



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN  
OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN  
GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TEMA:**

Diagnóstico biomecánico de la energía producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico y su transformación en energía eléctrica para el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, durante el año 2016.

**Autor:** Ing. Fabio Eduardo Obando Herrera

**Tutor:** Ing. Germán Erazo MSc.

LATACUNGA – ECUADOR

Octubre – 2016



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## UNIDAD DE POSGRADO

Latacunga – Ecuador

---

### APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado, aprueban el presente informe e Investigación de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Obando Herrera Fabio Eduardo, con el título de tesis: “Diagnóstico biomecánico de la energía producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico y su transformación en energía eléctrica para el laboratorio de energías renovables de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, durante el año 2016.”. Han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Octubre – 20 – 2016.

Para constancia firman:

.....  
NOMBRES Y APELLIDOS  
cc.....  
PRESIDENTE

.....  
NOMBRES Y APELLIDOS  
cc.....  
MIEMBRO

.....  
NOMBRES Y APELLIDOS  
cc.....  
MIEMMBRO

.....  
NOMBRES Y APELLIDOS  
cc.....  
OPONENTE

## **AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS**

Latacunga, 16 de septiembre de 2016

En mi calidad de Director de la Tesis presentada por Obando Herrera Fabio Eduardo, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico cuyo título es “Magíster en Gestión de Energías”.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente,

.....  
Ing. Germán Erazo Laverde  
**DIRECTOR DE TESIS**

**RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA  
DE TESIS**

El contenido de la presente Tesis de Grado, es original y de mi exclusiva responsabilidad.

Atentamente

.....  
Ing. Fabio Eduardo Obando Herrera  
C.C. 1707982169

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento muy especial a todos las autoridades de posgrados, docentes de la Maestría en Gestión de Energías, personal administrativo de la Universidad Técnica de Cotopaxi y por haber brindado sus conocimientos y ayuda oportuna en el transcurso de los estudios realizados.

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo es dedicado a mi esposa Gabriela, a mis hijos Miguel Ángel, Sebastián y Gabriel, gracias por estar siempre conmigo y apoyarme en todos los proyectos de vida que he emprendido, gracias por su amor y admiración.*

# ÍNDICE GENERAL

1) CARATULA .....	I
2) APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	II
3) AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS .....	III
4) RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE TESIS .....	IV
5) AGRADECIMIENTO.....	V
6) DEDICATORIA .....	VI
Resumen .....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1
Situación Problémica:.....	1
Justificación.....	2
Objeto de estudio de la investigación.....	3
Biomecánica del cuerpo humano.....	3
Formulación del problema de la investigación:.....	3
Objetivo general de la investigación .....	3
Objetivos específicos.....	4
1) MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO .....	10
1.1) Introducción .....	10
1.2) Caracterización detallada del objeto .....	10
1.3) Marco teórico de la investigación .....	10
1.3.1) Antecedentes de estudio:.....	10
1.4) Fundamentación de la Investigación.....	12
1.4.1) Operacionalización de las variables .....	14
1.4.2) Argumentación económica, legal y medioambiental acerca de la necesidad de la investigación.....	15
1.5) Aspectos teóricos fundamentales .....	16
1.5.1) Biomecánica:.....	16

1.5.2) Energía generada por el hombre.....	17
1.5.3) Antropometría.- .....	18
1.5.4) Necesidades de energía.- .....	19
1.5.5) Gasto energético.-.....	20
1.5.6) Estimación de requerimientos energéticos.....	21
1.5.7) Actividad Física .....	26
1.5.8) Índice de masa corporal.....	29
1.5.9) Metabolismo humano .....	30
1.5.10) Tasa metabólica.....	31
1.5.11) Energía consumida .....	31
1.5.12) Estudio de la máquina elíptica.- .....	32
1.5.13) Mecanismos: .....	33
1.5.14) Ley de Grashof:.....	35
1.5.15) Ecuaciones de cierre en mecanismos:.....	36
1.6) Conclusiones del capítulo.....	37
CAPÍTULO 2 .....	38
2) METODOLOGÍA .....	38
2.1) Introducción .....	38
2.2) Diseño de la Investigación .....	39
2.2.1) Métodos y técnicas de investigación.....	39
2.2.2) Técnicas e instrumentos de la investigación .....	40
2.2.3) Población y muestra .....	42
3) ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	44
3.1) Diseño del Experimento:.....	44
3.1.1) Planificación del experimento.....	46
3.1.2) Definición de variables.....	47
3.1.3) Relación entre variables: .....	50

