva a tener una demanda insuficiente de energía para la misma [1].

Human Power (HP) presenta una solución para este problema, al implementar energías no convencionales, que surgen como suplemento a la demanda energética de las poblaciones, con las cuales se aprovechan los impulsos, tensiones o vibraciones del cuerpo humano cuando se realiza un esfuerzo físico, creando una nueva alternativa de generación de energía [1].

Por medio del principio de HP y tomando como referencia que la máquina que aprovecha el movimiento de una mayor cantidad de grupos musculares del cuerpo humano es una multifuerza, se diseñó un prototipo a escala 1:1 de una caja de reducción compuesta de un tren de engranajes y una cadena que permita aumentar las revoluciones que se generan por cada repetición en una rutina establecida para los grupos musculares del cuerpo humano que son capaces de generar mayor potencia (esquiotibiales y antebrazo), las cuales serán conducidas a un dínamo que permita transformar la energía mecánica en eléctrica y poder almacenar para su consumo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Construir el prototipo de una máquina multifuerza para la generación de energía eléctrica por medio de esfuerzo físico como suplemento a la demanda energética.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los grupos musculares del cuerpo humano y ejercicios que estén en la capacidad de producir mayor potencia para el diseño de la máquina multifuerza.
- Evaluar los diferentes sistemas de transmisión de movimiento, así como los tipos de generadores viables para la producción de energía eléctrica.
- Diseñar la máquina multifuerza, teniendo en cuenta el sistema de transmisión de movimiento establecido, el tipo de generador y el grupo muscular que pueda generar mayor potencia.
- Construir el prototipo de la máquina multifuerza de acuerdo al diseño establecido a escala 1:1.
- Evaluar el funcionamiento de la máquina multifuerza, de acuerdo a la generación de energía eléctrica, según los grupos funcionales.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 MARCO TEÓRICO

3.1.1 FISIOLOGÍA DEL DEPORTE

El conjunto de músculos se clasifica en dos grandes grupos, debido a sus diferencias morfológicas, funcionales, de tipo nervioso y humoral. Se pueden clasificar en músculos lisos y estirados [2].

- Los músculos lisos son controlados por el sistema nervioso, por lo general están inactivos, sin embargo, se contraen por medio de una estimulación nerviosa, existen dos tipos: los músculos lisos de unidades múltiples y los músculos lisos de una sola unidad [3].
- Los músculos estirados o esqueléticos se encuentran la mayoría de veces conectados con el esqueleto directa o indirectamente. Esto se caracteriza por utilizar grandes cantidades de energía en su contracción en pequeños plazos [4].

Las acciones del sistema motor dependen del sistema nervioso, el cual está en la capacidad de gobernar a los músculos esqueléticos [5].

Diversas estructuras controlan la actividad motora y se organiza de manera jerárquica. En la medula espinal se encuentran los circuitos neuronales los cuales controlan reflejos y movimientos, y en la corteza se controla el sistema motor [5].

Durante el ejercicio, el músculo esquelético satisface sus demandas energéticas utilizando sustratos que proceden del organismo gracias a la ingestión diaria de nutrientes. Los sustratos energéticos de los cuales el músculo esquelético obtiene la energía son las grasas y los carbohidratos, estos sustratos no son utilizados directamente por la célula muscular, sino que estos deben ceder la energía en forma de ATP [5].

La energía mecánica obtenida por parte del cuerpo humano se obtiene a partir de la energía química, en forma de ATP, generada por el músculo esquelético mediante procesos oxidativos; esta energía solo se aprovecha en un 25%, el resto se va en forma de calor [2].

Según Barbany J. [2] la energía mecánica puede verse expresada en el cuerpo humano mediante:

- **El movimiento:** Por el cambio de posición en el espacio de la totalidad o de alguna de las partes del organismo.
- **La fuerza:** El objetivo es modificar la relación espacial entre el organismo y los objetos que lo rodean, o entre estos.
- **La presión:** Por medio de la cual se comunica un impulso de la fuerza con una determinada superficie.

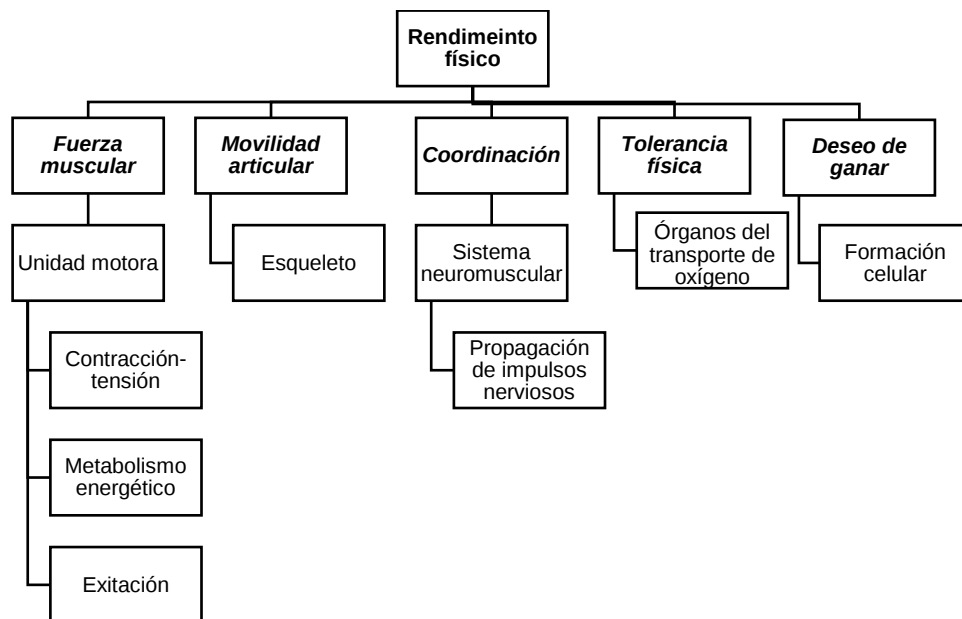
El músculo esquelético se caracteriza por tener propiedades de [6]:

- **Excitabilidad:** Propiedad de responder a estímulos químicos contrayéndose.
- **Contractilidad:** Capacidad de acortarse y generar fuerza para realizar trabajo.
- **Extensibilidad:** Capacidad de estiramiento que tiene el músculo sin lesionarse.
- **Viscoelasticidad:** Propiedad que tiene el músculo de recuperar su forma después de haberse contraído o extendido.

3.1.1.1 Rendimiento físico

El rendimiento físico de un deportista está ligado al metabolismo energético, el cual se encuentra en función del tipo de actividad deportiva, duración e intensidad. El tipo de producción de energía se encuentra en relación con la intensidad del ejercicio y con el tipo de metabolismo (aeróbico y anaeróbico) [7].

Diagrama 1. Rendimiento físico



FUENTE: Manual de fisiología del ejercicio [7].

En el Diagrama 1, se observa la base estructural y los procesos bioquímicos implicados según la función del cuerpo desarrollada para el rendimiento físico, según esto es posible determinar el costo energético, al realizar ejercicios físicos como caminar, correr, ciclismo, entre otros [7].

3.1.1.2 Potencia muscular

La generación de fuerza o tensión es producida por la contracción del músculo a una determinada velocidad, dependiendo de su capacidad, la cual obedece a

diferentes factores estructurales, biomecánicos y funcionales de cada individuo [2].

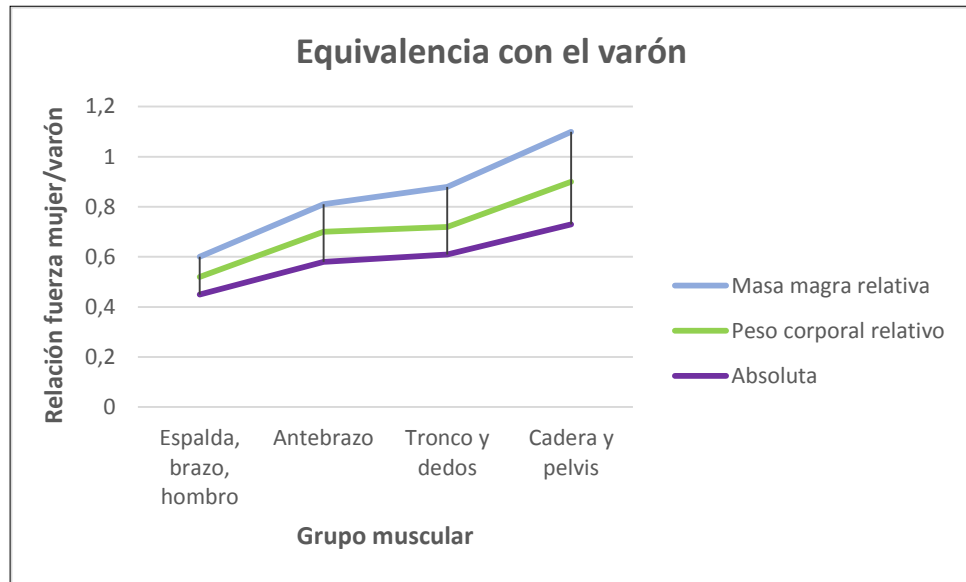
- **Factores estructurales:** La morfología y estructura muscular intervienen en la potencia que desarrolla un músculo, teniendo en cuenta que la capacidad de generación de tensión y la fuerza máxima que puede alcanzar un cuerpo, depende del volumen muscular, la superficie de sección y la densidad de fibra [2].
- **Factores biomecánicos:** La fuerza ejercida depende de tres factores principalmente; la longitud del hueso (brazo de palanca), en el punto de inserción y lugar de aplicación (punto de resistencia), ángulo de inserción del tendón sobre el hueso y la distancia entre el lugar de inserción y el eje de giro de la articulación [2].

Por otro lado se debe tener en cuenta las relaciones fuerza/longitud. En condiciones experimentales se comprueba que el nivel de tensión máxima alcanzable varía dependiendo de la longitud [2].

- **Factores funcionales:** La generación de fuerza depende de otros factores como; influencia genética, edad, sexo, desarrollo muscular, temperatura, nivel de entrenamiento, peso corporal y fatiga, las cuales se describirán a continuación [2].
 - a) Los factores genéticos y raciales son determinantes del estado físico de un individuo, al condicionar la relación con la fuerza máxima alcanzable y la potencia física [2].
 - b) La edad es otro factor condicionante, ya que la fuerza máxima que llega a alcanzar un individuo aumenta de forma lenta y progresiva desde el nacimiento y en la pubertad, y por influencia de los cambios hormonales, se incrementa acompañado del mayor desarrollo muscular, teniendo en cuenta que la fuerza alcanza su valor máximo alrededor de los 25 años, a partir de la cual comienza a disminuir [2].
 - c) En el sexo femenino la fuerza máxima es menor que la del varón, sin embargo, se deben tener en cuenta el peso corporal total o masa magra (peso corporal con exclusión del componente graso) [2].
 - d) El desarrollo muscular significa una mayor generación de fuerza, dependiendo del nivel de entrenamiento [2].
 - e) A temperaturas extremas, el trabajo muscular es poco eficaz, disminuyendo la capacidad contráctil y aumentando el riesgo de lesiones, por tal razón es de gran importancia tener un buen

calentamiento previo al ejercicio y evitar el excesivo incremento de la temperatura corporal, acompañado de buena hidratación [2].

Figura 1. Equivalencia fuerza de mujer vs fuerza varón



FUENTE: Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento [2].

Como se puede observar en la Figura 1, en la cual se muestra la equivalencia de la fuerza mujer/varón, los grupos musculares que presentan mayor fuerza tanto para mujer y varón son cadera y pelvis, sin embargo, estos hacen referencia a la parte inferior del cuerpo humano, por tal razón para la parte superior del cuerpo se puede observar que el antebrazo presenta mayor fuerza frente a la espalda, brazo y hombro, si se discrimina los factores estructurales, biomecánicos y funcionales que condicionan a cada persona [2].

La potencia muscular se requiere para superar cargas inferiores a la máxima por medio de una aceleración límite, el tipo de fibras musculares involucradas, dentro de las cuales predominan las fibras de contracción rápida, caracterizadas por presentar fuentes energética anaerobias, áreas transversales amplias, y bajo umbral de fatiga [8].

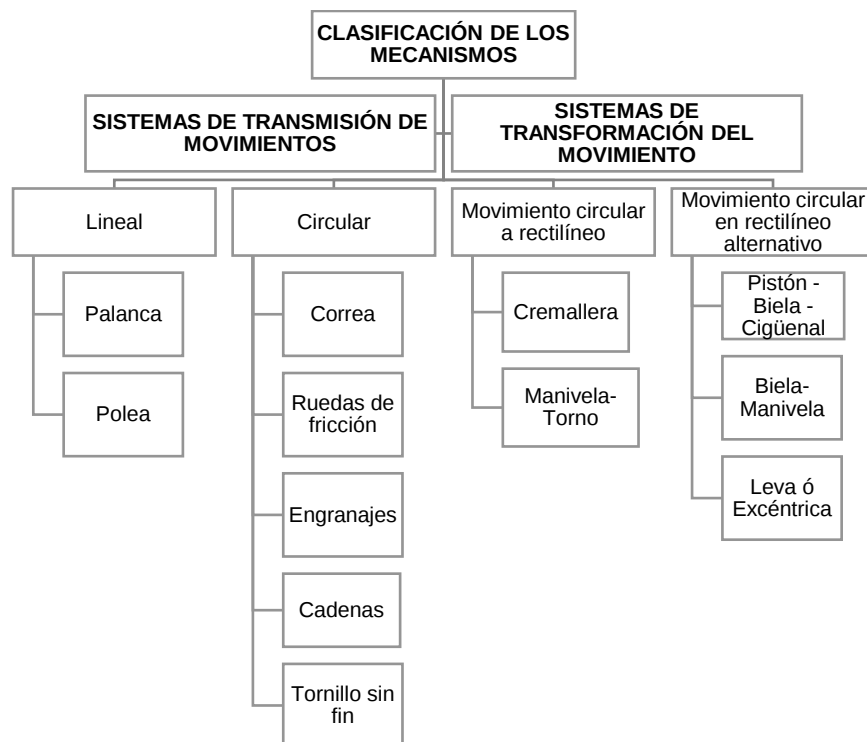
3.1.2 SISTEMA MECÁNICO

Un sistema mecánico es una combinación de mecanismos que transforman velocidades, fuerzas, trayectoria y/o energías, por medio de una serie de transformaciones intermedias, teniendo en cuenta que un mecanismo es el conjunto de elementos conectados entre sí, por medio de articulaciones móviles. Los mecanismos se encuentran conformados por tres sistemas o elementos básicos [9]:

- **Sistema motriz o sistema de entrada:** recibe la energía de entrada, que posteriormente se transformará o transmitirá.
- **Sistema transmisor:** por medio de este sistema es posible modificar la energía o el movimiento proporcionado por el sistema motriz.
- **Sistema receptor o sistema de salida:** este sistema realiza el trabajo con la salida que proporciona el sistema transmisor y por lo tanto se considera como el objetivo del sistema mecánico.

Los sistemas mecánicos se clasifican en sistemas de transmisión y transformación del movimiento, tomando como referencia que los sistemas motrices y receptor pueden presentar el mismo o diferente tipo de movimiento, como se puede observar en el Diagrama 2 [9].

Diagrama 2. Clasificación de los mecanismos



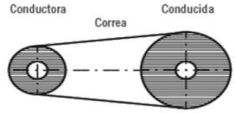
FUENTE: [9], [10], [11].

3.1.2.1 Sistemas de transmisión de movimiento

Su principal fin es el traspaso de movimiento por medio de diferentes componentes, tomando como base un sistema motriz y receptor con el mismo movimiento, ya sea lineal (palanca y polea) o circular (correa, rueda de fricción, engranajes, cadenas y tornillo sin fin), como se observa en la Tabla 1 [9].

Tabla 1. Sistemas de transmisión de movimiento

SISTEMA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
PALANCA	Máquinas simples empleadas para transmitir fuerzas lineales, tomando como referencia ángulos muy pequeños que requieren una transformación de rectilíneo a rectilíneo.	
POLEAS	Sistema que transforman la dirección, sentido o velocidad del movimiento, que trabajan en conjunto de polea y cuerda, con el fin de desplazar cargas desde un punto a otro.	
	Polea fija: con esta polea es posible aplicar la fuerza en la dirección más conveniente, funciona anclándola a un soporte, por el cual se desplaza la cuerda por medio de la polea, colocando la carga en un extremo y tirando del otro.	
	Polea móvil: en esta, la polea se fija a un extremo de la cuerda al soporte y se tira del otro, con el fin de levantar la polea y la carga. Este tipo de polea presenta una ventaja mecánica, ya que la fuerza que se utiliza para levantar la carga es la mitad de la fuerza que se requiere para levantarla con una polea fija.	
	Polea compleja o polipasto: busca distribuir en dos grupos (fijo y móvil), instalando un número arbitrario de poleas, en ella la carga se une al grupo móvil.	
RUEDA DE FRICCIÓN	Este sistema transmite el movimiento, utilizando ruedas que se encuentran en contacto continuamente, buscando tener un alto coeficiente de rozamiento entre ellas.	
ENGRANAJE	Este sistema potencia un eje primario a otro secundario, utilizando la fuerza de empuje, obtiene por tanto una transmisión exacta sin pérdidas como en el caso de las poleas de correa y las ruedas de fricción. Se forma de dos ruedas platos o piñones (usualmente el piñón es el elemento conductor y el plato el elemento conducido). Son los sistemas de transmisión más utilizados para obtener una reducción, los cuales vienen en diferentes configuraciones.	
	Engranajes rectos: presentan configuración para ejes paralelos.	
	Engranajes cónicos: presentan configuración para ejes ortogonales que se intersectan.	
	Engranajes de tornillo sinfín o helicoidales cruzados: presentan configuración para ejes oblicuos.	
CADENA	Este sistema busca transformar el movimiento, con un conjunto de ruedas dentadas y cadena de eslabones, utilizadas cuando se busca obtener velocidad de giro con alta precisión y presentan ejes distantes.	

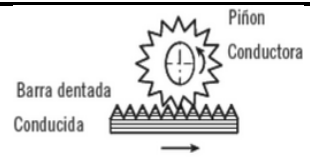
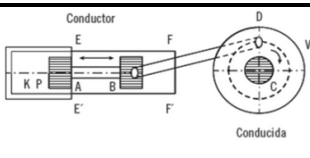
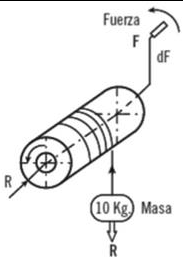
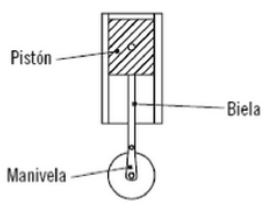
SISTEMA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
	Clavijas: Se emplea para velocidades ligeramente altas (2,2 m/s) y cargas pesadas.	
	Barras laterales de rodillo: Se emplean en su mayoría en maquinaria de construcción. Pueden funcionar hasta velocidades de 5 m/s y transmitir cargas de hasta 185 kW.	
	Rodillos: Se emplea con el fin de transportar cargas livianas a velocidades reducidas.	
CORREA	Cinta cerrada utilizada para transmitir movimiento entre dos ejes que generalmente son paralelos.	
	Correa abierta: transmite el movimiento sin cambiar el sentido de rotación.	
	Correa cruzada: transmite el movimiento, cambiando el sentido de rotación.	

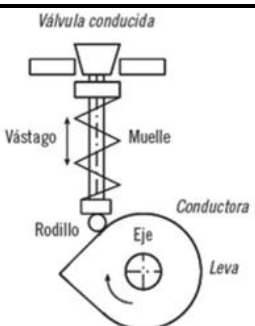
FUENTE: [10], [11], [12], [13].

3.1.2.2 Sistemas de transformación de movimiento

Su principal fin es el traspaso de movimiento por medio de diferentes componentes, tomando como base un sistema motriz y receptor con distinto tipo de movimiento, ya sea movimiento circular a rectilíneo (cremallera y manivela - Torno) o movimiento rectilíneo alternativo a circular (Pistón - Biela – Cigüenal, Biela-Manivela y Leva o Excéntrica), como se observa en la Tabla 2 [9].

Tabla 2. Sistemas de transformación de movimiento

SISTEMA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
CREMALLERA	Este sistema transforma la dirección o sentido del movimiento, formado por un conjunto de engranajes, donde uno de ellos presenta un radio infinito.	
PISTÓN – BIELA – CIGÜEÑAL	Este sistema transforma la dirección o sentido del movimiento, por un conjunto de elementos formado por un pistón movido por combustión interna y una rueda que transmite por giro el movimiento lineal de ida y vuelta.	
MANIVELA – TORNO	Es capaz de transformar la dirección o sentido de movimiento, por medio de un conjunto de rueda y manivela en la que se puede elevar una carga.	
BIELA – MANIVELA	Este sistema transforma el movimiento circular en movimiento de rotación, teniendo presente que la biela es un elemento longitudinal y resistente que posibilita la unión articulada entre la manivela y el pistón o émbolo, y la manivela es una palanca conectada por medio de dos articulaciones, en el eje de rotación y	

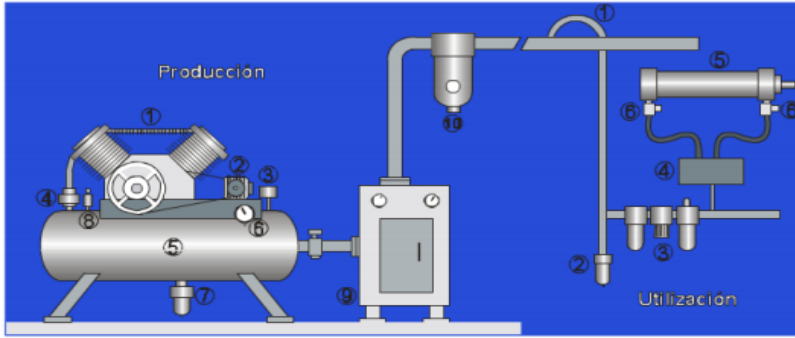
SISTEMA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
	por la cabeza de la biela.	
EXCÉNTRICAS O LEVAS	Transforman la dirección o sentido del movimiento, por medio de un conjunto de elementos, formado por una rueda excéntrica que mueve un vástago en dirección lineal.	

FUENTE: [10], [11].

3.1.3 SISTEMA NEUMÁTICO

El sistema neumático es aquel que es capaz de acumular aire del ambiente, comprimiéndolo, y cuando este sale es capaz de expandirse transformándose en energía, con el fin de mover o accionar mecanismos, según sea su utilidad [14]. La mayor parte de estos sistemas se emplean como actuadores o amortiguadores [15]. El sistema se encuentra representado por el diagrama que se encuentra en la Tabla 3.

Tabla 3. Sistema neumático.

SISTEMA NEUMÁTICO	
 Producción 1. Compresor 2. Motor eléctrico 3. Presostato 4. Válvula anti-retorno 5. Depósito 6. Manómetro 7. Purga automática 8. Válvula de seguridad 9. Secador de aire refrigerado 10. Filtro de línea Utilización 1. Purga del aire 2. Purga automática 3. Unidad de acondicionamiento del aire 4. Válvula direccional 5. Actuador 6. Controladores de velocidad	
COMPONENTES	DESCRIPCIÓN
COMPRESORES	Máquina cuya finalidad es elevar la presión de un cierto volumen de aire, que es introducido a presión atmosférica hasta llegar a una determinada presión de trabajo indispensable para satisfacer las necesidades del sistema de aire comprimido. Generalmente son utilizados los compresores de pistón, de tornillo, de paleta y centrífugos.
DEPÓSITOS	Tienen como función almacenar el aire procedente del compresor. Este debe estar dotado con una válvula de seguridad, manómetro, presostato, grifo de agua, válvula de bloqueo y compuerta de limpieza.
ELEMENTOS DE ACONDICIONAMIENTO	Son los encargados de eliminar las impurezas líquidas o sólidas que pueden ser provenientes de restos de aceite del compresor, vapor de agua, polvo o partículas de óxido. Los principales elementos encargados del acondicionamiento son los filtros, secadores, reguladores de presión y lubricadores.
ACTUADORES	En un sistema neumático los acumuladores neumáticos tienen como función transformar la energía neumática del aire comprimido en trabajo mecánico.

	Los acumuladores pueden ser cilindros o motores. La función de los cilindros es transformar la energía neumática en trabajo mecánico de movimiento rectilíneo. Los motores realizan la función de transformar la energía neumática en energía mecánica de rotación.
VÁLVULAS	Componentes que determinan el camino que ha de tomar la corriente de aire.

FUENTE: [14], [16].

3.1.3.1 Compresor

Es una máquina que convierte la energía mecánica de un motor eléctrico o de combustión, en energía neumática, aspirando el aire a presión atmosférica, el cual es comprimido, para ser entregada al sistema neumático a una presión más elevada. Los compresores de aire son categorizados según su desplazamiento en alternativos y rotativos, como se muestra en la Tabla 4 [17].

Tabla 4. Tipos de compresores

TIPO DE COMPRESOR	DESCRIPCIÓN
Alternativos	
Émbolo de una etapa	El aire que se toma a presión atmosférica es comprimido a la presión deseada (aproximadamente 3 bares), donde el movimiento del émbolo hacia abajo aumenta el volumen, creando una presión más baja que la atmosférica permitiendo entrar el aire al cilindro.
Émbolo de dos etapas	El aire que se toma a presión atmosférica es comprimido en 2 etapas, hasta llegar a la presión final. Este sistema es más eficiente que el de una etapa ya que puede llegar a comprimir el aire hasta 7 bares.
Diafragma	Genera un cambio en el volumen de la cámara, permitiendo el ingreso del aire en la carrera hacia abajo, y la compresión y el escape en la carrera hacia arriba, suministrando aire seco de hasta 5 bares.
Rotativos	
Paleta deslizante	Este compresor está compuesto de un rotor montado excéntricamente con una serie de paletas que se deslizan dentro de unas ranuras radiales, para este compresor se debe inyectar aceite en la corriente de aire que se encuentra cerca de la entrada.
Tornillo	Se encuentra compuesto de dos rotores helicoidales que engranan girando en sentido contrario, donde el espacio libre entre ellos disminuye el volumen, logrando la compresión del aire.

FUENTE: Neumática [17].

Los fluidos gaseosos pueden ser de diferentes naturalezas como: gas puro, mezcla de gases, vapor recalentado o saturado, pero teniendo en cuenta los principios de funcionamiento de los compresores, los gases que en él circulan se conocen como gases perfectos. Por tal razón se han estudiado leyes de los gases perfectos, las cuales se pueden observar en la Tabla 5, donde se tienen en cuenta tres magnitudes: Presión (P), Volumen (V) y Temperatura (T), las cuales se encuentran relacionadas con la compresión y expansión del aire [18].

Tabla 5. Leyes de gases ideales

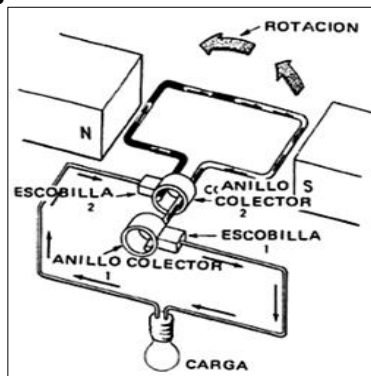
LEY	DESCRIPCIÓN	FORMULA
Boyle-Marriote	A temperatura constante, el volumen que ocupa una masa gaseosa invariable, es inversamente proporcional a su presión.	$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$
Ley de Gay-Lussac	A presión constante, el volumen que ocupa una masa gaseosa es directamente proporcional a su temperatura absoluta.	$V_2/V_1 = T_2/T_1$
Ley de Charles	A volumen constante, la presión absoluta de una masa gaseosa es directamente proporcional a las temperaturas absolutas.	$P_2/T_2 = P_1/T_1$
Ley de gases perfectos	Relación temperatura, volumen y presión, teniendo en cuenta que R, es la constante universal de los gases perfectos o ideales (8,31KJ/kmol*°K)	$P \cdot V = m \cdot R \cdot T$

FUENTE: Aire comprimido [18].

3.1.4 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El generador eléctrico es un equipo que permite la conversión de la energía mecánica en energía eléctrica, su funcionamiento se basa en un motor invertido. La mayor parte de los generadores producen corriente alterna [19].

Figura 2. Generador eléctrico elemental



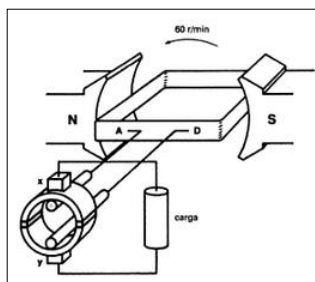
FUENTE: Fundamentos de electricidad [20].

El funcionamiento básico de un generador eléctrico se puede ver representado en la Figura 2, en la cual un extremo de cada conductor se conecta a un anillo de latón o de cobre fijos al eje, cuando esta gira (por las cargas del campo magnético), forma anillos colectores, los cuales a su vez están en contacto con las escobillas. Cuando la espira y los anillos colectores giran, se encuentran en contacto con las escobillas, las cuales se conectan a la carga, generando energía eléctrica [20].

3.1.4.1 Tipos de generadores

- **Generador de corriente directa (dc):** Es una corriente que presenta una onda continua, donde el voltaje que se produce en los generadores debe ser alterno y se transforma en dc cuando es rectilíneo por el conmutador [21].

Figura 3. Generador de dc elemental



FUENTE: Máquinas eléctricas y generador de potencia [21].

- **Generador de corriente alterna (ca):** Se les llama generadores de corriente alterna (ca) o alternadores por la polaridad del voltaje y la dirección de la corriente, estos cambian en forma periódica. Pueden ser monofásico o trifásico [19].

El generador monofásico hace referencia a un circuito generador simple, con un solo devanado que termina en dos anillos colectores y el generador trifásico, el cual posee tres armaduras espaciadas con la misma distancia, simulando la presencia de seis anillos colectores, conocida como conexión y/o estrella, la cual se realiza en el devanado [20].

- **Generador electromagnético:** Son generadores que proporcionan una tensión constante en sus bordes gracias a la creación de fuerza electromotriz en su interior [22].

3.1.4.2 Batería o acumulador de energía

Un acumulador o batería se encuentra conformado por dos o más celdas electrolíticas que son capaces de generar energía eléctrica por medio de las reacciones químicas, estas reacciones se dan durante los procesos de carga o descarga de la batería [23].

Existen en el mercado varios tipos de baterías recargables o acumuladores (Baterías secundarias) y otras que se deben desechar al descargarse (Baterías primarias) [23], las cuales se pueden observar en la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de baterías

CLASIFICACIÓN DE BATERIAS	
Baterías Primarias	Baterías Secundarias
Batería Zinc-Carbón o Pila seca	Batería Plomo-Ácido Sulfúrico
Batería Zinc-Dióxido de Manganeso o batería alcalina	Batería Níquel-Cadmio
	Batería Níquel-Metal hidruro
	Batería Ion Litio
	Batería alcalina recargable o RAM

FUENTE: Tipos de baterías [24].

- **Batería Zinc-Carbón o Pila seca:** En esta batería, el Zinc actúa como electrodo negativo, el Dióxido de Magnesio como electrodo positivo y la barra de Carbón hace contacto eléctrico con el Dióxido de Magnesio; lo cual permite conducir la corriente terminal. El electrólito es una solución de Cloruro Amónico y Cloruro de Zinc [25].
- **Batería Zinc-Dióxido de Manganeso o batería alcalina:** Utilizan los mismos electrodos que las pilas de Zinc – Carbón, pero utilizan como electrolito una solución de Hidróxido Potásico [25].
- **Batería Plomo-Ácido Sulfúrico:** Esta batería es capaz de acumular hasta 30 Ah y presenta una tensión de 12V. En esta, los dos electrodos se encuentran hechos de Plomo y el electrólito es una solución de agua destilada y ácido sulfúrico, estos generan un proceso electrolítico durante los procesos de carga y descarga [26], [27].
- **Batería Níquel-Cadmio:** Batería recargable que tiene como electrodo positivo Hidróxido de Níquel, como electrodo negativo Cadmio y como electrólito una solución de Hidróxido Potásico. La capacidad máxima es

de 6 Ah. Los ciclos de carga-descarga de esta batería se ven limitados a 500 cargas [25].

- **Batería Níquel-Metal hidruro:** Esta batería tiene como electrodo positivo Hidróxido de Níquel y como electrodo negativo una aleación de Hidruro Metálico. Es capaz de proporcionar un voltaje de 1,2V y una capacidad máxima de 2,8 Ah, además los ciclos de carga-descarga oscilan entre 500 – 700 cargas [28].
- **Batería Ion Litio:** Las reacciones en esta batería ocurren por inserción en los electrodos, estos electrodos están compuestos por litio metálico en el negativo y el positivo es el elemento huésped que va a recibir carga, el electrolito puede ser una disolución de sal de Litio en un solvente acuoso [27].
- **Batería alcalina recargable:** El Zinc y el Bióxido de Manganeso actúan como electrodos dentro de un medio alcalino, así mismo funciona en la batería alcalina primaria. La diferencia es que presenta 40 ciclos de carga-descarga, debido a sus bajos costos es la que más se utiliza [29].

3.1.5 GIMNASIOS VERDES

En la actualidad el abastecimiento de energía eléctrica logra cubrir la demanda energética de la población que se encuentra interconectada, sin embargo, se espera que esta continúe en aumento, gracias al crecimiento poblacional y su consecuente aumento del consumo del bien energético, es por esta razón que la población se ve en la necesidad de generar e implementar energías renovables, convencionales o alternativas, las cuales utilizan como materia prima los recursos naturales. Según *Belt. et. al* [30], estas energías se generan a partir de fuentes de energía inagotables, en las cuales se incluyen la energía solar, hidráulica, eólica, biomasa (líquida, sólida o gasificada) y geotérmica.

No obstante, la implementación de estas energías requieren cumplir con diferentes criterios de calidad, como lo son: potencia, fiabilidad, versatilidad, costos e impactos, y que además, estas logren contribuir de forma importante al consumo energético a escala industrial [31]. Estos criterios de calidad a pesar de satisfacer la demanda energética de la población interconectada, pueden llegar a presentar impactos negativos al ambiente y su implementación en poblaciones distantes o que no presenten viabilidad económica para implementar un sistema interconectado, es por esta razón que se implementan energías no convencionales con el fin de satisfacer necesidades primarias o como suplemento a la demanda energética.

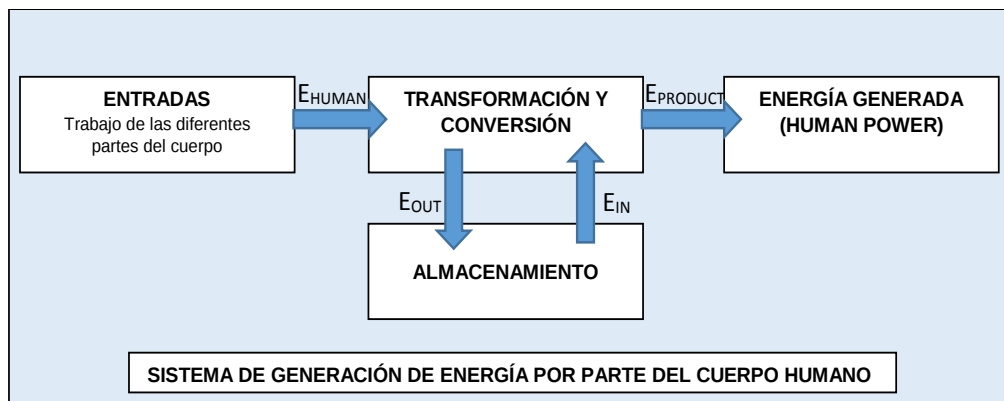
Una de las energías no convencionales más desarrolladas en la actualidad, es la generada por la obtención de energía a partir de la actividad física de un individuo, ya que este es capaz de liberar aproximadamente $1,07 \times 10^7$ J de energía por día al caminar, según lo revela *W. Mcardle, et al*, en su libro *“Essentials of excersice physiology”* [32]. La energía generada por este tipo de actividades es conocida como *Human Power* (HP) nombrada así por un grupo

de científicos que se dedican al estudio, desarrollo e implementación de la misma en varios ámbitos [1].

Lo que busca el HP es aprovechar al máximo la energía que genera el hombre al desarrollar actividades físicas, traduciéndola en energía eléctrica, este aprovechamiento energético nace de una nueva magnitud conocida como exergía, la cual propone la potencialización del máximo trabajo que se realiza al aprovechar la energía del entorno, lo cual nace de la segunda ley de la termodinámica (entropía), donde la energía calórica no es aprovechada en su totalidad si esta interactuando con nuestro sistema atmosférico [33].

Como fundamento a HP, A. Mechtenberg, *et. al.* [1] estudio e implemento diferentes sistemas de generación de energía eléctrica por medio de actividad física realizada por el cuerpo humano, como lo son: generador de bicicleta como suplemento a un sistema eléctrico, lámpara quirúrgica de manivela implementada en hospitales y centros de salud que se encuentran fuera de la red eléctrica, y un generador piezoeléctrico incorporado en los zapatos o en la mochila de un soldado. Por lo que se puede establecer que el sistema de entradas y salidas es el mismo, lo único que cambia de una tecnología a otra es la transformación y el almacenamiento como se puede observar en el Diagrama 3.

Diagrama 3. Modelo entradas y salidas de HP



FUENTE: Extraído de Combining eco-design and user benefits from human-powered energy systems, a win-win situation [34].

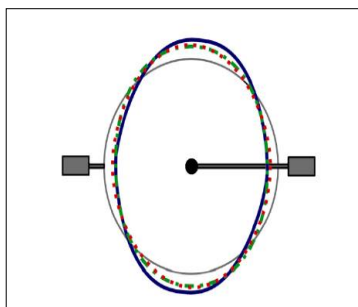
El desarrollo de estas tecnologías se encuentra enfocado al aprovechamiento de actividades Fitness (correr, saltar, caminar, entre otras), debido a la gran cantidad de energía calorífica que es liberada por el cuerpo al quemar grasa. Entre estas tecnologías se encuentra un experimento realizado por M. Haji, *et al.* el cual estima que al usar 28 máquinas elípticas ubicadas en un gimnasio se puede llegar a generar 10.000 kWh en el día, adicionalmente, realiza un análisis costo-beneficio dentro del gimnasio permitiéndole al dueño ahorrar 1.000 dólares al año en la factura de la electricidad, así mismo se verán reducidas las emisiones de CO₂ [35].

Por otro lado en estudios realizados anteriormente por parte de la Universidad Industrial de Santander se ha demostrado que una persona promedio puede desarrollar una velocidad de pedaleo en las bicicletas de Spinning cercana a

242 rpm, con lo cual es posible producir un potencial energético de 300W aproximadamente, en lo cual se tuvo en cuenta la velocidad de cada uno de los prototipos y la oferta de generadores eléctricos, lo cual se sujetó mecánicamente a la bicicleta con la ayuda de un acople, además es posible potenciar la eficiencia mecánica con un nuevo pedal de manivela [36], [37].

Adicionalmente en estudios realizados por *J. Rankin & R. Neptune* se establece que la forma óptima del plato de la bicicleta de Spinning debe ser similar a la forma de una elipse con ejes no perpendiculares como se muestra en la Figura 4, permitiendo a los músculos generar energía por un periodo de tiempo más extenso y producir un aumento del potencial del cigüeñal en un 3% [38].

Figura 4. Forma óptima del plato de la bicicleta de Spinning



FUENTE: A theoretical analysis of an optimal chainring shape to maximize crank power during isokinetic pedalling [38].

La potencia producida por ejercicios de levantamiento de pesas es mayor que la generada por pedaleo en las bicicletas de Spinning. Sin embargo, para que se genere una mayor potencia los músculos deberán ser estimulados previamente, es decir, se deberá desarrollar un calentamiento previo, el cual puede ser realizado por cualquier actividad Fitness. Los grupos musculares que cuentan con mayor posibilidad de producción de energía son los esquirotibiales [39], en especial desarrollando el ejercicio de extensión de piernas donde se desarrolla un mayor esfuerzo y por lo tanto una potencia mayor [40]. Así mismo, es preciso decir que la cantidad de energía generada por parte de los músculos se calcula a partir del tiempo de actividad, es decir, el aumento en la potencia es proporcional al desarrollo del músculo, y en cuanto a las extremidades superiores, los bíceps son los músculos que generan mayor potencia [41].

Según *S. O'Bryan, et. al.* el sistema nervioso central es el encargado de realizar una activación óptima de los músculos, con el fin de desarrollar una activación adecuada [42]. Cuando se van a trabajar los músculos es importante que tanto las repeticiones como las cargas sean controladas, pues si no se hace esto se generará fatiga muscular, lo cual se verá reflejado finalmente en la reducción o pérdida de energía [41], por lo tanto para la generación de energía es importante que las personas no experimenten episodios de fatiga muscular, debido a que esto interrumpe la excitación de los grupos musculares reduciendo así el rendimiento y la coordinación de los mismos [43].

Por otro lado se realizó un estudio en Estados Unidos donde se pretendía ver el funcionamiento óptimo de un músculo antes y después de generarse un

episodio de fatiga muscular, en el cual se logró observar que la mayor potencia se genera antes de un episodio de fatiga muscular. Sin embargo, si un sujeto después de experimentar este episodio, hace que la fuerza de agarre y la fuerza de empuje sean proporcionales, logrará estabilizarse y llegar a un estado óptimo [43].

Debido al desarrollo y la eficiencias de las nuevas tecnologías fundamentadas en energías no convencionales orientadas a HP, la eficiencia de los grupos musculares esquirotibiales y bíceps, y por lo tanto el potencial que podrían generar ejercicios de levantamiento de pesas, se desarrollan los gimnasios verdes los cuales buscan ser autosuficientes y/o ayudar a la demanda energética de un sector.

Como es el caso del gimnasio verde de Bosel en Estados Unidos, el cual cuenta con bicicletas de Spinning, trotadoras, escaladoras y máquinas multifuerza, las cuales al generar energía alimentan una batería de 12V, energía suficiente para encender luces, televisores, cargar celulares, etc., haciendo que este sea autosostenible y los desarrollados por la marca Green Hearth, los cuales se encuentran abiertos al público en un parque ubicado en Reino Unido, el cual tiene como objetivo crear conciencia a los ciudadanos de las diferentes fuentes de energía que se pueden aprovechar, siendo capaz de generar 4.000 kWh, lo cual es suficiente para abastecer la red eléctrica de este sector. La compañía pretende en un futuro implementar 350 parques como este, con el fin de ayudar a la demanda energética del país [44], [45].

3.1.6 HUELLA DE CARBONO

La huella de carbono es un parámetro utilizado para describir la cantidad de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) asociadas a una empresa, evento, actividad o al ciclo de vida de un producto/servicio en orden a determinar su contribución al cambio climático. Este se expresa en toneladas de CO₂ equivalente. Los GEI hacen referencia a Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonados (HFC), Perfluorocarburos (PFC), Hexafluoruro de Azufre (SF₆) y Dióxido de Carbono (CO₂) [46].

3.2 MARCO CONCEPTUAL

AIRE COMPRIMIDO: Aire que ingresa a un tanque de almacenamiento a presión, temperatura y humedad ambiente y atmosférica, logrando comprimirse a una presión más alta y generando así una elevación en la temperatura [47].

AIRE LIBRE: Aire atmosférico a la presión y temperatura normal (expresado en Nm^3/min o Nm^3/min) [47].

BÍCEPS: Músculo del cuerpo humano, es el motor principal de la flexión y la supinación. En el cuerpo humano se encuentran dos clases de este: bíceps braquial y bíceps femoral [7].

BIELA: Es un pieza de una máquina que sirve para transformar el movimiento rectilíneo en movimiento de rotación, o viceversa [48].

CAMPO ELÉCTRICO: Es la región de espacio en la que se ejercen fuerzas atractivas y repulsivas originadas por las cargas eléctricas que se sitúan en él [20].

CAMPO MAGNÉTICO: Región de influencia magnética que rodea a un polo magnético, o a una partícula cargada en movimiento [49].

CAPACIDAD: La capacidad de un sistema de aire comprimido se define por el caudal del compresor, la cual se expresa en aire libre (Nm^3/min) o (Nm^3/min), y generalmente es suministrada a 7 bar [47].

COLECTOR DE ENERGÍA PIEZOELÉCTRICA: Dispositivos diseñados para aprovechar la energía circundante en el ambiente, y se encargan de convertir la misma en energía eléctrica [1].

COMPRESOR: Máquina que aspira aire a presión atmosférica, la comprime y entrega a presión más elevada a un sistema neumático, transformando la energía mecánica en energía neumática [17].

CORRIENTE ALTERNA: Corriente eléctrica en la que la polaridad del voltaje y la dirección de la corriente cambian en forma periódica [19].

CORRIENTE CONTINUA: Corriente eléctrica donde la polaridad del voltaje y la dirección de la corriente no cambian [19].

CORRIENTE DIRECTA: Partículas con carga eléctrica que fluyen solo en una dirección [22].

CORRIENTE ELÉCTRICA: Es el movimiento de cargas eléctricas entre dos puntos que no se hallan al mismo potencial, por tener uno de ellos un exceso de electrones respecto al otro. Es un transporte de energía [50].

CUÁDRICEPS FEMORAL: Es el músculo más potente de todo el cuerpo humano. Es el que soporta nuestro peso y nos permite realizar cualquier ejercicio que involucre las piernas. Se denomina cuádriceps debido a que posee cuatro cabezas musculares [7].

DELTOIDES: Es el músculo del hombro. Presenta una forma de un semicono hueco, que rodea la articulación del hombro y une la cintura escapular a la diáfisis humeral [7].

ELECTRICIDAD: El conjunto de disciplinas que estudian los fenómenos electrónicos o una forma de energía obtenida del producto de la potencia eléctrica consumida por el tiempo de servicio. El suministro de electricidad al usuario debe entenderse como un servicio de transporte de energía, con una componente técnica y otra comercial [50].

ELECTROMAGNETISMO: Es el estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos causados por cargas eléctricas en reposo o en movimiento. Este se encuentra compuesto por dos tipos de cargas una positiva y otra negativa, las cuales generan un campo eléctrico [51].

ENERGÍA: Todo lo que puede cambiar el estado de la materia. Es la capacidad de efectuar trabajo [22].