3.2) Mediciones y cálculos .....	51
3.3) Cálculo del mecanismo: .....	55
3.4) Cálculo de momentos de inercia de extremidades inferiores.....	60
3.5) Conclusiones del capítulo: .....	65
4) PROPUESTA DE UNA MÁQUINA ELÍPTICA DE EJERCICIOS PARA TRANSFORMAR LA ENERGÍA HUMANA EN ENERGÍA ELÉCTRICA DC.....	66
4.1) Introducción .....	66
4.2) Título de la propuesta.....	66
4.3) Justificación.....	66
4.4) Objetivo.....	67
4.5) Estructura de la propuesta .....	67
4.5.1) La bicicleta elíptica: .....	67
4.5.2) Análisis de alternativas de diseño: .....	68
4.6) Diseño mecánico y eléctrico: .....	72
4.6.1) Cálculo de la potencia de diseño:.....	73
4.6.2) Cálculo de relación de transmisión del sistema de la máquina elíptica: .....	75
4.6.3) Longitud de la cadena. ....	76
4.7) Elementos del circuito:.....	76
4.7.1) Regulador convertidor DC a DC.....	77
4.7.2) Cargador de baterías de LI-ION.....	78
4.8) Pruebas de funcionamiento: mediciones y análisis energético .....	79
4.8.1) Mediciones. ....	79
4.9) Análisis energético – experimental. ....	81
4.10) Resumen de resultados:.....	82
4.11) Análisis Económico .....	82
5) CONCLUSIONES: .....	84
6) RECOMENDACIONES:.....	85

7) BIBLIOGRAFÍA CITADA .....	86
8) BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....	89
9) LINKOGRAFÍA .....	91

### Índice de figuras:

Figura 1—1: Árbol de problemas-----	13
Figura 1—2: Metabolismo basal promedio -----	25
Figura 1—3: Nomograma para la estimación de la superficie corporal-----	26
Figura 1—4: Máquina elíptica -----	33
Figura 1—5: Par giratorio -----	34
Figura 1—6: Mecanismo de 4 barras-----	35
Figura 1—7: Mecanismo manivela - balancín-----	36
Figura 2—1: Pasos en la investigación -----	40
Figura 3—1: Clasificación de individuos %IMC – mujeres-----	52
Figura 3—2: Clasificación de individuos %IMC – hombres -----	53
Figura 3—3: Esquema del mecanismo: muslo – pantorrilla – pedal -----	55
Figura 3—4: Diagrama de posiciones – mecanismo-----	56
Figura 3—5: Esquema simulación de muslo y pantorrilla como tronco de cono-----	61
Figura 3—6: Muslo modelado en InventorV15 -----	62
Figura 3—7: Pantorrilla modelada en InventorV15-----	62
Figura 4—1: Modelo 3D bicicleta elíptica propuesta-----	67
Figura 4—2: Sistema de transmisión cadena – piñón -----	68
Figura 4—3: Modelo 3D - Alternativa 1 -----	69
Figura 4—4: Modelo 3D - Alternativa 2 -----	69
Figura 4—5: Modelo 3D - Alternativa 3 -----	70
Figura 4—6: Histograma calificación de alternativas -----	72
Figura 4—7: Velocidades experimentales - Hombres -----	73
Figura 4—8: Velocidades experimentales - mujeres-----	73
Figura 4—9: Fuerza aplicada en el pedal-----	74
Figura 4—10: Puente de diodos -----	77
Figura 4—11: Convertidor DC a DC -----	78
Figura 4—12: Cargador de baterías de LI-ION -----	78
Figura 4—13: Mediciones con LabView -----	79

Figura 4—14: Mediciones de Voltaje-----	79
Figura 4—15: Mediciones de corriente de entrada-----	80
Figura 4—16: Mediciones de corriente de carga-----	81
Figura 4—17: Tiempo de carga real-----	81