ENERGÍA CINÉTICA: Energía del movimiento, es igual a la mitad de la masa multiplicada por el cuadrado de la rapidez [22].

ENERGÍA ELÉCTRICA: Energía que posee un objeto cargado gracias a su ubicación en un campo eléctrico [22].

ENERGÍA FINAL: Energía que sufre procesos de transformación, almacenamiento y distribución para ser consumida posteriormente por los usuarios [22].

ENERGÍA MECÁNICA: Energía debida a la posición o al movimiento de algo; puede ser la energía potencial, cinética o una combinación de ambas [22].

ENERGÍA POTENCIAL (EP): Energía de posición, relacionada con la posición relativa de dos cosas [22].

ENERGÍA POTENCIAL ELÉCTRICA: Energía que posee un objeto cargado gracias a su ubicación en un campo gravitacional [22].

ENERGÍA PIEZOELÉCTRICA: Fenómeno que ocurre en determinados cristales que, al ser sometidos a tensiones mecánicas en su masa adquieren una polarización eléctrica y aparece una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie [1].

ENERGÍAS LIMPIAS: Energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, bien sea por que la energía que presenta es inagotable o porque son capaces de regenerarse por medios naturales [22].

EXERGÍA: Propiedad que determina el potencial de trabajo útil de una cantidad determinada de energía [33].

EXERGÍA TERMOMECAÁNICA DE UN SISTEMA: máximo trabajo que puede se pude realizar sobre el entorno, cuando evoluciona hasta llegar al estado muerto, donde solo intercambia calor con el medio [43].

FATIGA: Es un obstáculo habitual e importante al trabajo manual y la actividad física, si bien los procesos implicados todavía no se conocen del todo [43].

FATIGA CENTRAL: Cualquier reducción inducida por el ejercicio en la fuerza por contracción voluntaria máxima que no se acompaña por la misma reducción de la fuerza máxima evocable [7].

FATIGA MUSCULAR: Cualquier reducción inducida por el ejercicio en la capacidad para generar fuerza o potencia. La fatiga muscular reduce el rendimiento en actividades que requieran fuerza muscular, y la mayoría de las personas experimentan una dificultad creciente para mantener cierto nivel de actividad. Si ese nivel es alto o, más específicamente, superior a lo que se define como nivel habitual de actividad física, los problemas surgen más tarde y de forma más prolongada. Aunque los síntomas de fatiga aparezcan tarde durante la actividad, los procesos que los causan se inician en cuanto comienza la actividad [7].

GAS PERFECTO: No existe ningún gas perfecto, sin embargo, el aire, oxígeno, nitrógeno, helio, entre otros, se comportan como si lo fueran, considerando el gas perfecto como aquel que sigue exactamente las leyes de Boyle-Mariotte, Gay-Lussac y Charles [47].

GIMNASIO: Lugar que permite practicar deportes o hacer ejercicio en un recinto cerrado [52].

HP-ED: Es la cantidad de energía que se puede aprovechar del cuerpo humano [1].

HUMAN POWER (HP): Energía eléctrica generada a partir de los músculos humanos [1].

INSTALACIÓN ELÉCTRICA: Conjunto de aparatos eléctricos y de circuitos asociados, previstos para un fin particular: generación, transmisión, transformación, rectificación, conversión, distribución o utilización de la energía eléctrica [50].

LEY FUNDAMENTAL DEL ENGRANAJE: La ley establece que “la relación de la velocidad angular entre los engranajes de un juego de engranajes permanece constante mientras permanecen engranados”, esta relación se evidencia en la *Ecuación 1* [13].

$$\frac{V_{\text{piñón}}}{V_{\text{engranaje}}} = \frac{Z_{\text{engranaje o plato}}}{Z_{\text{piñón}}} \quad (1)$$

FUENTE: Diseño de maquinaria [13].

Dónde:

V = velocidad (rpm).

Z = Número de dientes.

LOCOMOCIÓN HUMANA: Es una acción motora durante la cual la localización del cuerpo humano cambia en el espacio [53].

MÁXIMA FUERZA EVOCABLE: Fuerza generada por un músculo o grupo de músculos cuando la estimulación eléctrica adicional no aumenta la fuerza [7].

MOTOR: Conjunto de elementos mecánicos que permiten obtener energía mecánica a partir del estado térmico de flujo compresible que lo atraviesa, en el cual la corriente pasa por un conductor situado dentro de un campo magnético, que experimenta una fuerza, la cual le obliga a desplazarse en dirección perpendicular a la dirección del flujo [20], [54].

MOVIMIENTO: El movimiento se produce al generar una fuerza, el valor de esta debe ser superior a la resistencia que experimenta el objeto, teniendo en cuenta que para producir un trabajo, la fuerza que se genera debe ser capaz de provocar el desplazamiento del objeto sobre el cual se emplea la fuerza. Se pueden encontrar movimiento de tipo lineal, circular y combinado. El movimiento lineal es en el cual la trayectoria del objeto es en línea recta, el movimiento circular se diferencia porque el objeto realiza una trayectoria curva en torno a un punto o eje de pivote y el movimiento combinado es en el cual se encuentran los movimientos lineal y circular, con diferentes proporciones y variantes, dentro de este se pueden encontrar: movimiento circular y lineal (movimiento característico de la rueda) y mecanismo biela manivela (transforma el movimiento lineal alternativo, en circular continuo, tal y como ocurre en los motores alternativos) [55].

MÚSCULO ESQUELÉTICO: Se caracteriza por transformar la energía química (ATP) en energía mecánica para producir trabajo [6].

MÚSCULOS ESQUIOTIBIALES: Son un grupo muscular con inserción proximal en la pelvis e inserción distal en la tibia que juegan un papel importante en la extensión de la cadera y en la flexión de la rodilla cuando el cuerpo se encuentra en posición de pie [39].

NEUMÁTICA: Ciencia que trata acerca de los movimientos y procesos del aire. El aire es usado como la forma de energía [56].

NEWTON (N): Unidad de fuerza en el SI (Sistema Internacional de Unidades). Fuerza aplicada a un kilogramo masa que produce una aceleración de un metro por segundo², como se puede observar en la *Ecuación 2* [22].

$$N = \frac{Kg \cdot m}{s^2} \quad (2)$$

FUENTE: Física conceptual [22].

Dónde:

K = Kilogramo masa

S = Segundo

POTENCIA: Rapidez con la que se efectúa un trabajo, o con la que se transforma la energía; es igual al trabajo efectuado o a la energía transformada divididos entre el tiempo. Se expresa en watts [22].

POTENCIA ELÉCTRICA: Es la rapidez de transferencia de energía, o la rapidez con que se efectúa trabajo, se puede expresar eléctricamente por el producto de la corriente por el voltaje [22].

POTENCIAL ELÉCTRICO: Energía potencial eléctrica, en joule, por unidad de carga, en Columbus, en un lugar de un campo eléctrico; se expresa en volts y con frecuencia se le llama voltaje [49].

PRESIÓN: Fuerza entre área, donde la fuerza es perpendicular al área; se mide en pascuales (Pa), por medio de la *Ecuación 3* [22].

$$P = \frac{F}{A} \quad (3)$$

FUENTE: Física conceptual [22].

Dónde:

F = Fuerza (N)

A = Área (m^2)

TENSIÓN: La diferencia de potencial eléctrico entre dos conductores, que hace que fluyan electrones por una resistencia. Tensión es una magnitud, cuya unidad es el voltio [22].

TERMODINÁMICA: Estudia los intercambios de calor que tienen lugar en los cuerpos al calentarlos, al realizar trabajo externo o al cambiar su estado de agregación [49].

TRANSFORMACION Y TRANSMISION DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA: La transformación de la energía eléctrica se da por el cambio de una potencia (otro tipo de energía) por medio de un transformador, el cual permite aumentar o disminuir la tensión en el circuito [50], [57]. La transmisión se da cuando la energía es previamente transformada ya que de esta forma puede ser llevada de las centrales de generación a las áreas de consumo [50].

TRÍCEPS: Músculo del cuerpo humano. En el cuerpo humano se encuentran dos clases de este el tríceps braquial y el tríceps sural [7].

3.3 MARCO LEGAL

Tabla 7. Marco legal

MARCO LEGAL			
NORMA	ENTIDAD	DESCRIPCIÓN	ARTÍCULOS APLICABLES
Leyes			
Ley 99 de 1993	Congreso de Colombia	Por la cual se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organiza el sistema nacional ambiental.	Art. 5
Ley 697 del 2001	Congreso de Colombia	Fomenta el uso racional y eficiente de la energía eléctrica y se promueve la utilización de energías alternativas. Además se implementa el PROURE.	Art. 7, 9, 10
Ley 1715 del 2014	Congreso de Colombia	Promueve el desarrollo y la utilización de fuentes no convencionales de energía, principalmente las de carácter renovable, mediante su integración al mercado eléctrico, aparición en las zonas no interconectadas y demás usos como medio necesario para un desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de GEI y la seguridad de abastecimiento energético.	Art. 6, 7, 10
Decretos			
Decreto 3683 del 2003	Presidente de la república de Colombia	Reglamenta el uso racional de la energía, asegurando así su abastecimiento pleno y oportuno. Además, la promoción de fuentes no convencionales de la energía.	Art. 3, 5, 8, 9, 13, 14, 15 numeral b y 18.
Decreto 2688 del 2008	Presidente de la república de Colombia	Por el cual se modifican algunos numerales del Decreto 3683 del 2003.	Art. 2
ISO (Organización Internacional de Normalización)			
8573-1:2010	Comité Técnico ISO	Compresores y herramientas neumáticas	Parte 1

FUENTE: [58], [59], [60], [61], [62], [63].

Tabla 8. Planes gubernamentales

PLANES GUBERNAMENTALES	
METAS	ESTRATEGIAS
Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2014 -2018	
- Consolidar al sector minero energético como uno de los motores de desarrollo del país, generando así un gran aporte al PIB del mismo. - Incentivar el desarrollo y uso de fuentes no convencionales, las cuales permitan un desarrollo bajo en carbono. - Formular programas y proyectos que permitan el uso racional de la energía. - Promover el uso de fuentes no convencionales en ZNI. - Uso de fuentes de energías limpias en el sistema energético nacional.	- Asegurar la competencia de fuentes de energías alternativas en un mercado. - Programa de desarrollo bajo en carbono. - Garantizar el consumo eficiente de la energía gestionado por parte de la Agencia de Eficiencia Energética AEE. - Reglamenta el fondo de energías no convencionales y gestión eficiente de la energía FENOGÉ. - Reglamentación e implementación de la ley 1715 del 2014 sobre fuentes no convencionales y gestión eficiente de la energía. - Incentivos para fomentar la inversión en fuentes de energía no convencionales de energía, teniendo prioridad los contenidos en los planes de energización rural sostenible. - Desarrollo del plan de acción sectorial de mitigación y el programa de uso racional y eficiente de energía.
Estrategia Colombiana de desarrollo bajo en carbono (ECDBC)	
Desligar el crecimiento económico colombiano	Promoción de tecnologías nuevas con altos

- de las emisiones GEI. - Generar bienestar económico y social del país.	estándares y carbono eficiencia. - Se establece de acuerdo al documento CONPES 3700 de cambio climático. - Desarrollo de planes de acción de mitigación en los distintos sectores productivos del país.
Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales (PROURE) 2010 – 2015	
- Eficiencia energética en las cadenas productivas de las organizaciones. - Disminución de los impactos ambientales, incremento en la productividad, manejo eficiente de los recursos en las organizaciones y los procesos productivos para lograr un desarrollo sostenible. - Fomento de energías no convencionales en el país.	- Fomentar una cultura nacional de la eficiencia energética. - Desarrollar incentivos económicos y tributarios por el uso eficiente energético, así mismo un régimen sancionatorio por derroche. - Promover la formación académica en eficiencia energética. - Fomentar el conocimiento en fuentes convencionales y no convencionales disponibles y factibles para su implementación. - Adopción de nuevos modelos tecnológicos para la sustitución de combustibles. - Aprovechar los residuos generados en el ciclo de vida del producto con el fin de generar energía eléctrica. - Contribución a la innovación tecnológica para el uso de fuentes de energía renovable o alternativa y su desarrollo en ZNI. - Desarrollo de metas en las políticas del ministerio de minas y energía y en el plan energético nacional con el fin de impulsar el uso de fuentes no convencionales. - Se formula el plan para mejorar la educación y fortalecimiento de capacidades en investigación, desarrollo tecnológico e innovación I+D+i y gestión del conocimiento. - Sistema de información que contemple las energías no convencionales presentes.
Plan energético nacional 2050	
- Suministro energético confiable y diversificación de la canasta de productos energéticos. - Universalización y asequibilidad al servicio de energía eléctrica. - Generar nuevas regulaciones con el fin de generar mayor eficiencia en el sector.	- Incorporar a la canasta energéticas fuentes no convencionales de la energía con el fin de disminuir el alza en las emisiones de carbono. - Incorporación de hidrocarburos no convencionales. - Promoción de fuentes no convencionales gracias a la ley 1715 del 2014. - Inclusión de plantas eólicas, generación solar fotovoltaica, geotermia y biomasa en la canasta eléctrica del país. - Aplicación de políticas con el fin de impulsar las fuentes no convencionales de energía generando una mejora en el desarrollo rural.

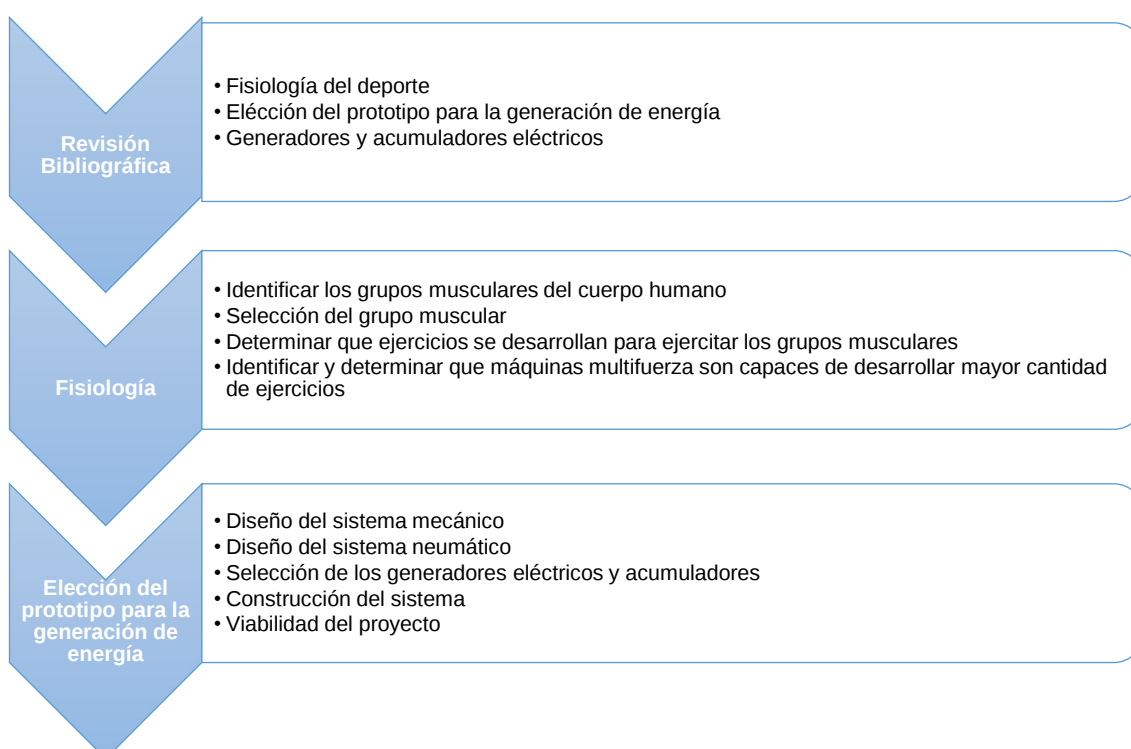
FUENTE: [64], [65], [66], [67].

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 METODOLOGÍA

La metodología desarrollada para la ejecución de este trabajo se establece en el Diagrama 4, en el cual es posible observar las etapas llevadas a cabo con el fin de obtener resultados de acuerdo a cada objetivo planteado, enfocado a la construcción de una máquina multifuerza generadora de energía eléctrica.

Diagrama 4. Metodología - Desarrollo central



FUENTE: Autoras.

4.1.1 Revisión bibliográfica

De acuerdo a la metodología planteada en el anteproyecto, la revisión bibliográfica se desarrolló por medio de un protocolo de búsqueda, por medio del cual se busca identificar que grupos musculares y ejercicios son capaces de generar mayor potencia, y por lo tanto serían capaces de producir mayor energía, mediante la metodología que se describe a continuación.

- a) Fisiología del deporte: Inicialmente se revisaron libros de texto de fisiología del deporte, en la sección de ciencias de la salud, con el fin de establecer que grupos musculares se encuentran en el cuerpo humano, cuáles de ellos son los que más se ejercitan y mediante que ejercicios se lleva a cabo su estimulación.

Después de haber identificado los grupos musculares correspondientes al desarrollo de este proyecto se procede a realizar una búsqueda en las bases de datos *Science Direct* y *EBSCO HOST*, para identificar cuáles de estos grupos musculares generan mayor potencia, cuánto tiempo tienen de respuesta y bajo qué condiciones pueden llegar a generar mayor potencia, para finalmente observar las máquinas multifuerza disponibles en el mercado, por medio de páginas web y catálogos de empresas distribuidoras, para determinar que ejercicios se desarrollan en ellas y su costo.

- b) Elección del prototipo para la generación de energía: Se desarrolla una revisión bibliográfica de los sistemas de transmisión y transformación de movimiento y sistema neumático, en libros de texto, en su mayoría encontrados en secciones de Ingeniería Mecánica, con el fin de establecer cuál de estos es el más apropiado a ser implementado en una máquina multifuerza para la generación de energía y una búsqueda en las bases de datos descritas anteriormente, para revisar tecnologías que implementan estos sistemas para la generación de energía por medio del esfuerzo físico.
- c) Generadores y acumuladores eléctricos: Se implementa una búsqueda de los generadores eléctricos en libros de texto de Ingeniería Eléctrica, Mecánica y Electrónica, con el fin de establecer parámetros como: cantidad de revoluciones que se requieren para generar energía y voltaje.

Para reconocer los tipos de baterías o acumuladores se utilizaron libros de texto de Ingeniería Química y Eléctrica, con el objetivo de establecer el voltaje y amperaje que requieren para almacenar energía.

Adicional a la metodología descrita anteriormente es pertinente mencionar que durante el desarrollo de todo el proyecto se retroalimentó la revisión bibliográfica inicial, debido a la falta de información que se encuentra respecto al *Human Power* (HP).

4.1.2 Fisiología

De acuerdo a la revisión bibliográfica previamente realizada se lleva a cabo la siguiente metodología para la selección de la máquina multifuerza para la generación de energía eléctrica.

- a) Identificar los músculos o grupos musculares del cuerpo humano.
- b) Selección del grupo muscular, teniendo en cuenta cuales de los músculos y grupos musculares son capaces de llegar a generar mayor potencia.
- c) Determinar que ejercicios se desarrollan para ejercitar los grupos musculares identificados anteriormente.
- d) Identificar las máquinas multifuerza capaces de desarrollar mayor cantidad de ejercicios, según los grupos musculares que se establecen anteriormente.

- e) Determinar cuál de las máquinas multifuerza se encuentran en el mercado y se puede adquirir.
- f) Se establecerán dos tipos de rutinas a desarrollar en la máquina multifuerza, una de ellas ira dirigida al desarrollo de las extremidades superiores del cuerpo y la otra a las extremidades inferiores.

4.1.3 Elección de prototipo para la generación de energía

La metodología implementada para determinar cuál de los sistemas es el más apropiado para la transformación de la energía mecánica en eléctrica se divide en cinco etapas: Diseño del sistema mecánico, diseño del sistema neumático, selección de los generadores y acumuladores, construcción del prototipo y viabilidad del proyecto

4.1.3.1 Diseño del sistema mecánico

- a) Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica inicial, se establecerán las ventajas y desventajas de los sistemas de transmisión y transformación de movimiento, de acuerdo a estas se indicará cual o cuales de los sistemas son los más adecuados a implementar, teniendo en cuenta el movimiento (circular) presente en la máquina multifuerza.
- b) De acuerdo al sistema o sistemas seleccionados se desarrollará un diseño inicial del sistema mecánico, generando el posible prototipo a escala 1:1, el cual pretende ser acoplado posteriormente a la máquina multifuerza.
- c) Partiendo del diseño desarrollado anteriormente se determinará la cantidad de revoluciones que puede alcanzar el último piñón del tren de engranajes, el cual irá acoplado por un eje al dínamo.

Esta fase del proyecto se desarrollará teóricamente con el fin de calcular el número de revoluciones presentes en el piñón final (velocidad) por medio de la *Ecuación 1* que se encuentra en el numeral 3.2 “*Ley fundamental de engranajes*” y se establecerá la relación presente entre los engranajes por medio de la *Ecuación 5*, como se muestra a continuación.

- **Cadena**
Velocidad

$$\frac{V_{\text{piñón}}}{V_{\text{plato}}} = \frac{Z_{\text{plato}}}{Z_{\text{piñón}}} \quad (1)$$

FUENTE: Diseño de maquinaria [13].

Dónde:

V: Velocidad (rpm).

Z: Número de dientes.

Relación

$$Relación = \frac{Z_{plato}}{Z_{piñón}} \quad (5)$$

FUENTE: Diseño de maquinaria [13].

Dónde:

Z: Número de dientes.

- **Tren de engranajes**

Velocidad

Se calcula la velocidad que presenta el engranaje 8 y 19, al ser estos los que se conectan a los dínamos.

- Velocidad engranaje 8

$$\frac{V_{engranaje 6}}{V_{piñón de la cadena}} = \frac{Z_1}{Z_2} * \frac{Z_2}{Z_3} * \frac{Z_4}{Z_5} * \frac{Z_2}{7} \quad (1)$$

$$\frac{V_{engranaje 8}}{V_{engranaje 6}} = \frac{Z_6}{Z_8}$$

FUENTE: Diseño de maquinaria [13].

Dónde:

V: Velocidad (rpm).

Z: Número de dientes de un engranaje o piñón (Ver anexo 3).

- Velocidad engranaje 19

$$\frac{V_{engranaje 19}}{V_{piñón 6}} = \frac{Z_9}{Z_{10}} * \frac{Z_{11}}{Z_{12}} * \frac{Z_{13}}{Z_{14}} * \frac{Z_{15}}{Z_{16}} * \frac{Z_{17}}{Z_{18}} * \frac{Z_{17}}{Z_{19}} \quad (1)$$

Dónde:

V: Velocidad (rpm).

Z: Número de dientes de un engranaje o piñón (Ver anexo 3).

Relación

$$Relación 1 = \frac{Z_1}{Z_2} * \frac{Z_2}{Z_3} * \frac{Z_4}{Z_5} * \frac{Z_2}{7} * \frac{Z_6}{Z_8} \quad (5)$$

$$Relación 2 = \frac{Z_2}{Z_7} * \frac{Z_9}{Z_{10}} * \frac{Z_{11}}{Z_{12}} * \frac{Z_{13}}{Z_{14}} * \frac{Z_{15}}{Z_{16}} * \frac{Z_{17}}{Z_{18}} * \frac{Z_{17}}{Z_{19}}$$

FUENTE: Diseño de maquinaria [13].

Dónde:

Z = Número de dientes del piñón o engranaje (Ver Anexo 3).

Posteriormente, con el fin de comprobar que el dínamo genere energía, el tipo de generador se establecerá por medio del número de revoluciones que se generan en el piñón final.

- d) Se medirá la energía generada por el dínamo por medio de un multímetro, seguidamente se establecerá el tipo de acumulador que se le acoplará al sistema, teniendo en cuenta el voltaje que el dínamo presenta.
- e) De acuerdo a la energía generada se observará la eficiencia del sistema con el objeto del posible acoplamiento del sistema a la máquina multifuerza. En caso de que el sistema pueda ser acoplado, entonces, se establecerá la forma en la que se realizará el mismo.

4.1.3.2 Diseño del sistema neumático

- a) Partiendo de la revisión bibliográfica realizada inicialmente se establece un diseño inicial y un diagrama de flujo del sistema neumático, el cual será acoplado posteriormente a la máquina multifuerza.
- b) Teniendo en cuenta el diseño del sistema se determinará cuantas repeticiones son necesarias en el sistema émbolo-pistón para llenar el tanque de almacenamiento (Ver Anexo 6).
- c) Posteriormente se medirá la velocidad en la salida del tanque con la ayuda de un anemómetro, con la finalidad de determinar el caudal del flujo por medio de la *Ecuación 4*.

$$Q = A * V \quad (4)$$

FUENTE: Neumática e hidráulica [64].

Dónde:

Q: Caudal de flujo (m³/s).

A: Área de la sección (m²).

V: Velocidad (m/s).

- d) Se establecerá el tamaño de la hélice a implementar en la salida del tanque de almacenamiento, así mismo, se definirá el motor. Adicionalmente se establecerá con ayuda de un multímetro la energía generada por el motor en volts (V).
- e) Finalmente se observará la eficiencia del sistema para evaluar el desarrollo y el ensamblaje del prototipo a la máquina multifuerza.

4.1.3.3 Selección de los generadores y acumuladores

En los numerales 4.1.3.1 y 4.1.3.2 de este mismo capítulo, pertenecientes a la metodología para el diseño del sistema mecánico y neumático, se incluye la elección del generador y del acumulador, ya que con ayuda de estos se establecerá la eficiencia del prototipo.

La elección del generador y acumulador se realizará teniendo en cuenta la revisión bibliográfica inicial, y las especificaciones y requerimientos que presente cada sistema.

4.1.3.4 Construcción del sistema

En este numeral se definirá el prototipo a desarrollar teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los numerales 5.3.1 y 5.3.2. El prototipo se desarrollará a escala 1:1, el cual será acoplado a la máquina multifuerza para la generación de energía eléctrica.

4.1.3.5 Viabilidad del proyecto

En esta fase del proyecto se pretende establecer que tan eficiente es el prototipo desarrollado, esta viabilidad contemplará el componente económico y ambiental de un gimnasio y un hogar.

Para realizar la viabilidad económica y ambiental se establecerá el gimnasio y el hogar para los cuales se realizará esta fase del proyecto, para ello se debe conocer el consumo energético; por medio de las facturas del servicio público de energía eléctrica (Codensa).

La *viabilidad económica* para el gimnasio y el hogar se desarrollará de acuerdo a la siguiente metodología:

- a) Se debe establecer el consumo energético anual por parte del gimnasio y el hogar.
- b) Con el fin de establecer la energía eléctrica generada por parte de la máquina multifuerza, se desarrollará un muestreo a conveniencia, con las rutinas establecidas en el numeral 4.1.2., las cuales serán determinadas como muestreos.
- c) Posteriormente se calcula el ahorro, este se realiza multiplicando los consumos por el valor del kWh.
- d) Se debe calcular el costo del prototipo, para ello se establecerá el periodo de tiempo de uso comercial del prototipo, con el fin de calcular el Índice de Precios al Consumidor (IPC) y el Valor Presente Neto (VPN) para este periodo de tiempo. El VPN se calcula con el fin de establecer en cuanto tiempo se recuperará la inversión.

La *viabilidad ambiental* para el gimnasio y el hogar se realizará de la siguiente forma:

- a) Partiendo de los consumos calculados en la evaluación económica, se multiplicará cada uno de los consumos por un factor de conversión de acuerdo a la fuente energética que se emplee en el gimnasio y el hogar, determinando la huella de carbono generada por este y por el prototipo.
- b) Se restan las huellas de carbono determinadas anteriormente para establecer la contribución ambiental que genera la máquina multifuerza.

5. ANALISIS Y RESULTADOS

5.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La revisión bibliográfica se tomó como fundamento para obtener los resultados de los numerales 5.2 y 5.3 descritos a continuación, teniendo en cuenta que este proyecto se llevó a cabo por medio de una metodología experimental – analítica, fundamentada en una revisión bibliográfica exhaustiva de *Human Power* (HP), Sistemas Mecánicos y Neumáticos, a continuación se describen los resultados obtenidos para cada uno de los numerales que serán desarrollados de forma más detallada en este capítulo.

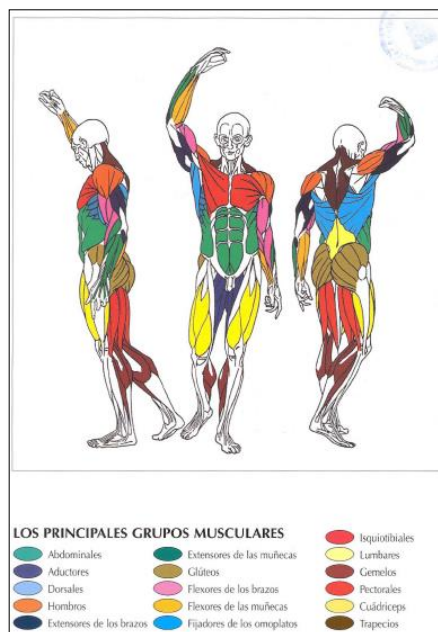
5.1.1 Fisiología

En el capítulo de fisiología se identificaron los grupos musculares del cuerpo humano que pueden generar mayor potencia, los ejercicios que se desarrollan y las máquinas multifuerza existentes en el mercado.

5.1.1.1 Grupos musculares del cuerpo humano

La anatomía humana se clasifica usualmente como se encuentra en la Tabla 9, la cual proporciona información de los principales grupos musculares del cuerpo humano y los músculos pertenecientes a estos.

Figura 5. Principales grupos musculares



FUENTE: Guía de movimientos de musculación [68].

Tabla 9. Grupos musculares

GRUPOS MUSCULARES	
Grupos musculares	Músculos
Brazo y antebrazo	Bíceps braquial
	Supinador
	Cubital
	Radial
	Extensor propio de los dedos
	Palmar
	Acóneo
Hombro	Deltoides
	Infraespinoso
	Supraespinoso
	Haces superiores
	Trapezio
	Tríceps
	Redondo
Pectorales	Pectorales
	Haz clavicular
	Haz anterior
	Serrato
Espalda	Trapezio
	Romboides
	Dorsal
	Braquiorraquial
Piernas y glúteo	Glúteos
	Cuádriceps
	Bíceps femoral
	Fascia lata
	Semitendinoso
	Semimembranoso
	Gemelo
	Pectíneo
	Recto
	Aductor
	Abductor
	Plantar
	Sóleo
	Tríceps
Esquiotibial	Bíceps femoral
	Semitendinoso
	Semimembranoso
Abdominales	Recto mayor
	Recto anterior
	Oblicuo mayor
	Oblicuo menor
	Oblicuo interno
	Piramidal

FUENTE: Guía de los movimientos de musculación [68].

5.1.1.2 Ejercicios que se desarrollan para ejercitar los grupos musculares

Tomando como referencia los grupos musculares del cuerpo humano se elaboró la Tabla 10 en la cual se pueden observar que ejercicios se pueden desarrollar de acuerdo al grupo muscular a trabajar.

Tabla 10. Ejercicios según el grupo muscular

EJERCICIOS SEGÚN EL GRUPO MUSCULAR	
Grupo muscular	Ejercicio
Brazo y antebrazo	Curl de bíceps
	Bíceps, brazos en cruz, en polea alta

EJERCICIOS SEGÚN EL GRUPO MUSCULAR	
Grupo muscular	Ejercicio
	Bíceps en el banco Scott
	Curl de antebrazos
	Extensiones de tríceps en polea alta
	Extensiones alternada de los antebrazos
	Press francés
	Extensión de brazos
	Patadas de tríceps
	Dippings
Hombros	Press
	Elevaciones laterales
	Elevaciones frontales
	Elevaciones posteriores
	Deltoides posterior
Pectorales	Encogimiento de hombros
	Press de pecho
	Flexiones de brazos
	Dips
	Aperturas con mancuernas
	Aperturas en contructor de pecho
	Cruces de pie con poleas
Espalda	Pull-over
	Tracción o dominadas en barra fija
	Polea al pecho
	Polea trasnuca
	Polea al pecho con agarre estrecho
	Pull-over con polea alta,
	Remo
	Encogimiento de hombros
Pierna y glúteo (esquiotibial)	Encogimiento y rotación de los hombros
	Flexión de muslos con mancuerna
	El squat
	Prensa de piernas
	Hack squat
	Leg extensión
	Leg Curl
	Curl de piernas
	Abductores
	elevación de talones
	Donkey calf raise
	Extensión de talones
	Peso muerto
	Hiperextensiones
	Lunges
	Extensión de la cadera
	Elevación de la pelvis en el suelo
	Abducción de la cadera
Abdominales	Crunch
	Elevaciones del tronco
	Encogimientos abdominales con los pies apoyados en un banco
	Elevaciones del tronco
	Elevaciones de piernas
	Elevaciones de rodillas
	Rotación del tronco con bastón
	Flexión lateral del tronco – Twist

FUENTE: Fuente: Guía de los movimientos de musculación [68].

5.1.1.3 Máquinas multifuerza capaces de desarrollar mayor cantidad de ejercicio

En la Tabla 11 es posible observar las máquinas multifuerza del catálogo de *Life Fitness* disponibles actualmente en el mercado, en ella se especifica los

ejercicios que se pueden realizar con cada una de ellas [69]. Se toma este catálogo inicialmente como referencia debido a su fácil acceso, al ser la línea de productos que maneja el gimnasio de la Universidad Santo Tomas, al comparar este folleto con otras marcas presentes en el mercado como, *Athletic Advance*, *Sport Fitness*, *Perfect 10*, *ProFit*, entre otras, se encuentra que se ofrecen los mismos productos básicos, y los mismos servicios encontrando variaciones en su precio.

Tabla 11. Máquinas multifuerza

MÁQUINAS MULTIFUERZA		
Nombre	Imagen	Ejercicio
Multi-gimnasio G2		Leg Extension
		Abducción de la cadera
		Extensión de la cadera
		Prensa de piernas
		Elevación de talones
		Curl de bíceps
		Press de pecho
		Aperturas en contractor de pecho
		Polea trasnuca
		Remo
		Elevación de pierna
		Press frontal con barra
		Curl de piernas
Multi-gimnasio G4		Flexiones de brazos
		Aperturas en contractor de pecho
		Pull – over
		Press de hombro
		Remo
		Deltoides posterior
		Deltoides posterior
		Bíceps, brazos en cruz, en polea alta
		Crunch
		Abducción de la cadera
Multi-gimnasio G5		Prensa de piernas
		Press de pecho
		Aperturas en contractor de pecho
		Flexiones de brazos
		Remo
		Elevación de pierna
		Press de hombro
		Extensión de la cadera
		Deltoides posterior
		Extensiones alternada de los antebrazos
		Crunch
		Leg extensión
		Abductores
		Elevación de talones
		Hack squat

FUENTE: [69], [68].

5.1.2 Elección del prototipo para la generación de energía

5.1.2.1 Sistema mecánico

Para el diseño del sistema mecánico es necesario identificar los sistemas de transmisión y transformación de movimiento que puedan acoplarse a la máquina multifuerza.

- **Sistemas de transmisión de movimiento:** De acuerdo a los sistemas descritos en la Tabla 1, fue posible establecer las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, conforme a las necesidades y características específicas para el desarrollo de un prototipo que se acople a una máquina multifuerza para la generación de energía, las cuales se pueden observar en la Tabla 12.

El desarrollo de esta tabla pretende encontrar el sistema de transmisión de movimiento más adecuado para aumentar la potencia de un sistema circular.

Tabla 12. Ventajas y desventajas de los sistemas de transmisión de movimiento

SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO		
SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Palanca	Capaz de levantar mucho peso con poca fuerza.	Transmisión de movimiento rectilíneo a rectilíneo.
		Transmisión de fuerzas lineales.
Polea	Transforman la dirección, sentido o velocidad del movimiento circular.	La velocidad de transmisión no es exacta.
	Desplaza cargas de un punto a otro.	No es un mecanismo de precisión de transmisión.
	Se aplican las fuerzas en la dirección conveniente.	No presenta transmisión exacta.
	No requiere lubricación.	
	Son silenciosas.	
	Se pueden usar en elevadas distancias entre ejes.	
Rueda de fricción	Transmisión circular.	Transmiten el movimiento, pero no lo amplifican.
Engranajes	Presenta una transmisión de movimiento circular exacta sin pérdidas como en el caso de las poleas y rueda de fricción.	No son silenciosas.
	Transmisión de potencia un eje primario a otro secundario, permitiendo el aumento de revoluciones (rpm).	
	Pueden trabajar a altas cargas y velocidades.	
	Tienen mayor vida útil.	
Cadena	Son utilizadas para obtener altas velocidades de giro en transmisión circular.	Costos elevados.
	Presentan alta precisión.	Irregularidad en la transmisión.
	Se utilizan para ejes distantes.	Mantenimiento periódico.
Correa	Transmisión circular.	.Transmite el movimiento sin cambiar el sentido de rotación.
	No requiere lubricación.	
	Se utilizan para ejes distantes.	
	Son silenciosas.	

FUENTE: Montaje y reparación de los sistemas mecánicos [10].

- **Sistemas de transformación de movimiento:** Teniendo en cuenta los sistemas de transformación movimiento descritos en la Tabla 2, fue posible establecer las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, de acuerdo a las necesidades y características específicas para el desarrollo de un prototipo que sea capaz de acoplarse a una máquina multifuerza para la generación de energía, las cuales se pueden observar en la Tabla 13. El desarrollo de esta tabla pretende encontrar un sistema capaz de transformar el movimiento rectilíneo en circular.

Tabla 13. Ventajas y desventajas de los sistemas de transformación de movimiento

SISTEMAS DE TRANSFORMACIÓN DE MOVIMIENTO		
SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Cremallera	Transforma el movimiento desde una barra dentada a un piñón	Genera ruido y posible aumento en la carga
Pistón - Biela – Cigüeñal	Transformación de movimiento a partir de uno rotatorio a uno lineal	Emplea combustible
Manivela torno	Es capaz de cambiar la dirección del movimiento	Su función es elevar cargas
Biela – Manivela	Transforma el movimiento rectilíneo en circular	Presenta puntos muertos en su funcionamiento generando menor eficiencia
Excéntricas o Levas	Transforma la dirección por medio de una rueda que mueve un vástago en dirección lineal	Producción de un movimiento específico (una sola dirección), además presenta movimiento helicoidal.

FUENTE: [10], [70], [71].

5.1.2.2 Sistema neumático

De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada anteriormente se establecen las ventajas y desventajas del sistema neumático presentes en la Tabla 14.

Tabla 14. Ventajas y desventajas del Sistema Neumático

SISTEMA NEUMÁTICO	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
- Bajo costo de sus componentes. - Larga durabilidad. - Facilidad de diseño. - Trabajar a bajas presiones. - Riesgo nulo a explosión. - Transmisión de energía a largas distancias. - Conversión de movimiento giratorio a lineal. - Fácil mantenimiento. - Fácil aplicabilidad. - Los componentes neumáticos son de configuración sencilla y se montan fácilmente para proporcionar sistemas automatizados extensos con un control relativamente sencillo. - Se puede elegir entre un movimiento lineal o de rotación angular con velocidades de funcionamiento fijas y continuamente variables, que se pueden regular fácilmente. - No le afectan ambientes con temperaturas elevadas, polvo o atmosferas corrosivas.	- Velocidades inestables debido a la compresibilidad del aire. - Posibles fugas que reducen el rendimiento. - Altos costos de energía neumática.

FUENTE: Neumática e hidráulica [72].

5.1.3 Generadores y acumuladores eléctricos

Se identificaron los diferentes tipos de generadores eléctricos y acumuladores, con el fin de caracterizarlos y así poder determinar cuál es el más apropiado y cual se acopla mejor a cada sistema, por tal razón en el numeral 5.3 se podrá

observar resultados diferentes para el sistema mecánico y neumático en cuanto a los generadores y acumuladores viables para cada sistema.

- **Generadores eléctricos:** Los generadores eléctricos son equipos que permiten convertir la energía mecánica en energía eléctrica, como se mencionó anteriormente en el marco teórico, de acuerdo a esto se pudo identificar tres tipos de generadores: corriente directa (dc), corriente alterna (ca) y electromagnético, los cuales presentan características específicas que determinarán la selección de uno de ellos para la implementación en el sistema, las cuales se pueden observar en la Tabla 15.

Tabla 15. Generadores eléctricos

GENERADORES ELÉCTRICOS	
GENERADOR	CARACTERÍSTICAS
Corriente directa (dc)	Es una corriente que transforma la corriente alterna en una onda continua (corriente directa)
Corriente alterna (ca)	Son alternadores de polaridad de voltaje y dirección de corriente de forma periódica
Electromagnético	Proporcionan tensión constante en sus bordes, por la creación de fuerza electromotriz en su interior

FUENTE: [19], [20], [21], [22].

- **Acumuladores eléctricos:** se reconocieron dos tipos de baterías que podrían ser implementadas en el sistema, de tipo primario y secundario, las cuales se describen en la Tabla 16 a continuación.

Tabla 16. Clasificación de baterías

CLASIFICACIÓN DE BATERÍAS	
BATERÍAS PRIMARIAS	
Zinc - Carbón o Pila seca	El electrodo negativo actúa el Zinc, electrodo positivo el Dióxido de Magnesio y como electrolito una solución de Cloruro Amónico y Cloruro de Zinc.
Zinc - Dióxido de Manganeso o Batería alcalina	El electrodo negativo actúa el Zinc, electrodo positivo el Dióxido de Magnesio y como electrolito una solución de Hidróxido Potásico.
BATERÍAS SECUNDARIAS	
Plomo-Ácido Sulfúrico	Acumula hasta 30 Ah y presenta tensión de 12 V.
Níquel-Cadmio	Es una batería recargable que presenta como electrodo positivo Hidróxido de Níquel, como electrodo negativo Cadmio y como electrolito una solución de Hidróxido Potásico.
Níquel - Metal Hidruro	Acumula hasta 2,8 Ah, proporciona un voltaje de 1,2V, los ciclos de carga-descarga oscilan entre 500 - 700 cargas.
Ion Litio	Las reacciones ocurren por inserción en los electrodos.
Alcalina recargable	Los electrodos son el Zinc y Bióxido de Manganeso, los cuales actúan en un medio alcalino. Presenta 40 ciclos de carga.

FUENTE: [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29].

5.2 FISIOLOGÍA

En este numeral se definirán los grupos musculares del cuerpo humano, cuáles de ellos presentan mayor potencia y por lo tanto cuáles de ellos podrían llegar a generar mayor cantidad de energía y con qué ejercicios físicos se podrán desarrollar, con el objetivo de generar mayor potencial.

5.2.1 Grupos musculares del cuerpo humano

Los grupos musculares del cuerpo humano se describen en el numeral 5.1, el cual hace referencia a la revisión bibliográfica, en la cual se reconoció la anatomía humana y como se agrupa en los diferentes grupos musculares que componen el cuerpo humano, la cual se puede observar en la Figura 5.

5.2.2 Selección del grupo muscular

A partir de la revisión bibliográfica se observaron diferentes estudios, los cuales se pueden observar en la Tabla 17, respecto a que grupo muscular es capaz de generar mayor potencia al ejercitarse.

Tabla 17. Revisión estudios de los grupos musculares

REVISIÓN ESTUDIOS DE LOS GRUPOS MUSCULARES	
Titulo	Autores
Changes in muscle coordination and power output during sprint cycling	Steven O'Bryan
	Nicholas A.T. Brown
	François Billaut
	David Rouffet
Effects of muscle fatigue on grip and load force coordination and performance of manipulation tasks	Nicholas Emge
	Goran Prebeg
	Mehmet Uygur
	Slobodan Jaric
Empirical assessment of dynamic hamstring function during	Darryl G. Thelen
	Amy Lenz
	Carrie Francis
	Rachel Lenhart
Hamstrings and quadriceps muscle contributions to energy generation and dissipation at the knee joint during stance, swing and flight phases of level running	Antonio Hernández
	C. H. Yeow

FUENTE: [42], [43], [39], [41].

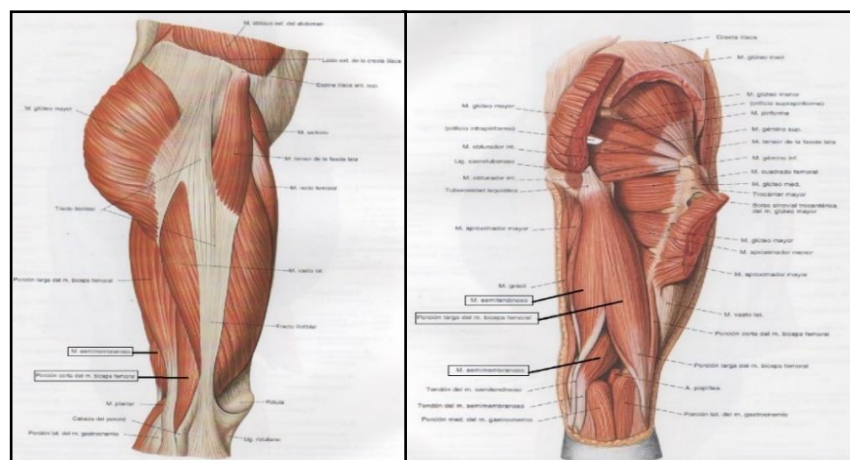
De acuerdo a la Tabla 17, se obtuvo como resultado que los grupos musculares que generan mayor potencia son los esquirotibiales y antebrazo, tomando como referencia que C.H. Yeow [41], en su artículo *Hamstrings and quadriceps muscle contributions to energy generation and dissipation at the knee joint during stance, swing and flight phases of level running*, concluyó que los bíceps braquial son los músculos con mayor capacidad de producción de energía y Darryl G. Thelen, et al. [39], en su artículo *Empirical assessment of dynamic hamstring function during* señala que la generación de energía mecánica es mayor cuando los músculos se encuentran estimulados, y los músculos esquirotibiales son aquellos que presentan mayor posibilidad de producción de energía, lo cual se puede corroborar en la Figura 1, en la cual se puede observar que los grupos musculares que presentan mayor fuerza son los

músculos de la cadera y la pelvis en la extremidades inferiores y el antebrazo en las extremidades superiores, teniendo en cuenta que la potencia de un músculo se determina por medio de la fuerza y la velocidad que ejerce un individuo, adicionalmente esto depende de las condiciones estructurales, biomecánicas y funcionales. Las cuales se tuvieron en cuenta en cada uno de los artículos mencionados anteriormente, en una población de estudio.