### Índice de tablas:

Tabla 1: Definición de los alcances en un proyecto de investigación.....	7
Tabla 2: Tipos de estudio - Resumen .....	8
Tabla 3: Variable dependiente e independiente.....	13
Tabla 4: Operacionalización de la variable independiente.....	14
Tabla 5: Operacionalización de la variable dependiente.....	14
Tabla 6: Estimación empírica del caballaje útil generada por un hombre.....	18
Tabla 7: Fórmulas para la estimación del gasto energético.....	23
Tabla 8: Factores para el cálculo de la actividad física .....	23
Tabla 9: METs de las actividades más comunes .....	27
Tabla 10: Contenido energético medio por unidad de masa de alimento y equivalente energético del oxígeno de una dieta típica.....	31
Tabla 11: Tasas metabólicas aproximadas por unidad de masa de un hombre de 20 años durante varias actividades.....	31
Tabla 12: Enfoques en la investigación científica.....	38
Tabla 13: Técnicas e Instrumentos .....	41
Tabla 14: Cálculo de la muestra .....	43
Tabla 15: Recálculo de la muestra.....	43
Tabla 16: Fases y Contexto teórico del diseño del experimento .....	44
Tabla 17: Matriz de actividad – indicador de logro – medio de verificación, parte experimental .....	45
Tabla 18: Matriz: Fase y procedimiento del diseño del experimento.....	45
Tabla 19: Mediciones antropométricas básicas por género.....	52
Tabla 20: Categorización de mujeres según IMC .....	52
Tabla 21: Categorización de hombres según IMC .....	53
Tabla 22: Individuos descartados en la investigación .....	53

Tabla 23: Condiciones para el cálculo del gasto energético.....	54
Tabla 24: Mediciones antropométricas piernas .....	54
Tabla 25: Condiciones de Grashof - mujeres .....	54
Tabla 26: Condiciones de Grashof - hombres .....	54
Tabla 27: Mediciones eslabones - mecanismo .....	55
Tabla 28: Cumplimiento Grashof.....	55
Tabla 29: Medición radios de posición - mecanismo .....	57
Tabla 30: Ángulos de cierre del mecanismo .....	57
Tabla 31: Ángulos - Mujeres .....	59
Tabla 32: Ángulos - Hombres .....	59
Tabla 33: Radios calculados de pantorrillas y muslos.....	61
Tabla 34: Momentos de Inercia obtenidos en Inventor V15 .....	62
Tabla 35: Energía Cinética - Mujeres.....	63
Tabla 36: Energía Cinética - Hombres .....	63
Tabla 37: Cálculo de la energía cinética rotacional.....	64
Tabla 38: % Energía calculada vs Energía consumida.....	64
Tabla 39: Energía total del sistema.....	64
Tabla 40: Calificación de alternativas .....	71
Tabla 41: Datos de entrada - sistema piñón - cadena .....	75
Tabla 42: Datos de salida - sistema cadena piñón .....	76
Tabla 43: Tiempo de carga en dispositivos de prueba.....	81
Tabla 44: Tiempo de carga de dispositivos .....	82
Tabla 45: Costos de implementación .....	83
Tabla 46: Datos de proyección .....	83
Tabla 47: Ingresos - Egresos - Flujo neto.....	83

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## UNIDAD DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

**TEMA:** “Diagnóstico biomecánico de la energía producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico y su transformación en energía eléctrica para el laboratorio de energías renovables de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, durante el año 2015”.

**Autor:** Ing. Obando Herrera Fabio Eduardo

**Tutor:** Ing. Germán Erazo MSc.

#### **Resumen**

En la investigación se realiza diagnóstico biomecánico de la energía producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico y su transformación en energía eléctrica y así estudiar la transformación de la energía humana en energía útil (eléctrica), conteniendo un análisis detallado de la generación eléctrica a través del pedaleo en una bicicleta elíptica, la energía cinética del movimiento de miembros inferiores se la obtiene mediante una simulación como un mecanismo de 4 barras que cumple con la ley de Grashof (mecanismo manivela – balancín). Mediante la relación de transmisión piñón – cadena se origina el movimiento que hace funcionar un generador, del que se obtienen la energía eléctrica necesaria para proyectar un sistema de carga idóneo para dispositivos móviles de bajo voltaje, produciendo una carga máxima en el menor tiempo posible, además se implementó un sistema de carga mediante un banco de baterías para así aprovechar esta energía cuando no se realicen ejercicios. Con el uso de programas informáticos, se obtuvieron gráficas, voltaje – tiempo; intensidad de corriente – tiempo, potencia – tiempo, a tiempo real en el circuito, los mismos que mediante vía USB, se almacena en una base de datos, mismo que servirán para cotejar con los datos calculados.