Por lo tanto, se define que el grupo muscular esquirotibial (isquiotibiales), hace referencia a los músculos flexores de la pierna sobre el muslo, los cuales corresponden a un grupo muscular especial, encargado del movimiento de la cadera que se encuentran constituido por: músculo bíceps femoral, semitendinoso y semimembranoso, el cual se puede ver representado en la Figura 6 [73].

- Músculo bíceps femoral: se extiende desde el isquion y del fémur a la cabeza de la fíbula [73].
- Músculo semitendinoso: este músculo es carnoso en la parte de arriba, tendinoso abajo, por esta razón su nombre, extendiéndose desde el isquion a la tibia [73].
- Músculo semimembranoso: se extiende desde el isquion a la tibia y a la articulación de la rodilla. Su nombre se debe a que su tercio superior está constituido por una ancha membrana de inserción superior [73].

Figura 6. Músculos esquirotibiales



FUENTE: Atlas de anatomía humana [74].

Cada uno de estos músculos presenta una función particular en el cuerpo humano, la cual se puede observar en la Tabla 18.

Tabla 18. Grupo muscular esquirotibial.

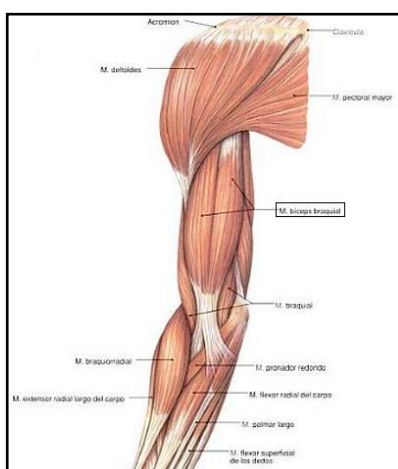
GRUPO MUSCULAR ESQUIROTIBIAL				
MÚSCULO	INERVACIÓN	ORIGEN	INSERCIÓN	FUNCIÓN
Bíceps femoral	Nervio tibial	Tuberosidad isquiática	Cabeza del peroné	Flexión del muslo sobre la rodilla, rotación lateral, extensión de la cadera
	Nervio peroneo común	Mitad distal del labio lateral de la línea áspera		

Semitendinoso	Nervio tibial	Tendón corto de la tuberosidad isquiática	Tendón largo en el borde medial de la tuberosidad (formación anatómica) de la tibia	Flexión del muslo sobre la rodilla, rotación medial; extensión de la cadera
Semimembranoso	Nervio tibial	Tuberosidad isquiática	Tendón grueso y corto en el cóndilo medial de la tibia y en el ligamento poplíteo oblicuo	Flexión del muslo y rotación medial de la rodilla; extensión de la cadera

FUENTE: Atlas de anatomía humana [74].

Y el músculo que presenta mayor potencial en las extremidades superiores del cuerpo, es el bíceps braquial; el cual hace parte del grupo muscular brazo y antebrazo, donde el músculo bíceps braquial presenta dos cabezas, una larga y una corta las cuales se unen en la región media del brazo, como se puede observar en la Figura 7. La cabeza larga pasa por un conducto osteofibroso formado por las estructuras óseas del surco y cerrado por el ligamento transversal del húmero, y la cabeza corta comparte el tendón con el músculo coracobraquial, sus fibras se dirigen hacia el húmero. Este músculo es biarticular, por lo que actúa sobre las articulaciones del codo y el hombro, además es capaz de transmitir la fuerza que ejerce a la región cubital (hacia la articulación del codo) [75].

Figura 7. Músculo bíceps braquial



FUENTE: Atlas de anatomía humana [74].

La fuerza muscular máxima que puede alcanzar este músculo es en su contracción, la cual se ejecuta a los 90° de la articulación del codo. Esta se puede lograr generando una tensión por medio de bandas elásticas o levantamiento de pesas [8].

Los músculos bíceps braquial, bíceps femoral, semitendinoso y semimembranoso presentan fibras de contracción rápida por lo que pueden presentar alta potencia muscular al contraerse.

5.2.3 Ejercicios que se desarrollan para ejercitar los grupos musculares

En el numeral 5.1 se describen los ejercicios que se desarrollan para ejercitar los grupos musculares seleccionados anteriormente, sin embargo, la mayor parte de estos ejercicios no se pueden desarrollar en una máquina multifuerza por lo que la elección de la presente máquina se verá influenciada por los siguientes ejercicios: Curl de bíceps con polea, Curl de bíceps en banco Scott, Bíceps, brazos en cruz, en polea alta, Prensa de piernas inclinada, Curl de piernas acostado, Curl de piernas alterno, de pie en máquina, y Curl de piernas sentado en máquina.

5.2.4 Selección de la máquina multifuerza

Las máquinas multifuerza existentes en el mercado se identificaron en el numeral 5.1 tomando como base el catálogo de *LifeFitness*, el cual se tomará como referencia para la selección de la máquina multifuerza. La selección de esta máquina se verá influenciada por los grupos musculares seleccionados en el numeral 5.2.3, a la hora de realizar mayor cantidad de ejercicios que sean capaces de desarrollar los músculos.

De acuerdo a lo anterior y a los resultados proporcionados por la revisión bibliográfica realizada acerca de las máquinas multifuerza presentes en el mercado, la más apropiada de acuerdo a los ejercicios que se pueden desarrollar y grupos musculares que ejercita, es la Multi-gimnasio G2, la cual se puede ver en la Tabla 11. Sin embargo, se adquirió la máquina MTDP-7060 de *BodyTone* la cual se representa en la Figura 8, ya que se realizó una revisión de máquinas multifuerza con características similares: como la cantidad de ejercicios a desarrollar y grupos musculares que ejercita, las cuales para este proyecto son de vital importancia. La máquina adquirida además de presentar las anteriores características presenta un menor costo por lo cual, esta es la adquirida para realizar el proyecto.

Figura 8. Máquina MTDP-7060 de *BodyTone*



FUENTE: BodyTone. Empowering your lifestyle [76].

Al establecer la máquina que se utilizará y con ella los ejercicios que se pueden desarrollar, según los grupos musculares de nuestro interés se pretende proponer dos tipos de rutinas donde se incluyan estas características.

Los expertos en fisiología del entrenamiento físico recomiendan que se desarrollen diferentes ejercicios teniendo como referencia los grupos musculares, adicionalmente se debe tener en cuenta que la persona no debe presentar episodios de fatiga muscular por lo que recomiendan realizar 4 series con repeticiones entre 12 y 20 según el individuo [7], [52]. Por lo cual se proponen las siguientes rutinas en la Tabla 19, se recomienda que antes de realizar cada una de ellas se realice un calentamiento previo.

Tabla 19. Rutinas a realizar en la máquina multifuerza

ROUTINA DE ENTRENAMIENTO FÍSICO		
PRIMERA ROUTINA		
Ejercicio	Músculos	Repeticiones
1. Extensión de pierna	Cuádriceps	15-20
2. Aperturas de pecho	Pectoral mayor	12-15
3. Prensa de piernas	Cuádriceps Bíceps femoral Glúteo mayor	18-20
4. Press de pecho	Tríceps	12-15
5. Curl de piernas	Bíceps femoral Semitendinoso Semimembranoso	15-20
SEGUNDA ROUTINA		
Ejercicio	Músculos	Repeticiones
1. Curl de bíceps	Bíceps	10-12
2. Polea trasnuca	Redondo mayor Dorsal ancho Romboides Bíceps Branquial anterior	12-15
3. Press frontal con barra	Deltoides	12-15
4. Remo	Dorsal ancho Romboides mayor Trapecio Deltoides Branquial anterior	10-12
5. Apertura de pecho	Pectoral mayor	12-15

FUENTE: Guía de los movimientos de musculación [68].

5.3 ELECCIÓN DEL PROTOTIPO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA

5.3.1 Diseño del sistema mecánico

En este numeral se identificarán los sistemas de transmisión de movimiento y transformación de movimiento que son más eficientes para el desarrollo del prototipo a acoplar en la máquina multifuerza seleccionada anteriormente.

a) Selección de los sistemas de transmisión y transformación de movimiento. Teniendo en cuenta que el movimiento que se aprovechará en la máquina multifuerza por medio de este prototipo es circular, se toma como referencia el numeral 5.1, en el cual se identificaron las ventajas y desventajas de los sistemas mecánicos (sistemas de transmisión y transformación de movimiento), se selecciona el sistema de transmisión de movimiento, específicamente engranajes y cadena. No se selecciona ningún sistema de transformación de movimiento pues no se requiere el paso de un movimiento circular a rectilíneo o rectilíneo a alternativo.

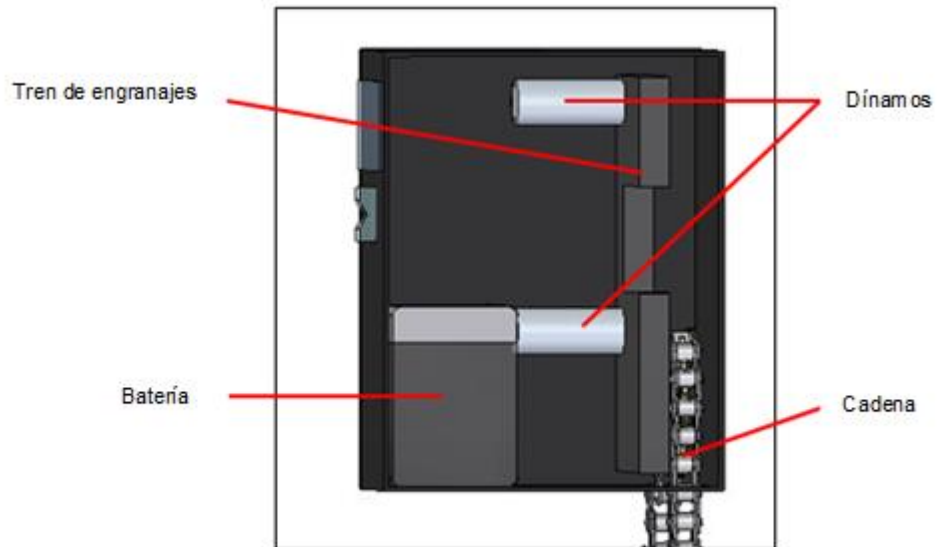
Se selecciona el sistema de engranajes con el fin de emplearlo como multiplicador de velocidad, ya que es capaz de transmitir la potencia de un eje primario a un secundario, permitiendo el aumento en las revoluciones del mismo. Adicionalmente es un sistema con pocas pérdidas en su transmisión, y logra trabajar con altas cargas y velocidades. La selección del sistema cadena se basa en el transporte del trabajo a lo largo de la cadena, es decir, la transmisión constante de la velocidad; esto con la finalidad de transmitir las revoluciones generadas por la polea inicial de la máquina multifuerza (Ver Anexo 2 y 10), al tren de engranajes.

b) Planos de diseño y componentes del sistema mecánico: De acuerdo con lo anterior, se presentan los planos de diseño de la cadena y el tren de engranajes en el Anexo 2 y 3, respectivamente.

Teniendo en cuenta el diseño presentado en los planos anteriormente mencionados, se realiza el acople de los dos sistemas de transmisión por medio de un eje, fabricado en nylon industrial como se puede observar en las fotografías del Anexo 8; el cual busca transmitir las revoluciones del piñón (cadena) al engranaje principal (trenes de engranajes).

Posteriormente se realiza un plano de diseño de una caja de reducción de 24,4 cm x 10,3 cm x 19,0 cm, el cual se observa en el Anexo 4 y 10. La caja de reducción se compone por la cadena, el tren de engranajes, dos dínamos como generadores de energía y una batería como acumulador como se puede observar en la Figura 9.

Figura 9. Caja de reducción

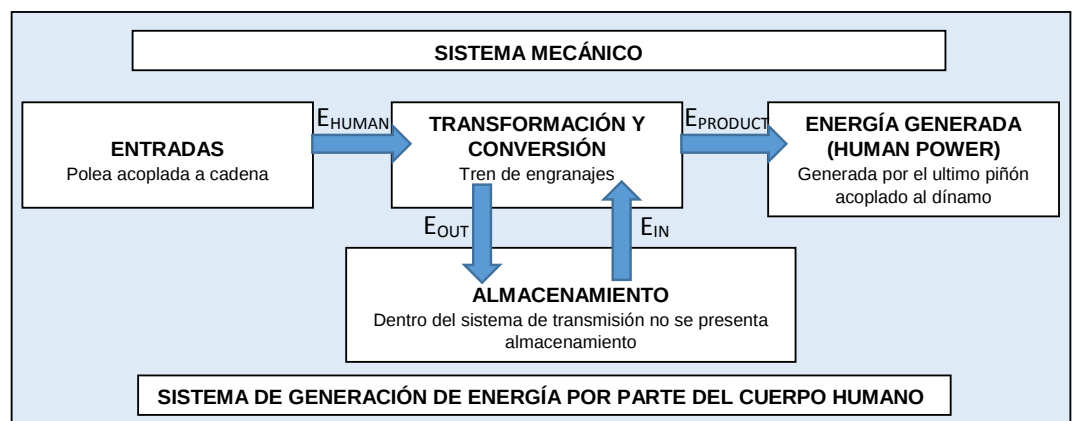


FUENTE: Elaborado por autoras en SolidEdge.

La caja de reducción representa el prototipo mecánico, en el cual se establecen las entradas, salidas y mecanismos de transmisión presentes en el sistema, las cuales se representan en el Diagrama 5.

Por medio del diagrama se señala el sistema mecánico como un posible sistema de generación de HP, en el cual el almacenamiento hace parte de un sistema independiente.

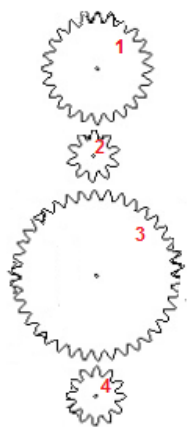
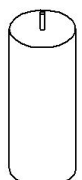
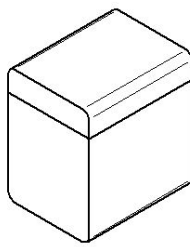
Diagrama 5. Sistema de generación de energía - Sistema Mecánico.



FUENTE: Autoras.

A continuación se encuentra la Tabla 20, la cual presenta los componentes del prototipo del sistema mecánico empleados en la caja de reducción del Anexo 4. En ella se encontrarán las dimensiones de los componentes, así mismo, la aplicabilidad de cada uno de ellos dentro del sistema.

Tabla 20. Elementos que componen el sistema mecánico

SISTEMA MECÁNICO			
1. Sistema cadena – piñón			
	Dimensiones		Aplicabilidad
	Plato	No. Dientes: 28	
		Diámetro: 0,112 m	
	Piñón fijo	No. Dientes: 18	
		Diámetro: 0,075 m	
Cadena	0,75 m		
			Se usa para transmitir las revoluciones que genera la polea a la caja de engranajes.
2. Tren de engranajes			
	Dimensiones		Aplicabilidad
	Piñón 1	No. Dientes: 24	
		Diámetro: 0,022 m	
	Piñón 2	No. Dientes: 10	
		Diámetro: 0,01 m	
	Piñón 3	No. Dientes: 38	
		Diámetro: 0,03 m	
	Piñón 4	No. Dientes: 12	
		Diámetro: 0,012 m	
			Pretende aumentar la velocidad (revoluciones) por medio de engranajes, generando más de 60 rpm las cuales serán aprovechadas por el dínamo.
3. Dínamo			
	Dimensiones		Aplicabilidad
	Diámetro	0,025 m	
	Alto	0,065 m	
			Se emplean para aprovechar las revoluciones generadas por el piñón 2, generando energía la cual alimentara a la batería.
4. Batería			
	Dimensiones		Aplicabilidad
	Ancho	0,07 m	
	Largo	0,09 m	
	Alto	0,10 m	
			Busca almacenar la energía generada por los dínamos, para luego ser utilizada.

FUENTE: Autoras.

c) Cálculos para el diseño de los sistemas: Como se menciona en la metodología establecida en el numeral 4.1.3.1 el cálculo de las revoluciones que presenta la cadena y el tren de engranajes se realizará

por medio de la ley fundamental de engranajes (*Ecuación 1*) y se establecerá la relación presente entre los engranajes (*Ecuación 5*).

- **Cadena:** El diseño se realiza tomando como referencia el piñón fijo de la cadena. Es decir, el piñón fijo solo aprovechará el movimiento en una dirección, el cual es usado en los sistemas de transmisión de las bicicletas, que será empleado en la máquina multifuerza en el momento de ejecutar el ejercicio. El plato de este mismo sistema debe tener un tamaño similar al de la ppolea, la ppolea presenta un diámetro de 10 cm. En el mercado se encuentra un plato de 11,2 cm de diámetro, el cual presenta 28 dientes.

De acuerdo a las características que se encuentran en la Tabla 20 se calculó la cantidad de revoluciones que alcanza el piñón fijo partiendo de que la ppolea da mínimo una vuelta al ejecutar cualquiera de los ejercicios propuestos, transmitiendo esta vuelta al plato. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en un minuto se desarrollan tres repeticiones, por lo tanto:

- Velocidad

$$\frac{Vel. \piñón}{3 \text{ rpm}} = \frac{28 \text{ dientes}}{18 \text{ dientes}}$$

$$Vel. \piñón = 4,67 \text{ rpm}$$

Según el cálculo anterior, en la cadena se alcanza una velocidad de 4,67 rpm, por lo que se entiende que el engranaje inicial del tren de engranajes inicia con esta velocidad.

- Relación

$$Relación = \frac{28 \text{ dientes}}{18 \text{ dientes}} = 1,6$$

Esta relación muestra que por cada vuelta que realice el plato, el piñón fijo dará 1,6 vueltas.

- **Tren de engranajes:** Teniendo en cuenta que el engranaje principal da 4,67 rpm, se parte de este punto para el cálculo de la velocidad en el piñón final.

- Velocidad

Velocidad engranaje 8

$$\frac{Engranaje 6}{4,67 \text{ rpm}} = \frac{24 \text{ dientes}}{38 \text{ dientes}} * \frac{38 \text{ dientes}}{12 \text{ dientes}} * \frac{38 \text{ dientes}}{12 \text{ dientes}} * \frac{38 \text{ dientes}}{12 \text{ dientes}}$$

$$Engranaje 6 = 93,66 \text{ rpm}$$

$$\frac{Engranaje 8}{93,66 \text{ rpm}} = \frac{38 \text{ dientes}}{10 \text{ dientes}}$$

$$\text{Engranaje 8} = 355,91 \text{ rpm}$$

De acuerdo a los planos de diseño de la caja de reducción, el engranaje 8 se encuentra acoplado al primer dínamo por medio de un eje. Los dínamos que se incluyen en el diseño son capaces de generar energía a partir de 60 rpm, por esta razón y el cálculo anterior es posible afirmar que el sistema es apto para la generación de energía.

Velocidad engranaje 19

Para el cálculo de la velocidad en el piñón final, se toman las revoluciones generadas en el engranaje 6 hasta el final del tren de engranajes (Engranaje 19).

$$\begin{aligned} \text{Engranaje 19} \\ 93,66 \text{ rpm} \\ &= \frac{12 \text{ dientes}}{38 \text{ dientes}} * \frac{12 \text{ dientes}}{38 \text{ dientes}} * \frac{38 \text{ dientes}}{38 \text{ dientes}} * \frac{38 \text{ dientes}}{12 \text{ dientes}} \\ &\quad * \frac{12 \text{ dientes}}{12 \text{ dientes}} * \frac{38 \text{ dientes}}{10 \text{ dientes}} \end{aligned}$$

$$\text{Engranaje 19} = 355,91 \text{ rpm}$$

De acuerdo al cálculo anterior se entiende que el segundo dínamo acoplado al engranaje 19, también es capaz de generar energía.

- Relación

$$\text{Relación 1} = \frac{24 \text{ dientes}}{38 \text{ dientes}} * \frac{38 \text{ dientes}}{12 \text{ dientes}} * \frac{38 \text{ dientes}}{12 \text{ dientes}} * \frac{38 \text{ dientes}}{12 \text{ dientes}} * \frac{38 \text{ dientes}}{10 \text{ dientes}}$$

$$\text{Relación 1} = 76,21$$

$$\text{Relación 2}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{38 \text{ dientes}}{12 \text{ dientes}} * \frac{12 \text{ dientes}}{38 \text{ dientes}} * \frac{12 \text{ dientes}}{38 \text{ dientes}} * \frac{38 \text{ dientes}}{38 \text{ dientes}} \\ &\quad * \frac{38 \text{ dientes}}{12 \text{ dientes}} * \frac{38 \text{ dientes}}{12 \text{ dientes}} * \frac{38 \text{ dientes}}{10 \text{ dientes}} \end{aligned}$$

$$\text{Relación 2} = 12,03$$

La relación 1 hace referencia que por cada revolución que da el engranaje 1, el engranaje 8 da 76,22 revoluciones, y la relación 2 nos indica que por cada revolución que realiza el engranaje 6, el engranaje 19 realiza 12,03 revoluciones.

d) Generador y acumulador: La selección de los dínamos utilizados en los planos de diseño se realiza principalmente porque estos generan a partir de 60 rpm, adicionalmente generan corriente directa, lo cual es mejor a la hora de almacenar la energía generada eliminando equipos intermedios que mermen la eficiencia final del prototipo. En el diseño se incluyen dos dinamos, ya que si sólo se emplea uno la resistencia en la máquina

multifuerza aumentará y hará que el ejercicio cambie, generando mayor esfuerzo al desarrollar el mismo.

Teniendo en cuenta lo anterior, con ayuda de un multímetro se mide la energía generada por el sistema mecánico (tren de engranajes y cadena), la cual se observa en la Tabla 21, en la cual se registra la sumatoria de la energía generada por los 2 dínamos (energía total de sistema mecánico).

Tabla 21. Energía generada por el Sistema Mecánico

Caja de reducción	
Energía generada (Volts)	10,9
	11,3
	10,8
	9,7
	11,5
Promedio	10,8

FUENTE: Autoras.

De acuerdo a los registros anteriores la caja de reducción está generando en promedio 10,8 V, partiendo de una vuelta generada por el plato.

Según los resultados de la revisión bibliográfica en el numeral 5.1.3, se establece que se empleará una batería de Plomo – ácido sulfúrico, ya que esta es capaz de almacenar hasta 12 V. Estas baterías, permiten cargar aparatos eléctricos como celulares, computadores, cargadores portátiles, entre otros.

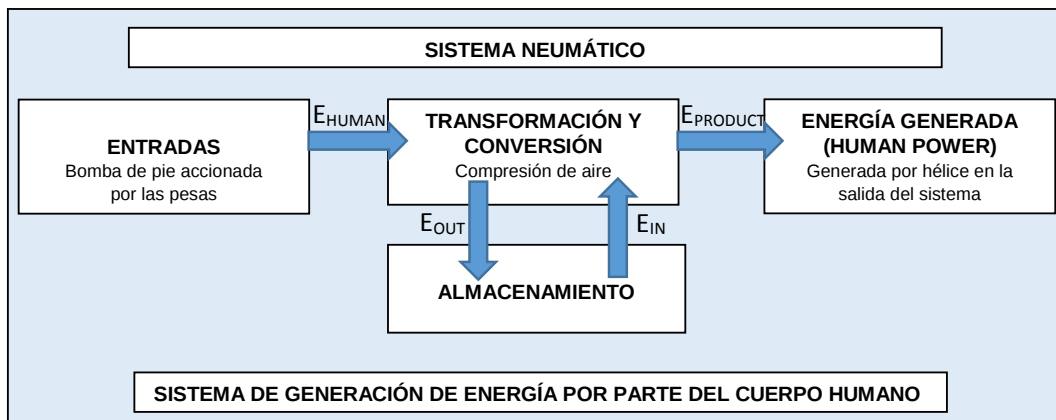
Sin embargo, al realizar las pruebas de carga de la batería, se pudo observar con ayuda de un multímetro que esta sólo almacena un 20% de la energía generada por la caja de reducción, esto se debe a que el amperaje que generan los dínamos es 1A y el amperaje que requiere la batería es de 5 A, por lo que se reduce el voltaje con el fin de incrementar el amperaje.

5.3.2 Diseño del sistema neumático

a) Planos de diseño y componentes del sistema neumático: El movimiento a aprovechar con este posible prototipo es lineal, el cual se encuentra al subir y bajar las pesas en la parte posterior de la máquina multifuerza. De acuerdo a lo anterior y a las ventajas y desventajas encontradas en los resultados de la revisión bibliográfica del sistema, se desarrolla el diagrama de flujo y el plano de diseño del mismo, los cuales se pueden observar en el Anexo 6 y 7, respectivamente.

De acuerdo a este diseño se logran establecer las entradas, salidas y mecanismos de transformación en el sistema, representándose en el Diagrama 6, permitiendo instaurar el sistema neumático como un posible sistema de generación de HP.

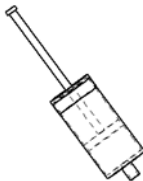
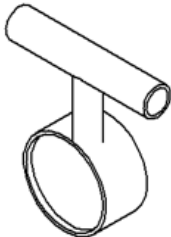
Diagrama 6. Sistema de generación de energía - Sistema Neumático.

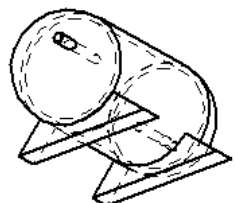
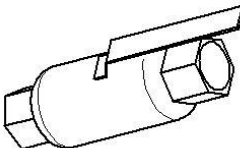
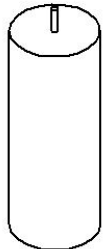


FUENTE: Autoras.

A continuación es posible encontrar la Tabla 22, la cual presenta los componentes del sistema neumático utilizados en el diagrama de flujo y en los planos de diseño presentes del Anexo 6 y 7. En ella se encontrarán las dimensiones de los componentes, así mismo, la aplicabilidad de cada uno de ellos dentro del sistema.

Tabla 22. Elementos que componen el sistema neumático

SISTEMA NEUMÁTICO			
1. Bomba			
	Dimensiones		Aplicabilidad
	Diámetro cilindro	0,055 m	
	Alto cilindro	0,118 m	
	Diámetro de salida	1/4" = 0,00635m	
	Área del cilindro	0,00273 m ²	
	Volumen del cilindro	0,00080 m ³	
			Su función es comprimir el aire dentro del tanque, aprovechando el sube y baja de las pesas, accionando el sistema émbolo-pistón.
2. Cheque			
	Dimensiones		Aplicabilidad
	Diámetro	¼" = 0,00635 m	
			Su función es permitir el paso del flujo, sin que este se devuelva.
3. Manómetro			
	Dimensiones		Aplicabilidad
	Diámetro	¼" = 0,00635 m	
	Medición	Registra hasta 150 psi	
			Se encuentra en la entrada del tanque para medir la presión del flujo.
4. Tanque de almacenamiento			

	Dimensiones		Aplicabilidad
	Diámetro del tanque	0,15 m	Se emplea para almacenar el fluido y comprimirlo hasta una presión de 100 psi.
	Alto del tanque	0,38 m	
	Área del tanque	0,21 m ²	
	Volumen del tanque	0,00671 m ³	
	Capacidad del tanque	12 L	
	Diámetro entrada y salida	1" = 0,0254 m	
5. Válvula de paso			
	Dimensiones		Aplicabilidad
	Diámetro	¼" = 0,00635 m	Su función es permitir la salida del flujo.
6. Turbina			
	Dimensiones		Aplicabilidad
	Número de aspas	2	Su función es permitir el paso del flujo por medio de las aspas, generando así movimientos circulares traducidos en revoluciones.
	Diámetro	1" = 0,0254 m	
	Velocidad promedio	22,77m/s	
6. Dinamo			
	Dimensiones		Aplicabilidad
	Diámetro	0,005 m	Su función es generar energía a partir de las revoluciones alcanzadas por la turbina.
	Alto	0,015 m	

FUENTE: Autoras.

b) Número de repeticiones que se deben realizar en el sistema émbolo-pistón: De acuerdo a la metodología establecida en el numeral 4.1.3.2, se debe determinar de forma experimental la cantidad de repeticiones que se debe realizar con el sistema émbolo-pistón, sin embargo, la bomba adquirida para el diseño inicial de este mecanismo no ejerce la presión necesaria para llenar el tanque de almacenamiento, ya que como lo establece *E. Carnicer* en su libro "*Aire comprimido*", la presión de flujo que sale del émbolo-pistón debe ser mayor a la presión en la entrada del tanque [18].

Como la presión no es la indicada, el flujo no es capaz de pasar a través del cheque, por lo que se devuelve y no llega al tanque de almacenamiento, por esta razón el cálculo del número de repeticiones se realiza de forma teórica, por medio de las leyes de los gases ideales de acuerdo a la metodología. Las leyes de los gases ideales establecen que debe existir una relación de temperatura, presión y volumen, para el flujo que sale de la bomba y el que entra en el tanque de almacenamiento.

Debido a que el sistema émbolo-pistón no es el adecuado para el llenado del tanque de almacenamiento por las razones descritas anteriormente, este procedimiento se realizó con la ayuda de un compresor, el cual garantiza la entrada del flujo al tanque de almacenamiento. Durante el desarrollo de esta fase el tanque logro alcanzar una presión máxima de 66 psi, ya que los accesorios utilizados no son los adecuados para resistir mayor presión, por tal razón las pruebas realizadas se tomaron hasta esta presión.

Para el cálculo del número de repeticiones se emplea la *Ecuación 4* (Caudal de flujo) que se encuentra en el numeral 4.1.3.2 (c), sin embargo, el V_1 perteneciente al sistema émbolo-pistón se desconoce, ya que las características de la bomba no son las adecuadas, lo cual se demuestra en el siguiente cálculo, empleando la *Ecuación 3* (Presión) que se encuentra en el numeral 3.2.

$$P = \frac{13,62Kg * 9,81m/s^2}{\pi * (0,0275m)^2} = 56.397,511Pa$$

$$56.397,511Pa = 8,179psi$$

$$8,179psi < 66psi$$

Dónde:

P = Presión Sistema émbolo – Pistón

F = Newton

$A = \pi \times d^2$

De acuerdo al cálculo anterior se establece que la presión de entrada (émbolo-pistón) es menor que la presión que se registra en el tanque de almacenamiento, comprobando así, que el sistema no es el adecuado. Por esta razón se determinan las dimensiones que debe presentar el sistema émbolo-pistón para que pueda ser implementado en el sistema neumático, tomando la presión del tanque como presión del sistema émbolo-pistón para el cálculo de sus dimensiones.

$$66 psi = 455.054 Pa$$

Despejando de la *Ecuación 3* (Presión) se calcula el área del émbolo-pistón, seguidamente se despeja el radio del área del émbolo.

$$A = \frac{13,62Kg * 9,81m/s^2}{455.054 Pa} = 0,000294m^2$$

$$r = \sqrt{\frac{0,000294 m^2}{\pi}} = 0,00967m = 1cm$$

De acuerdo con lo anterior el radio del émbolo debe ser menor a 1cm para que la presión sea mayor a la de salida.

$$P = \frac{13,62Kg * 9,81m/s^2}{\pi * (0,008m)^2} = 664,737,313Pa = 94,41psi$$

Conforme a lo anterior, para calcular el diámetro con el cual se logrará conseguir la presión adecuada para el sistema, se asignaron valores menores a 1cm, hasta llegar al diámetro indicado, de lo cual se obtuvo que debe ser de 0,8cm a una altura del cilindro de 35cm, teniendo en cuenta que a mayor altura se obtendrá mayor volumen, y está es la máxima permisible por la máquina multifuerza, al ser la altura máxima de las pesas.

Para determinar el número de repeticiones se realiza el cálculo de los volúmenes del émbolo-pistón y tanque de almacenamiento.

$$V1 = \pi * (0,016m)^2 * (0,35m) = 0,00056m^3$$

$$V2 = \pi * (0,15m)^2 * (0,38m) = 0,0269m^3$$

Dónde:

V_1 = Volumen del sistema émbolo-pistón (m^3).

V_2 = Volumen del tanque de almacenamiento (m^3).

Como el volumen se comporta constante entre el émbolo-pistón y el tanque de almacenamiento, entonces para calcular el número de repeticiones se divide el V_2 en el V_1 .

$$No. Repeticiones = \frac{0,0269m^3}{0,00056m^3} = 48,036 = 48 \text{ repeticiones}$$

Teniendo en cuenta la rutina propuesta en el numeral 4.1.1, se establece que como mínimo una persona es capaz de realizar 248 repeticiones en las 4 sesiones que realiza en la rutina. Por lo cual se establece teóricamente que una persona seria capaz de llenar aproximadamente cinco tanques de almacenamiento con un peso mínimo de 30 lb (Este valor se estableció teniendo en cuenta que una persona promedio realiza la rutina con 30lb, de acuerdo al promedio de los registros diarios del gimnasio “*Training & Fitness GYM*”).

- c) Caudal de flujo:** Una vez se tiene el tanque de almacenamiento lleno a una presión de 66 psi, se permite la salida del aire, de lo cual se registran los datos de velocidad de flujo en la Tabla 23 por medio de un anemómetro. Para ejecutar esta medición fue necesario realizar una ampliación del diámetro de salida de 3/8” a 1”, debido a que este es el diámetro con el cual registra el anemómetro, adicionalmente la válvula de paso se abre solamente a un 50% ya que la descompresión que experimenta el aire es grande y puede llegar a romper las aspas de la turbina.

Tabla 23. Datos de velocidad registrados en laboratorio

DATOS REGISTRADOS					
Presión	Velocidad inicial	Velocidad máxima	Desviación estándar (Vel. inicial)	Desviación estándar (Vel. máxima)	Tiempo
66 psi	15,4 m/s	20,9 m/s	1,616	3.147	14,32 s
	16,6 m/s	26,4 m/s			13,32 s
	18,6 m/s	21,0 m/s			15,16 s

Promedio	16,87 m/s	22,77 m/s			14,27 s
----------	-----------	-----------	--	--	---------

FUENTE: Autoras.

De acuerdo a la velocidad promedio registrada se procede a determinar el caudal del flujo presente en la salida del tanque de almacenamiento, por medio de la *Ecuación 4* (Caudal de flujo), que se encuentra en el numeral 4.1.3.2.

$$Q_{inicial} = (\pi \times (0,0254m)^2) \times (16,87m/s) = 0,0342m^3/s$$

$$Q_{m\acute{a}x} = (\pi \times (0,0254m)^2) \times (22,77m/s) = 0,0462m^3/s$$

El cálculo del caudal se realiza con el fin de dimensionar la turbina, sin embargo, como se posee un diámetro de 1" y las mediciones se realizaron con esta misma dimensión se adquiere una turbina en el mercado con esta misma característica.

d) Energía generada por el sistema neumático: La turbina adquirida viene acoplada con el dínamo, el cual es muy sensible siendo capaz de generar energía desde 20 rpm, así mismo, generando tensiones del orden de milivolts (mV). Al acoplar la turbina al sistema se mide con la ayuda de un multímetro la cantidad de volts que es capaz de generar el sistema, estos datos se encuentran registrados en la Tabla 24.

Tabla 24. Energía generada por el sistema neumático

DATOS REGISTRADOS	
Energía generada	122 mV
	108 mV
	123 mV
	120 mV
	111 mV
Promedio	116,8 mV

FUENTE: Autoras.

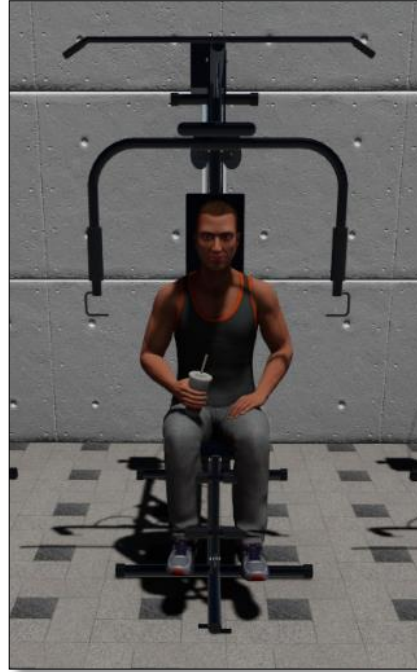
De acuerdo a los datos registrados el sistema genera aproximadamente 116,8 mV de energía (equivalente a 0,1168V), de acuerdo a la Tabla 16 que se encuentra en el numeral 5.1 la batería recargable que maneja menor voltaje es la de Níquel-Metal hidruro con una capacidad de 1,2V y 2,8 Ah por lo cual no es posible establecer un acumulador para este sistema.

e) Eficiencia y ensamblaje del sistema neumático: Teniendo en cuenta la anterior afirmación y tomando como referencia que un bombillo pequeño tipo LED se enciende con 1,5V [77], se puede decir que el sistema no es eficiente ya que la energía generada no sirve como suplemento de la demanda energética. Adicional a esto el acoplamiento del sistema afectaría el desarrollo de los ejercicios, debido a que este sistema amortiguaría la caída de las pesas generando que el ejercicio no se devuelva inmediatamente.

5.3.3 Construcción del prototipo

De acuerdo a los resultados obtenidos en los numerales 5.3.1 y 5.3.2 del sistema mecánico y sistema neumático, se toma el sistema mecánico como prototipo a acoplar en la máquina multifuerza, el cual se desarrollará a escala 1:1 según la metodología planteada, como se puede observar en la Figura 10.

Figura 10. Máquina multifuerza generadora de energía



FUENTE: Elaborado en 3ds Max por Natalia Mahecha

Inicialmente se acopla la polea al plato (Cadena), esto se realiza por medio de un retazo de nylon industrial de 7,5 cm de diámetro y 3 cm de ancho, el cual se encuentra entre la polea, el plato sujeto por medio de tres tornillos distribuidos simétricamente, el acoplamiento de esta pieza se puede observar en las fotografías del Anexo 8. Al acoplar estos componentes es necesario desoldar las platinas que sostenían la polea y soldar un brazo que se empleará para sostener la nueva pieza como se puede observar en el Anexo 9.

Posteriormente se llevan los planos de diseño de la caja de reducción con los cálculos desarrollados anteriormente para el tren de engranajes y la cadena a un Ingeniero Mecánico para el desarrollo del prototipo, la elaboración se desarrolla aproximadamente en periodo de una semana y 2 horas adicionales en la instalación. Para poder acoplar la caja de reducción a la máquina multifuerza se debe soldar una platina a la misma, para que el piñón y el plato de la cadena estén completamente alineados. Este montaje es posible observarlo en el Anexo 1 y 10.

Una vez instalado el sistema mecánico se realizan las conexiones eléctricas con ayuda de un Ingeniero Eléctrico, estas conexiones contienen los dínamos (como salida), una pantalla registradora, un voltímetro y una batería (como

entrada). La pantalla registradora se encuentra conectada a un voltímetro con el objetivo de observar cuanta energía se está generando, este a su vez se encuentra conectado a la batería para acumular la energía generada al realizar un ejercicio en la máquina multifuerza, estas conexiones son posible observarlas en las fotografías del Anexo 11. Adicionalmente se incluye un cable que permite cargar un celular con la energía que está siendo generada.

5.3.4 Viabilidad del prototipo

Como se establece en la metodología se realizará el estudio de la viabilidad económica de la caja de reducción, para el gimnasio *Training & Fitness GYM*, ubicado en la Calle 22 No. 93 – 22, barrio Capellanía de la localidad de Fontibón y el hogar ubicado en la Calle 40 # 24 – 30, barrio La Soledad de la localidad Teusaquillo en la ciudad de Bogotá.

El gimnasio cuenta con 2 niveles, en el primer nivel se encuentran la sección de pesas, trx y bandas elásticas, y en el segundo nivel se encuentran 3 bicicletas de Spinning, 1 escaladora, 2 elípticas y 3 máquinas multifuerza, el consumo de energía eléctrica se da por iluminación, aparatos eléctricos y la conexión de algunas máquinas y el hogar se encuentra habitado por 3 adultos, el consumo de energía eléctrica se da por iluminación y el uso de aparatos eléctricos.

Con el fin de realizar la viabilidad económica y ambiental del prototipo, nos fueron proporcionadas las facturas del servicio público de energía eléctrica del gimnasio, en el periodo de tiempo entre Junio del 2014 a Mayo del 2015, por tal razón se utilizó el mismo periodo de tiempo para el hogar, lo cual se puede observar en la Tabla 25.

Tabla 25. Consumo energético del gimnasio *Training & Fitness GYM* y el hogar

Ahorro en el servicio público de energía eléctrica						
	Mes	Consumo GYM (kWh)	Costo kWh	Energía generada (kWh)	Consumo	Ahorro
Training & Fitness GYM	jun-14	936	\$ 387,14	322,54	\$ 362.363,04	\$ 124.866,74
	jul-14	768		322,54	\$ 297.323,52	\$ 124.866,74
	ago-14	617		322,54	\$ 238.865,38	\$ 124.866,74
	sep-14	643		322,54	\$ 248.931,02	\$ 124.866,74
	oct-14	619		322,54	\$ 239.639,66	\$ 124.866,74
	nov-14	899		322,54	\$ 348.038,86	\$ 124.866,74
	dic-14	770		322,54	\$ 298.097,80	\$ 124.866,74
	ene-15	637		322,54	\$ 246.608,18	\$ 124.866,74
	feb-15	746		322,54	\$ 288.806,44	\$ 124.866,74
	mar-15	814		322,54	\$ 315.131,96	\$ 124.866,74
	abr-15	918		322,54	\$ 355.394,52	\$ 124.866,74
	may-15	802		322,54	\$ 310.486,28	\$ 124.866,74
	TOTAL	9169	\$ 387,14	3870,44	\$ 3.549.686,66	\$ 1.498.400,83

	Mes	Consumo GYM (kWh)	Costo kWh	Energía generada (kWh)	Consumo	Ahorro
Hogar	jun-14	117	\$ 387,14	80,63	\$ 45.295,38	\$ 31.216,68
	jul-14	106		80,63	\$ 41.036,84	\$ 31.216,68
	ago-14	207		80,63	\$ 80.137,98	\$ 31.216,68
	sep-14	213		80,63	\$ 82.460,82	\$ 31.216,68
	oct-14	112		80,63	\$ 43.359,68	\$ 31.216,68
	nov-14	110		80,63	\$ 42.585,40	\$ 31.216,68
	dic-14	134		80,63	\$ 51.876,76	\$ 31.216,68
	ene-15	170		80,63	\$ 65.813,80	\$ 31.216,68
	feb-15	154		80,63	\$ 59.619,56	\$ 31.216,68
	mar-15	136		80,63	\$ 52.651,04	\$ 31.216,68
	abr-15	129		80,63	\$ 49.941,06	\$ 31.216,68
	may-15	123		80,63	\$ 47.618,22	\$ 31.216,68
	TOTAL	1711		967,61	\$ 662.396,54	\$ 374.600,21

FUENTE: Extraídos de las facturas de *Training & Fitness GYM* y el hogar.

De acuerdo al consumo anual energético se realizará la viabilidad económica y ambiental de la caja de reducción, según lo establecido en la metodología.

Viabilidad Económica:

- a) **Consumo energético anual:** El consumo anual se calcula con la sumatoria mensual, de lo cual se obtuvo un consumo de 9.169 kWh anual representando \$3'549.686,66 para el gimnasio *Training & Fitness GYM* y un consumo de 1711 kWh anual representando \$662.396,54 para el hogar.
- b) **Energía generada por la máquina multifuerza:** Como se menciona en la metodología se realizará un muestreo a conveniencia, ya que se tendrán en cuenta variables de acuerdo el beneficio del investigador [78]. El muestreo se realizará con un peso de 30 lb, para dos rutinas de ejercicios establecidas anteriormente (numeral 5.2.3), y 10 muestreos (5 hombres y 5 mujeres).

Para la recolección de los resultados se empleará la tabla que se encuentra en el Anexo 12. Al realizar los muestreos es posible observar que la rutina que es capaz de generar mayor energía es la primera, la cual desarrolla el grupo muscular esquirotibiales; generando 10,61 V frente a 9,56 V de la segunda rutina (grupo muscular: antebrazos), comprobando los resultados encontrados en *Fisiología*, que el grupo muscular que presenta mayor potencial son los esquirotibiales. Adicionalmente, al sistematizar los resultados de los muestreos, se obtiene que un individuo es capaz de generar en promedio 746,612 V a 1,5 A por rutina. Esta energía debe ser llevada a Watts para que sea posible determinar el ahorro, la medida Watts hace referencia a la

potencia eléctrica generada, por lo cual se emplea la *Ecuación 6* para el cálculo de la misma.

$$Potencia = Tensión * Intensidad \quad (6)$$

FUENTE: Tecnología de la madera y el mueble [79].

Dónde:

Tensión: Energía generada (V)

Intensidad: Corriente generada (A)

$$Potencia = 746,612 \text{ V} * 1,5 \text{ A} = 1119,92 \text{ W}$$

Según lo anterior se establece que un individuo es capaz de generar 1119,92 W por rutina, considerando que una persona se demora alrededor de una hora realizando la rutina, es posible considerar que se generan 1,12 kW por hora. Teniendo en cuenta que el gimnasio *Training & Fitness GYM* presta su servicio 12 horas durante 24 días al mes, este genera 322,54 kWh mensual y el hogar se encuentra ocupado por 3 adultos que se ejercitan 24 días al mes, este genera 80,63 kWh mensual.

- c) **Calculo del ahorro:** El ahorro de la máquina multifuerza se puede observar en la Tabla 26, teniendo en cuenta que la energía generada se multiplica por \$387,14, precio equivalente al uso de 1 kWh para Codensa [80]. Sin embargo, es pertinente tener en cuenta que el gimnasio *Training & Fitness GYM* presta el servicio de tres máquinas multifuerza, por lo cual teniendo en cuenta que el ahorro anual por máquina es de \$1'498.400,83 este ahorraría en total \$4'495.202,49 anualmente.

Tabla 26. Ahorro anual del gimnasio *Training & Fitness GYM* y el hogar

	Energía generada anualmente (kWh)	Precio equivalente (Kwh)	Ahorro Anual
Training & Fitness GYM	3970,44	\$387,14	\$1'498.400,83
Hogar	967,61	\$387,14	\$374.600,21

FUENTE: Autoras

- d) **Viabilidad económica:** Como se menciona en la metodología para realizar la viabilidad económica es necesario tener en cuenta: el costo de la caja de reducción, el costo de la máquina multifuerza, el Índice de Precios al Consumidor (IPC) y el Valor Presente Neto (VPN).