#### **PALABRAS CLAVES:**

Energía humana, biomecánica, energía eléctrica CC

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**THEME: “**

Biomechanical diagnosis of energy produced by movement of the human body in the elliptical pedaling and its transformation into electric power for the renewable energy laboratory of the Salesian Polytechnic University, Quito during 2015”

**Author:** Ing. Obando Herrera Fabio Eduardo

**Tutor:** Ing. Germán Erazo MSc.

**Abstrac**

In this investigation biomechanical diagnosis of energy produced by the movement of the human body in the elliptical pedaling and its transformation into electricity it is done and thus study the transformation of human energy into useful energy (electric) , containing a detailed analysis of the power generation through pedaling on an elliptical bicycle, the kinetic energy of motion of the lower limbs is obtained by a simulation as a 4 – bar mechanism that complies with the law of Grashof ( crank mechanism - rocker ). By the transmission ratio pinion - chain movement that drives a generator, the electrical energy needed are obtained to design a system suitable charging for mobile devices low voltage , producing a maximum load in the shortest possible time originates , plus a loading system was implemented by a battery bank in order to take this power when exercises are performed. Using software, graphs were obtained, voltage - time; current intensity - time power - time, real time in the circuit, the same as via USB, is stored in a database, which will serve to collate it with the calculated data.

**KEY WORDS:**

Human energy, biomechanics, electric energy CC.

## INTRODUCCIÓN

El uso de la energía eléctrica en el desarrollo de la sociedad tiene una gran importancia, la misma hace posible mejorar las condiciones de vida del hombre.

En el Ecuador hay una preocupación muy grande, en lo referente a la obtención y uso del petróleo, observamos que aunque tenemos yacimientos de este recurso, estamos conscientes que algún día se acabará, por lo que se ve la necesidad de tomar una conducta responsable respecto a la necesidad del ahorro de energía eléctrica.

Al examinar nuestro entorno social percibimos fenómenos en los cuales existe un consumo de energía (hombres y animales se trasladan, las máquinas producen, los electrodomésticos funcionan en ayuda al hombre).

El principio de conservación de la energía indica que la energía no se crea ni se destruye; sólo se transforma de una forma en otra.

Un nuevo tipo de fuente de energía, que si bien se la utiliza, en nuestro medio, no se ha desarrollado un estudio profundo de su obtención, transformación y aplicación, esta fuente es el “cuerpo humano”.

Los seres humanos al consumir alimentos, mediante procesos electroquímicos, generamos energía que alimenta a todos los componentes de nuestro cuerpo, pero no toda la energía generada al consumir alimentos se utiliza para el movimiento del cuerpo, de ahí nace la inquietud. ¿Se podrá transformar la energía humana en energía útil?

Al observar personas ejercitándose, nos viene la inquietud ¿hacia dónde va la energía producida cuando realizamos ejercicio físico?

La respuesta de esto es simple, esa energía no se la aprovecha

En la investigación se realizará un diagnóstico biomecánico de la energía producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico y su transformación en energía eléctrica para el laboratorio de energías renovables de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, durante el año 2015

### **Situación Problemática:**

En todo momento los seres humanos producimos energía al aprovechar nuestros alimentos (energía electroquímica), la misma que es aprovechada por los músculos del

cuerpo para producir movimiento, pero no toda esta energía es aprovechada, este remanente de energía se la puede transformar en energía útil.

Según (Sherwood, 2011), la cantidad de energía consumida para las actividades físicas diarias suele representar un 25% del gasto energético total, pero varía mucho de una persona a otra, según el tipo y la magnitud del ejercicio físico.

Para determinar la causa principal partimos de que la energía que produce el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico no es aprovechada, la máquina de pedaleo elíptico solo es utilizada para ejercitar el cuerpo, mejorar la salud y disminuir el estrés, la energía cinética del movimiento de miembros superiores e inferiores se queda ahí, solo en movimiento, es decir la transformación de la energía humana no es aprovechada al máximo posible.

La decisión se centra en la falta de dispositivos eficientes de transformación de la energía producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico, en energía útil (energía eléctrica DC), ya que se quiere aprovechar al máximo la energía humana se optará por tomar como principal causa “Energía producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico”.

Si bien la energía producida por el cuerpo humano no constituirá un aporte significativo a la producción energética del país, esta puede constituir en una fuente de energía hogareña, lo que ayudaría al ahorro energético familiar.