Estos cálculos se realizaron de la siguiente forma: para el costo del prototipo, es necesario tener en cuenta los componentes y la mano de obra, de lo cual se obtiene que presenta un valor de \$532.000,00 pesos, de acuerdo al Anexo 13; la máquina multifuerza presenta un costo de \$699.900 pesos, valor que será opcional; ya que en caso de que se cuente con la máquina sólo se tendrá en cuenta el costo del prototipo, para el cálculo del IPC se deben descargar los valores para el periodo de tiempo escogido, es decir, de Junio del 2014 a Mayo del 2015 datos

que se encuentran en el Anexo 14, de ellos se obtiene que el IPC anual es 2,72% y el incremento de 3,66%; y para el cálculo del VPN se calcula de acuerdo a la *Ecuación 6*. El tiempo se determina de acuerdo a que se conoce como la vida útil comercial de cualquier artículo (5 años). Al realizar esta serie de cálculos se obtienen los resultados del Anexo 15 para la viabilidad económica en un gimnasio y un hogar respectivamente.

$$VPN = -A + \frac{Ct}{(1+i)^t} \quad (6)$$

FUENTE: Fundamentos de administración financiera [81].

Dónde:

A: Flujo neto en el periodo 0.

Ct: Flujo neto efectivo.

i: Tasa de descuento, para este caso se utiliza el IPC.

Como es posible evidenciar en el Anexo 15 la inversión se recupera en un año para el gimnasio y dos años para el hogar, generando un ahorro posterior a este periodo. Según este resultado es posible establecer que el proyecto es económicamente viable, esta viabilidad se da al tener inversión baja, donde la energía generada por la máquina multifuerza es 42,21% de la utilizada por el gimnasio y 56,55% de la generada por el hogar, adicionalmente el prototipo no requiere de un mantenimiento costoso. Se debe tener en cuenta que estos resultados solo contemplan una máquina multifuerza, ya que el costo de inversión aumentará al contemplar las tres máquinas presentes en el gimnasio, así mismo aumentarán los beneficios generados para el gimnasio *Training & Fitness GYM*.

Viabilidad Ambiental:

El beneficio ambiental se verá interpretado por medio de la huella de carbono, para el cálculo de esta se debe tener en cuenta el consumo energético que presenta el gimnasio calculado en el ítem anterior.

Para el cálculo de la huella de carbono se tiene en cuenta la metodología de *Greenhouse Gas Protocol*, en la cual inicialmente se debe establecer el alcance, en el cual tanto el gimnasio como el hogar se encuentra en el alcance 2 el cual genera emisiones indirectas, emisiones que se generan gracias al consumo energético [82].

a) Factor de conversión: El consumo y la energía generada por la máquina (en kWh), se multiplica por 0,39, el cual representa un factor de conversión para energía eléctrica [82], datos que se observan en la Tabla 27.

b) Cálculo de la huella de carbono: El cálculo de la huella de carbono se encuentra en la Tabla 27, de la cual se obtiene que la huella de carbono de la máquina multifuerza se reduce en 125,79 ton CO_{2eq}.

Tabla 27. Viabilidad ambiental del proyecto

Alcance 2			
Emisiones Indirectas (Junio 2014 - Mayo 2015)			
Consumo de energía eléctrica	kWh	Factor de conversión (Kg CO ₂ /kWh)	ton CO ₂ eq
Traning & Fitness GYM	9169,00	0,39	3575,91
Hogar	1711,00	0,39	667,29
Máquina multifuerza	322,54	0,39	125,789

FUENTE: Autoras.

De acuerdo a los resultados presentados anteriormente es posible establecer que el proyecto es viable ambientalmente, ya que las ton CO₂ eq se reducen al implementar la máquina multifuerza generadora de energía eléctrica, sin embargo, solo se están reduciendo en un 3,52% para el gimnasio (valor que aumentará si se tiene en cuenta que el gimnasio contiene tres máquinas multifuerza) y un 18,85 % para el hogar. La reducción en la huella de carbono no solo representa al CO₂ eq, sino a todos los gases de efecto invernadero (GEI) que se generan en el proceso de combustión.

6. CONCLUSIONES

- Los grupos musculares del cuerpo humano que son capaces de generar mayor potencia son los esquirotibiales y el antebrazo. Los esquirotibiales hacen referencia a las extremidades inferiores responsables del movimiento de la articulación de la cadera, estos comprenden el músculo bíceps femoral, semitendinoso y semimembranoso; y el antebrazo a las extremidades superiores del cuerpo humano, el mayor desarrollo se presenta en el músculo bíceps braquial, siendo responsable de la articulación del codo y el hombro; por lo tanto los ejercicios más apropiados a desarrollar el potencial de estos grupos musculares son: prensa de pierna, Curl de pierna, Curl de bíceps y polea trasnuca. Entre estos dos grupos musculares el mayor potencial se presenta en el grupo muscular esquirotibiales generando en promedio 10,61 V por repetición de ejercicio realizada.
- Se realiza un trabajo teórico y experimental de un sistema neumático y un sistema mecánico, con el fin de establecer el sistema más eficiente y su posible acoplamiento a una máquina multifuerza. Según los resultados obtenidos se establece que el sistema neumático no es viable debido a que genera aproximadamente 0,1168V, además el acoplamiento de este genera una modificación en la ejecución de los ejercicios; el sistema mecánico en comparación con el neumático genera alrededor de 10,8 V por repetición, por lo cual se establece que es viable debido a su alta generación, adicionalmente el acoplamiento del mismo es más sencillo pues logra aprovechar el movimiento circular generado por las poleas de la máquina multifuerza.
- Se diseñó y construyó una caja reductora, que funciona con un tren de engranajes compuesto por 19 engranajes (2 de 10 dientes, 7 de 12 dientes, 1 de 24 dientes y 9 de 38 dientes), una cadena, 2 dínamos de 60 rpm, una batería de plomo ácido, un piñón fijo de 18 dientes, un plato de 28 dientes y una cadena de 35 cm de diámetro, el cual logra realizar 356 revoluciones por cada repetición. Este prototipo fue elegido debido a que es de fácil acople a la máquina multifuerza y permite aprovechar el movimiento circular que generan la polea principal de esta (polea que transmite el movimiento de todos los ejercicios a las pesas), además genera un aumento de las revoluciones por repetición, lo cual es fundamental para la generación de energía eléctrica.
- El gimnasio *Training & Fitness GYM* al implementar la máquina multifuerza dentro de sus instalaciones tendrá beneficios económicos, los cuales representarán un ahorro en la factura de Codensa de \$1'498.400,83 al año por máquina, lo que equivale a \$4'449.202,49 por las tres máquinas multifuerza que se encuentran en el gimnasio; recuperando el valor de la inversión (\$532.000,00) en el periodo de un año y para el hogar el ahorro anual equivale a \$374.600,21, recuperando

el valor de la inversión en dos años. En cuanto a la viabilidad ambiental se genera una reducción en las ton CO_{2eq} del 3,52%, lo que equivale a 125,79 ton CO_{2eq} en el gimnasio *Training & Fitness GYM* y un 18,85% en el hogar. Adicionalmente, en caso de que la máquina sea acreditada ambientalmente, esta generará una mejor imagen frente a otros gimnasios y hogares gracias a su compromiso ambiental y su aporte al calentamiento global, finalmente se debe tener en cuenta que si este proyecto es implementado a gran escala, podría ser una alternativa sustentable en comunidades vulnerables.

7. RECOMENDACIONES

En cuanto al sistema neumático se recomienda colocar un condensador en la salida del dínamo, con la finalidad de acumular la energía generada y que esta pueda ser llevada posteriormente a una batería, se deben modificar las conexiones del sistema para que el tanque de almacenamiento sea capaz de llegar a su máxima presión, adicional a esto se debe estudiar la forma en la que este no afecte el ejercicio físico en la máquina multifuerza. Además como se mencionó anteriormente se debe cambiar el sistema émbolo-pistón por uno que presente una presión mayor a la del tanque de almacenamiento y que a su vez transporte mayor volumen de flujo, teniendo en cuenta que entre mayor presión ejerza el sistema, la amortiguación que generará este será mayor.

Para este trabajo de grado no se consideraron los episodios de fatiga muscular, por lo cual se recomienda que en próximos estudios se contemple, ya que los músculos al desarrollar estos episodios bajan su rendimiento y excitación generando menor potencial, lo cual interferiría en la generación energía por parte de los mismos. Adicionalmente sería importante evaluar si se genera mayor potencial (energía) al estar los músculos excitados antes de realizar la rutina de ejercicios en la máquina multifuerza.

Por otra parte, en cuanto al sistema mecánico, se recomienda calcular y diseñar un tren de engranajes que presente mayor fuerza, el cual pueda ser conducido a un dínamo con mayor capacidad, con el fin de producir un amperaje mayor, permitiendo de esta forma almacenar un porcentaje más alto de energía en la batería.

BIBLIOGRAFÍA

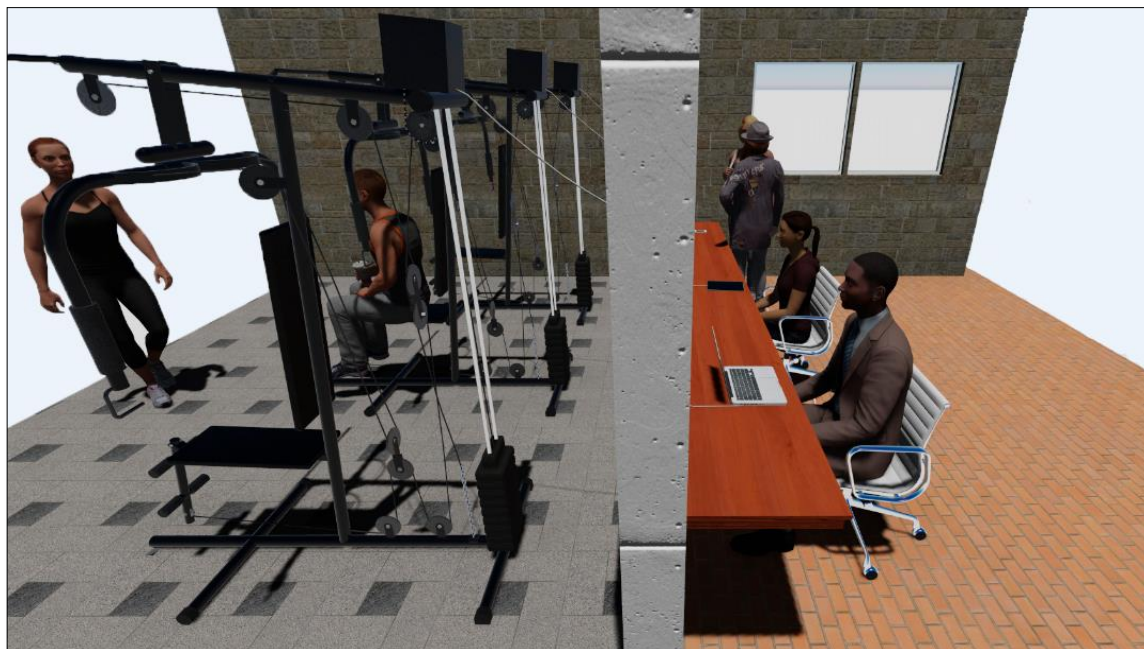
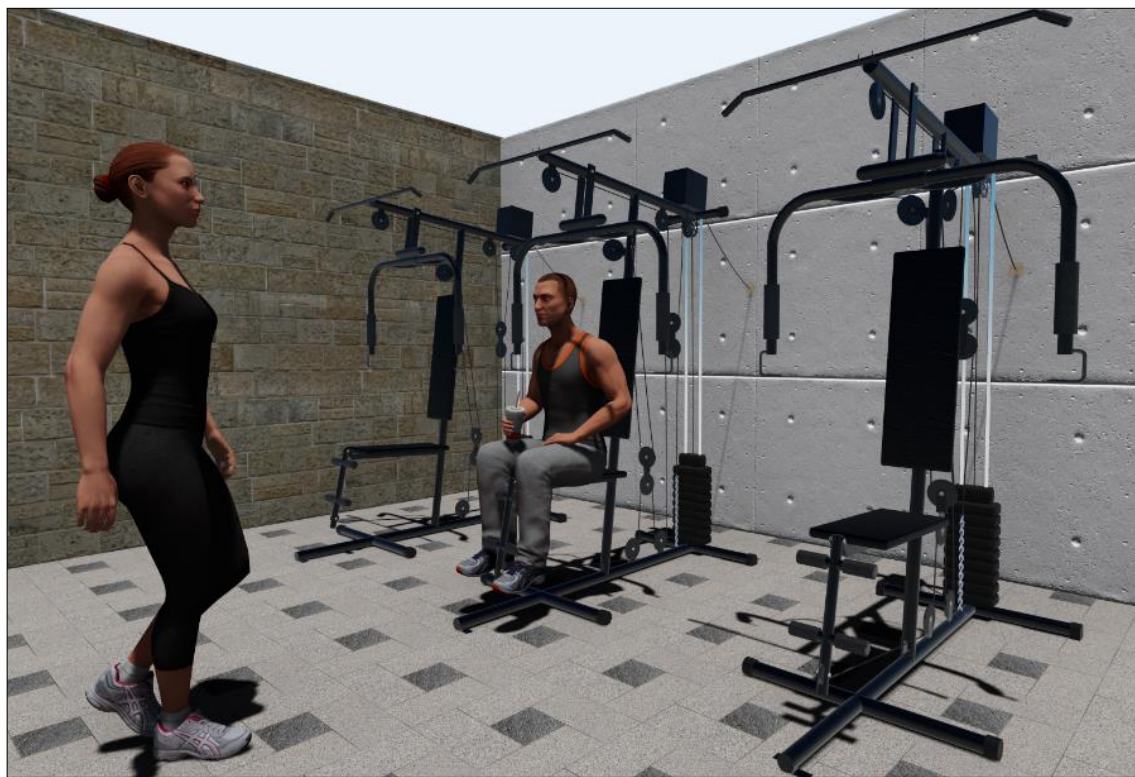
- [1] A. Mechtenberg, K. Borches, E. Wokulira, F. Hormasji, A. Hariharan, J. Makanda, *et al.*, "Human Power (HP) as a viable electricity portfolio option below 20W/Capita," *Energy for Sustainable Development*, vol. 16, pp. 125-145, 2012.
- [2] J. Barbany. (2002). *Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento*.
- [3] N. Carlson. (1996). *Fundamentos de la psicología fisiológica*.
- [4] C. Urroz. (2000). *Elementos de la anatomía y fisiología animal*.
- [5] J. López and L. M. López. (2008). *Fisiología clínica del ejercicio*.
- [6] Á. Merí. (2005). *Fundamentos de la fisiología de la actividad física y el deporte*.
- [7] P.-O. Åstrand, K. Rodahl, H. Dahl, and S. Stromme. (2010). *Manual de fisiología del ejercicio*.
- [8] J. D. Lesmes. (2007). *Evaluación clínico-funcional del movimiento corporal humano*.
- [9] V. AA. (2012). *Mantenimiento básico de máquinas e instalaciones en la industria alimentaria*.
- [10] B. Jimenez. (2012). *Montaje y reparación de los sistemas mecánicos*.
- [11] R. Castillo. (2012). *Montaje y puesta en marcha de bienes de equipo y maquinaria industrial*.
- [12] J. Craig. (2006). *Robótica*.
- [13] R. T. Norton. (2009). *Diseño de maquinaria*. 4 edición.
- [14] R. Castillo. (2011). *UF0459: Montaje y repatración de sistemas neumáticos e hidráulcos, bienes de equipo y máquinas industriales*.
- [15] O. Katsuhiko. (2003). *Ingeniería del control moderna*.
- [16] A. Guillén. (1993). *Introducción a la neumática*.
- [17] S.-I. Training. (2000). *Neumática*.
- [18] E. C. Royo, *Aire comprimido*. Madrid: Paraninfo, 1991.
- [19] W. Buffa. (2003). *Física*.
- [20] J. Aguilar. (2003). *Fundamentos de la electricidad*.
- [21] T. Wildi. (2007). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*.
- [22] P. G. Hewith. (2007). *Física conceptual*.
- [23] H. Gillespie and R. Barid. (1990). *Química*.
- [24] C. Mantell. (2003). *Ingeniería Electroquímica*.
- [25] R. Fowler, "Principios y aplicaciones," in *Electricidad*, R. S.A., Ed., ed. Barcelona, 1994.
- [26] C. Milla. (08 de Febrero). *Baterías*.
- [27] J. Fonseca, "Celdas, pilas y baterías de Ion- Litio una alternativa para ???," *Journal Bolivariano de Ciencias*, vol. 8, pp. 40-47, 2011.
- [28] INALARM. (08 de Febrero). *Baterías*.
- [29] D. Fink, W. Beaty, and J. Carroll. (1984). *Manual práctico de electricidad para ingenieros*.
- [30] C. Belt, D. Puentes, R. Candia, P. Domaniczky, S. Estigarribia, J. Pulfer, *et al.* (2011). *Fomento de las energías renovables y la eficiencia energética*.
- [31] J. S. García, R. M. Herrero, and S. Bermell. (2006). *Gestión de la energía*.
- [32] W. Mcardle, F. Katch, and V. Katch. (2006). *Essentials of excersice physiology*.
- [33] A. O. Abreu. (2009, Análisis exergético de bienes de equipo. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial*.
- [34] A. Jansen and A. Stevels, "Combining eco-desing and user benefits from human-powered energy systems, a win win situation," *Journal of cleaner production*, vol. 14, pp. 1299-1306, 2006.

- [35] M. Haji, K. Lau, and A. Agogino, "Human Power generation in fitness facilities," *ASME 4th International conference on energy sustainability*, vol. ES2012, 2010.
- [36] C. F. N. Rodríguez and J. O. F. Reyes. (2011, Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de bicicletas estáticas.
- [37] P. Zambrano, A. Minetti, and P. Prampero, "Mechanical efficiency of cycling a new developed pedal-crack," *Journal of Biomechanics*, vol. 35, pp. 1387-1398, 2002.
- [38] J. Rankin and R. Neptune, "A theoretical analysis of an optional chainring shape to maximize crank power during isokinetic pedaling," *Journal of Biomechanics*, vol. 41, pp. 1494-1502, 2008.
- [39] D. Thelen, A. Lenz, C. Frnacis, R. Lenhart, and A. Hernandez, "Empirical assesment of dynamic hamstring fiunction during human walking," *Journal of Biomechanics*, vol. 46, pp. 1255-1261, 2013.
- [40] B. Umberger, S. Augsburg, J. Resing, D. Oeffinger, R. Shapiro, and C. Tylkowski, "Generation absortin and transfer of mechanical energy during walking un children," *Medical Engineering & Physics*, vol. 35, pp. 644-651, 2013.
- [41] C. H. Yeow, "Hamstrings and quadriceps muscle contributions to energy generation and dissipation at the knee joint during stance, swing and flight phases," *The Knee*, vol. 20, pp. 100-105, 2013.
- [42] S. O'Bryan, N. Brown, F. Billaut, and D. Rouffet, "Changes in muscle coordination and power output during print cycling," *Neuroscience Letters*, vol. 576, pp. 11-16, 2014.
- [43] N. Emge, G. Prebeg, M. Uygur, and S. Jaric, "Effects of muscle fatigue on grip and load force coordination and performance of manipulation taks," *Neuroscience Letters*, vol. 550, pp. 46-50, 2013.
- [44] J. Gerard, "The green gym," *Fitness Matters*, vol. 14, pp. 12-16, 2008.
- [45] A. Durgahee and M. Knight, "New gym turns workout into watts," in *CNN News*, ed, 2012.
- [46] J. M. Gonzáles, *Nuevas expectativas y necesidades de la sociedad y las empresas en materia de sostenibilidad*. España, 2006.
- [47] E. C. Royo. (2001). *Aire Comprimido*.
- [48] J. Álvarez. (2005). *Motores alternativos de combustión interna*.
- [49] Melsa. (1989). *Aula Curso de orientación escolar*.
- [50] M. d. M. y. Energías, "Regamento de instalaciones eléctricas (RETIE)," Bogotá-Colombia, Ed., ed. Alcaldía de Bogotá, 2004.
- [51] D. Cheng. (1998). *Fundamentos de electromagnetismo para la ingeniería*.
- [52] T. Bompa and L. Cornacchia. (2010). *Musculación entrenamiento avanzado*.
- [53] M. Izquierdo. (2008). *Biomecanica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte*.
- [54] J. Arrégle, J. Galindo, J. Pastor, J. Serrano, J. Broatch, J. Luján, et al. (2002). *Procesos y tecnología de máquinas y motores térmicos*.
- [55] M. Á. P. Bello. (2011). *Circuitos de fluidos*.
- [56] G. Poveda. (2007). *Modelo matemático y dimensional para el planteamiento óptimo de industrias de procesos*
- [57] F. Barrero, "Capítulo I: Sistemas de energía eléctrica. Generalidades," in *Sistemas de energía eléctrica*, Thomson, Ed., ed. Madrid, 2004.
- [58] *Fundamentos de la política ambiental en Colombia*, 1993.
- [59] *Uso Racional y Eficiente de la Energía* 2001.
- [60] *Integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional*, 2014.
- [61] *Reglamenta el uso racional y eficiente de la energía*, 2003.
- [62] *Modifica parcialmente el Decreto 3683 del 2003*, 2008.

- [63] ISO, "Compresores de aire," vol. 8573, ed, 2010.
- [64] D. N. d. Planeación, "Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018," ed. Colombia: Todos por un nuevo país, 2014.
- [65] M. d. A. y. D. Sostenible, "Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC)," ed. Colombia: Gobierno de Colombia, 2014.
- [66] M. d. M. y. Energía, "Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales (PROURE)," ed. Colombia: Presidente de la República, 2010.
- [67] M. d. M. y. Energía, "Plan Energético Nacional - Colombia: Ideario energético 2050," ed. Colombia: República de Colombia, 2014.
- [68] F. Delavier. (2004). *Guía de los movimientos de musculación*.
- [69] L. Fitness. (09 de Septiembre). *Catálogo máquinas multifuerza*.
- [70] J. E. Shigley, *Teoría de máquinas y mecanismos* vol. Cuarta Edición. Mexico D. F.: Mc Graw-Hill, 2001.
- [71] CEJAROSU. (02 Junio). *Máquinas y mecanismos*
- [72] A. Cerus. (2011). *Neumática e hidráulica*.
- [73] L. R. Liard. (1995). *Anatomía humana*.
- [74] SOBOTTA. (1993). *Atlas de anatomía humana*.
- [75] M. Llusá, Á. Merí, and D. Ruano. (2006). *Manual y atlas fotográfico de anatomía del aparato locomotor*.
- [76] BodyTone. (2014). *Máquina multifuerza MTDP-7060*.
- [77] J. E. Domínguez and J. Ferrer. (2006). *Circuitos eléctricos auxiliares del vehículo*.
- [78] N. Malhorta. (2004). *Investigación de mercados*.
- [79] W. Nutsch. (2000). *Tecnología de la madera y el mueble*.
- [80] Codensa. (2015). *Precio de 1 kWh*. Available: <https://www.codensa.com.co/?gclid=CNjD6NalN8YCFUlvQodkKAAww>
- [81] D. Emery, J. Finnerty, and J. Stowe. (2000). *Fundamentos de Administración Financiera*.
- [82] W. R. Institute and B. C. o. S. Development. (2015). *Greenhouse Gas Protocol*. Available: <http://www.ghgprotocol.org/>
- [83] D. A. N. d. E. DANE. (2015). *Índice de Precios al Consumidor IPC*. Available: <http://www.dane.gov.co/>

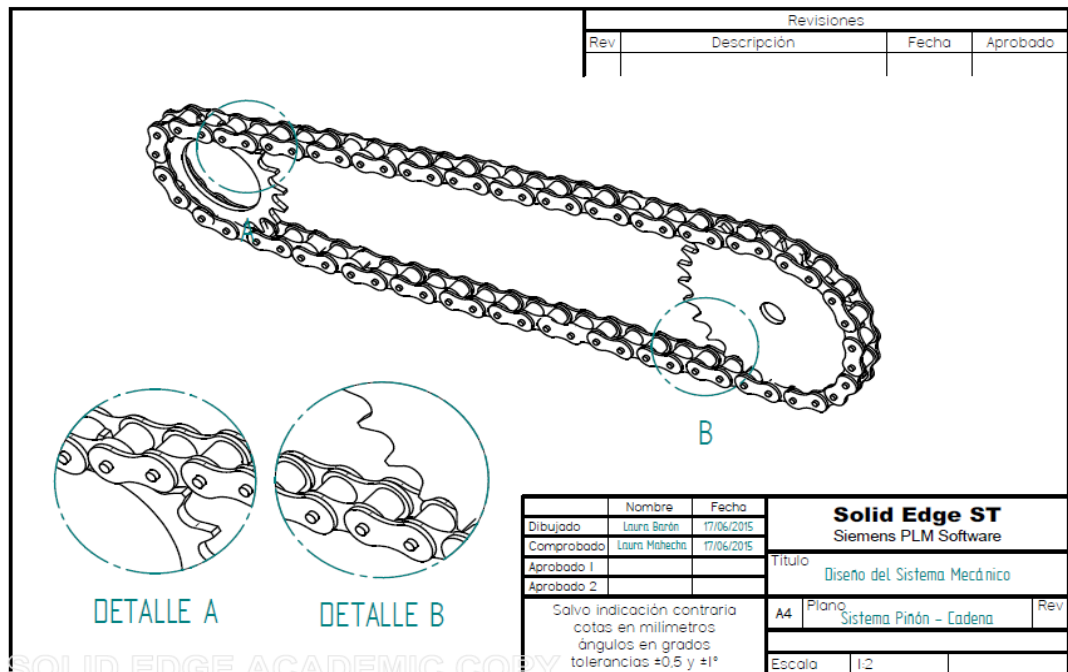
ANEXOS

Anexo 1. Máquina multifuerza generadora de energía



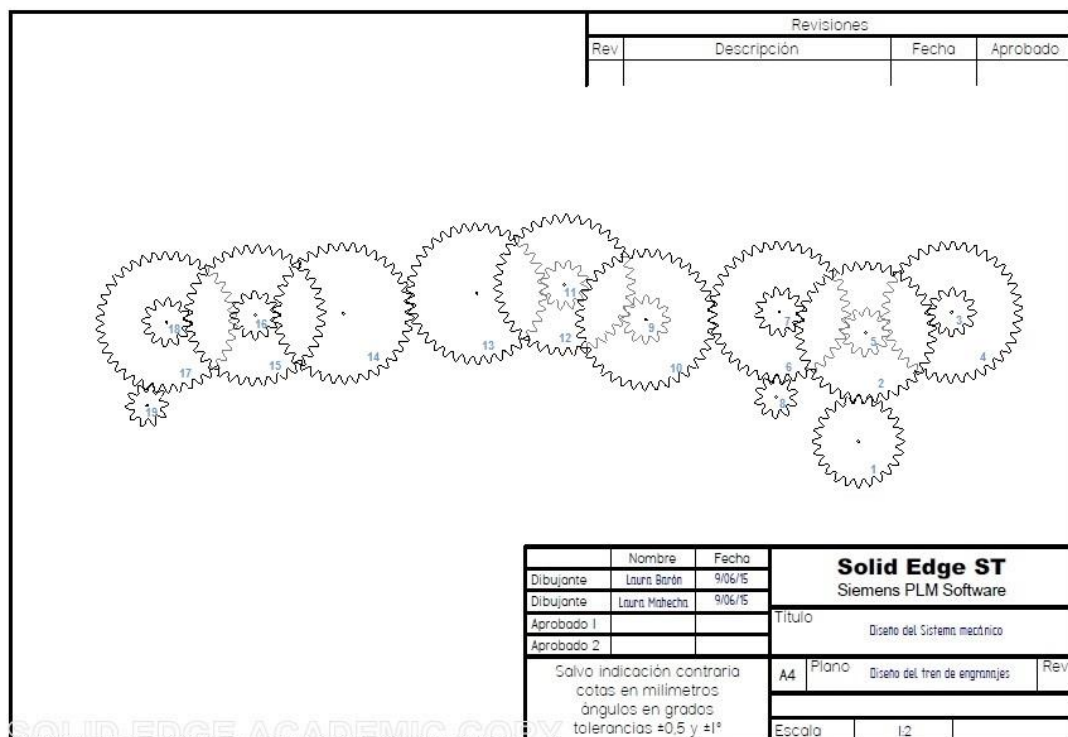
FUENTE: Elaborado en 3ds Max por Natalia Mahecha

Anexo 2. Diseño cadena.



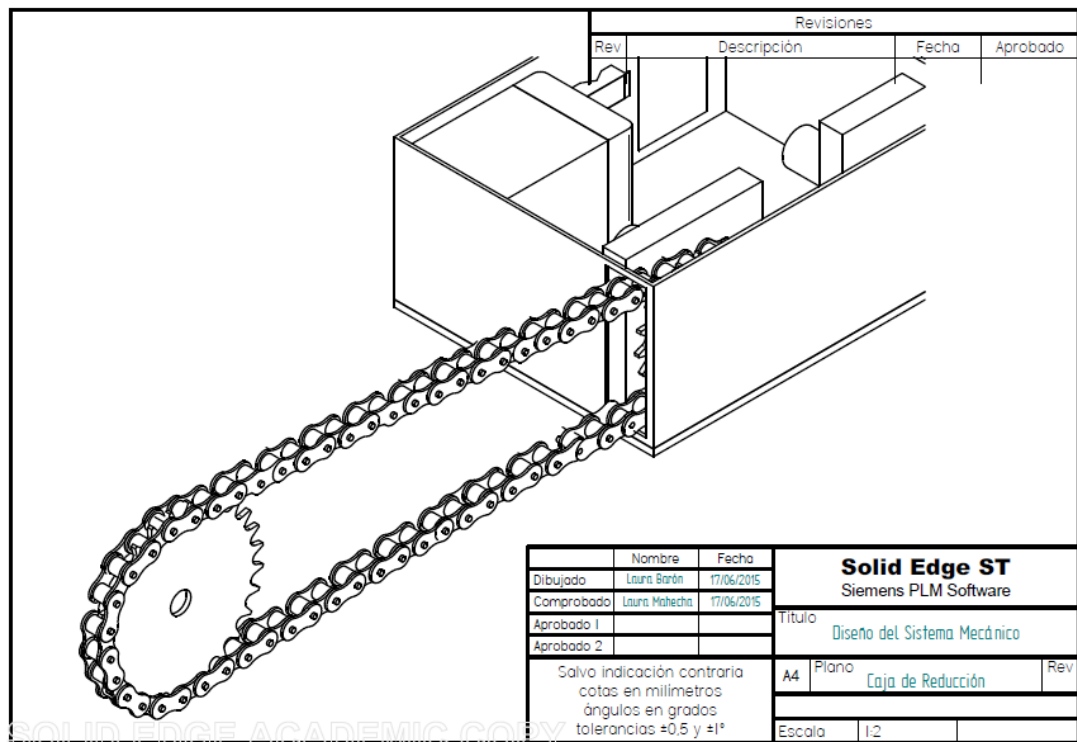
FUENTE: Elaborado en Solid Edge por Autoras.

Anexo 3. Diseño del tren de engranajes.



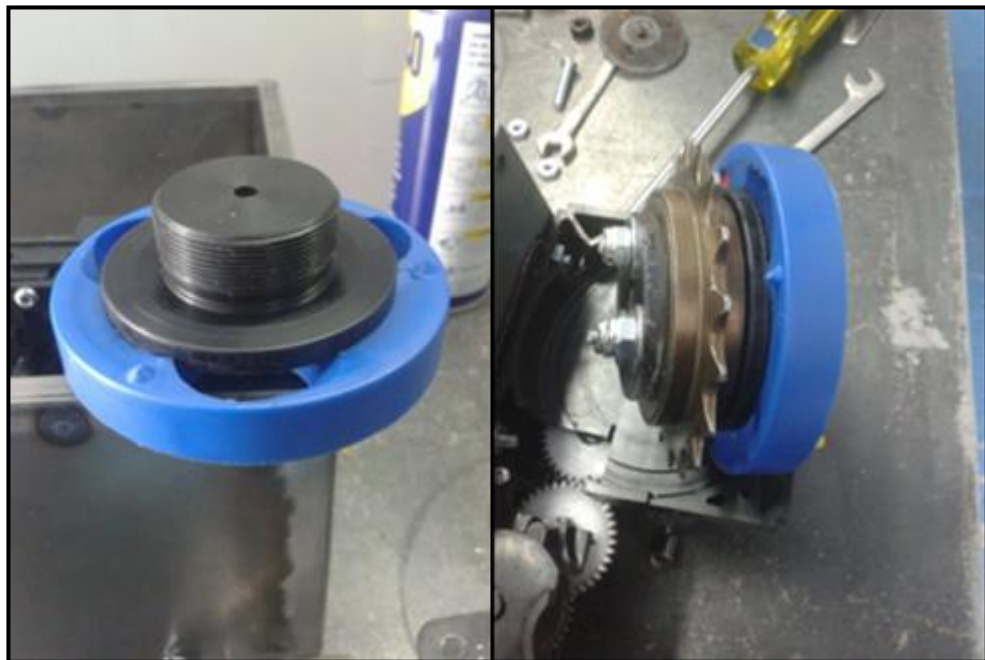
FUENTE: Elaborado en Solid Edge por Autoras.

Anexo 4. Diseño de la Caja de reducción.



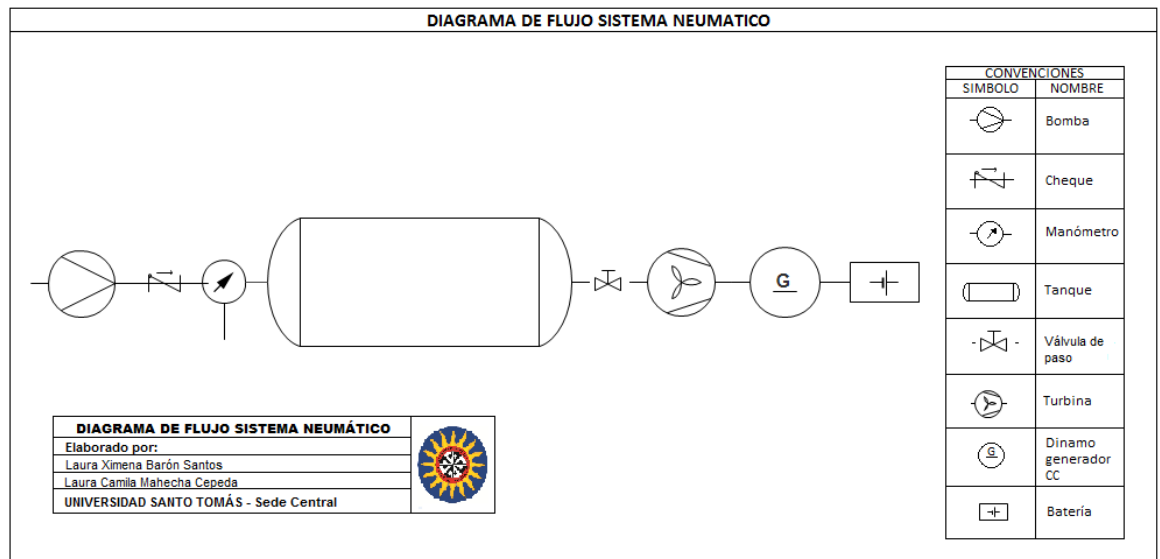
FUENTE: Elaborado en Solid Edge por Autoras.

Anexo 5. Acople de la cadena en el tren de engranajes.



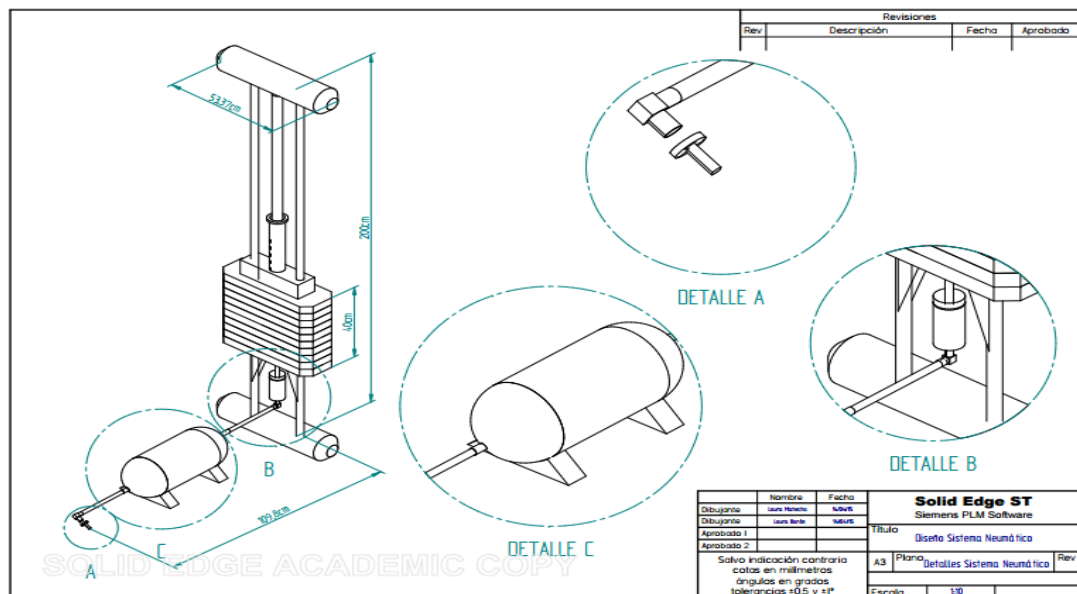
FUENTE: Fotografía de autoras.

Anexo 6. Diagrama de flujo de Sistema Neumático.



FUENTE: Elaborado en Edraw Max por Autoras.

Anexo 7. Diseño del Sistema Neumático.



FUENTE: Elaborado en Solid Edge por Autoras.

Anexo 8. Acople polea-plato.



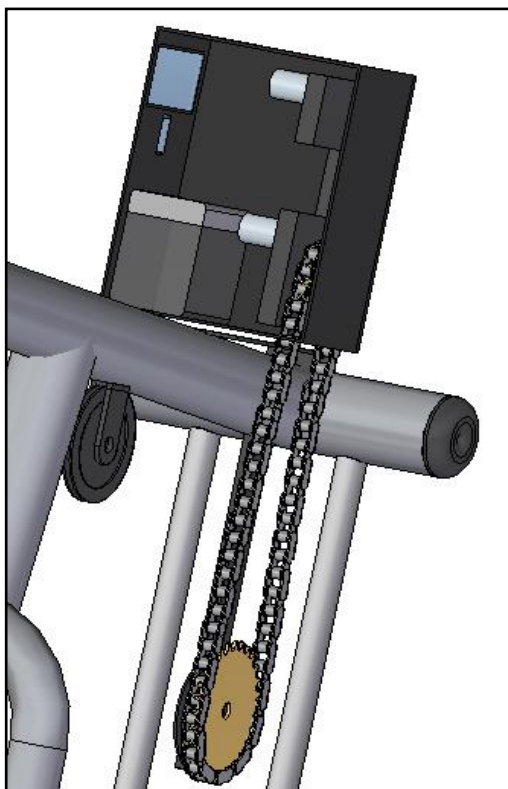
FUENTE: Fotografía de autoras.

Anexo 9. Cambio de platinas por brazo.



FUENTE: Fotografía de autoras.

Anexo 10. Caja de reducción acoplada a la máquina multifuerza.



FUENTE: Elaborado en Solid Edge por Autoras.

Anexo 11. Acoplamiento caja de reducción.



FUENTE: Fotografía de autoras.

Anexo 12. Tabla de muestreos

Muestra									Sexo							Fecha						
PRIMER RUTINA																						
Repeticiones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Sumatoria	Promedio		
Extensión de pierna																						
Aperturas de pecho																						
Prensa de piernas																						
Press de pecho																						
Curl de piernas																						
SEGUNDA RUTINA																						
Repeticiones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Sumatoria	Promedio		
Curl de bíceps																						
Polea trasnuca																						
Press frontal con barra																						
Remo																						
Aperturas de pecho																						

FUENTE: Autoras.

Anexo 13. Costos Caja de Reducción.

Sistema Mecánico - Caja de reducción			
Componentes	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
<i>Cadena</i>			
Piñón fijo	\$3.000,00	1	\$3.000,00
Plato	\$3.000,00	1	\$3.000,00
Cadena	\$4.000,00	1	\$4.000,00
<i>Tren de engranajes</i>			
Engranaje de 10 dientes (plástico)	\$500,00	2	\$1.000,00
Engranaje de 12 dientes (aluminio)	\$9.000,00	7	\$63.000,00
Engranaje de 24 dientes (aluminio)	\$12.000,00	1	\$12.000,00
Engranaje de 38 dientes (plástico)	\$1.500,00	2	\$3.000,00
Engranaje de 38 dientes (aluminio)	\$15.000,00	7	\$105.000,00
Dínamo	\$3.000,00	2	\$6.000,00
Batería 12V 5Ah	\$30.000,00	1	\$30.000,00
Cableado	\$5.000,00	1	\$5.000,00
<i>Otros accesorios</i>			
Nylon	\$3.500,00	2	\$7.000,00

Recubrimiento de la caja	\$50.000,00	1	\$50.000,00
<i>Instalaciones - Mano de Obra</i>			
Mecánica	\$150.000,00	1	\$150.000,00
Eléctrica	\$50.000,00	1	\$50.000,00
Mantenimiento (semestral)	\$10.000,00	2	\$40.000,00
Inversión			\$532.000,00

FUENTE: Autoras.

Anexo 14. IPC anual e incremento.

Año Mes	Índice	Variación mensual (%)	Variación año corrido (%)	Variación anual (%)
201406	116,91441	0,09%	2,57%	2,79%
201407	117,0913	0,15%	2,73%	2,89%
201408	117,32919	0,20%	2,94%	3,02%
201409	117,48858	0,14%	3,08%	2,86%
201410	117,68219	0,16%	3,25%	3,29%
201411	117,8373	0,13%	3,38%	3,65%
201412	118,15166	0,27%	3,66%	3,66%
201501	118,91289	0,64%	0,64%	3,82%
201502	120,27993	1,15%	1,80%	4,36%
201503	120,98456	0,59%	2,40%	4,56%
201504	121,63437	0,54%	2,95%	4,64%
201505	121,95433	0,26%	3,22%	4,41%
Promedio			2,72%	3,66%

FUENTE: Extraído de Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE [83].

Anexo 15. Viabilidad económica *Training & Fitness* GYM y hogar.

Viabilidad económica de <i>Training & Fitness GYM</i>							
Año		2014 - 2015	2015 - 2016	2016 - 2017	2017 - 2018	2018 - 2019	2019 - 2020
		0	1	2	3	4	5
IPC			2,72%	2,82%	2,92%	3,02%	3,12%
Ingresos	Ahorro de energía	\$1.498.400,83	\$1.539.132,36	\$1.582.503,45	\$1.628.672,22	\$1.677.809,42	\$1.730.099,51
Egresos	Máquina multifuerza						
	Multifuerza BodyTone	\$699.900,00					
	Cadena						
	Piñón fijo	\$3.000,00					
	Plato	\$3.000,00					
	Cadena	\$4.000,00					
	Tren de engranajes						
	Engranaje de 10 dientes (plástico)	\$1.000,00					
	Engranaje de 12 dientes (aluminio)	\$63.000,00					
	Engranaje de 24 dientes (aluminio)	\$12.000,00					
	Engranaje de 38 dientes (plástico)	\$3.000,00					
	Engranaje de 38 dientes (aluminio)	\$105.000,00					
	Dínamo	\$6.000,00					
	Batería 12V 5Ah	\$30.000,00					
	Cableado	\$5.000,00					
	Otros accesorios						
	Nylon	\$7.000,00					
	Recubrimiento de la caja	\$50.000,00					
	Instalaciones - Mano de Obra						
	Mecánica	\$150.000,00					
	Eléctrica	\$50.000,00					
	Matenimiento (semestral)	\$40.000,00	\$41.087,33	\$42.245,13	\$43.477,61	\$44.789,34	\$46.185,23
Total		\$266.500,83	\$1.498.045,02	\$1.540.258,32	\$1.585.194,61	\$1.633.020,09	\$1.683.914,29
Valor Presente Neto (VPN)		\$266.500,83	\$1.458.400,83	\$1.456.988,65	\$1.454.171,13	\$1.449.959,13	\$1.444.367,50

Viabilidad económica del hogar							
Año		2014 - 2015	2015 - 2016	2016 - 2017	2017 - 2018	2018 - 2019	2019 - 2020
		0	1	2	3	4	5
IPC			2,72%	2,82%	2,92%	3,02%	3,12%
Ingresos	Ahorro de energía	\$374.600,21	\$384.783,09	\$395.625,86	\$407.168,05	\$419.452,36	\$432.524,88
Egresos	Máquina multifuerza						
	Multifuerza BodyTone	\$699.900,00					
	Cadena						
	Piñón fijo	\$3.000,00					
	Plato	\$3.000,00					
	Cadena	\$4.000,00					
	Tren de engranajes						
	Engranaje de 10 dientes (plástico)	\$1.000,00					
	Engranaje de 12 dientes (aluminio)	\$63.000,00					
	Engranaje de 24 dientes (aluminio)	\$12.000,00					
	Engranaje de 38 dientes (plástico)	\$3.000,00					
	Engranaje de 38 dientes (aluminio)	\$105.000,00					
	Dínamo	\$6.000,00					
	Batería 12V 5Ah	\$30.000,00					
	Cableado	\$5.000,00					
	Otros accesorios						
	Nylon	\$7.000,00					
	Recubrimiento de la caja	\$50.000,00					
	Instalaciones - Mano de Obra						
	Mecánica	\$150.000,00					
	Eléctrica	\$50.000,00					
	Matenimiento (semestral)	\$40.000,00	\$41.087,33	\$42.245,13	\$43.477,61	\$44.789,34	\$46.185,23
Total		-\$857.299,79	\$343.695,76	\$353.380,73	\$363.690,44	\$374.663,02	\$386.339,65
Valor Presente Neto (VPN)		-\$857.299,79	\$334.600,21	\$334.276,21	\$333.629,79	\$332.663,43	\$331.380,55