### **Justificación**

En nuestro país observamos que tenemos una continua transformación de recursos naturales y sus derivados, en productos y servicios, muy necesarios para satisfacer las necesidades de la sociedad ecuatoriana.

Para dicha transformación es necesario grandes cantidades de energía, tanto para el consumo industrial y como para el hogar. Siendo la energía eléctrica una fuente rectora para el desarrollo humano, tanto por su versatilidad, naturalidad en el transporte y facilidad de transformación en otro tipo de energía útil.

Existen muchos métodos para obtener energía eléctrica. (Macías, 2004), presenta la figura que nos muestra la evolución de las energías utilizadas por el hombre, en el lapso de 150 años.

Como podemos observar la energía que produce el hombre (energía humana) no ha sido parámetro de estudio, si bien existen aplicaciones caseras, no se tiene registro de estudios profundos de este tipo de energía, a la cual se le podría considerar energía renovable.

## **Objeto y problema de la investigación**

### **Objeto de estudio de la investigación**

Biomecánica del cuerpo humano

### **Formulación del problema de la investigación:**

¿Cuánta energía producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico, se puede transformar en energía eléctrica?

## **Campo de acción y objetivo general de la investigación**

### **Campo de acción**

Generación de energía eléctrica CC.

### **Objetivo general de la investigación**

Diagnosticar biomecánicamente la energía producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico, para el laboratorio de energías renovables de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, durante el año 2016.

### **Hipótesis**

Mediante un diagnóstico biomecánico del movimiento del cuerpo en una rutina de entrenamiento de pedaleo elíptico y la implementación de un sistema eficiente de generación de corriente continua que utilice el 20 % de la energía consumida por el cuerpo humano en el pedaleo elíptico, y con esta energía producida se podrá cargar dispositivos de bajo voltaje en el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, durante el año 2016.

## Objetivos específicos

- a. Analizar el estado del arte de la biomecánica y energía producida por el movimiento de los miembros inferiores del cuerpo humano en el pedaleo elíptico.
- b. Describir el movimiento de los miembros inferiores, en el pedaleo elíptico, mediante el análisis antropométrico, para formular una ecuación de energía cinética rotacional, vinculada con la biomecánica del movimiento.
- c. Analizar operativamente la máquina elíptica de ejercicios, para diseñar el sistema de transmisión de movimiento y generación de energía eléctrica.

## Sistemas de tareas por objetivos específicos

Para la apropiada elaboración del proyecto de investigación, se detalla a continuación los objetivos específicos y se describe las acciones a ser realizadas, para el cumplimiento de los mismos.

1. Analizar el estado del arte de la biomecánica, de la energía producida por el movimiento de los miembros inferiores del cuerpo humano en el pedaleo elíptico.
  - a. Disponer de parámetros comparativos en estudios hechos por la comunidad científica sobre la dinámica del movimiento del cuerpo humano (biomecánica)

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Revisión de literatura	Revisión selectiva, de publicaciones como artículos en revistas académicas, papers, libros y otras clases de materiales en las diferentes áreas del conocimiento.	Revisión, Detección Consulta, Extracción Recopilación, Integración

2. Describir el movimiento de los miembros inferiores, en el pedaleo elíptico, mediante el análisis antropométrico, para formular una ecuación de energía cinética rotacional, vinculada con la biomecánica del movimiento.

- a. Identificar las medidas antropométricas básicas de los usuarios de la bicicleta elíptica en dos gimnasios de la ciudad de Quito

<b>MÉTODO</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>TÉCNICA</b>
Experimental	A los usuarios de la bicicleta elíptica se le tomara mediciones antropométricas básicas (peso, estatura) y específicas (dimensiones en brazos y piernas), con lo que determinara Índices de trabajo como IMC y gasto energético	Encuesta. Medición

- b. Describir el movimiento de miembros inferiores en el pedaleo elíptico.

<b>MÉTODO</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>TÉCNICA</b>
Experimental	Se medirá mediante medios audiovisuales posiciones límites de piernas. Mediante toma de tiempos en una rutina de ejercicios de pedaleo elíptico se obtendrá base de datos para la determinación de velocidades y aceleraciones angulares	Medición

- c. Simular el movimiento de miembros inferiores mediante la ley de Grashof

<b>MÉTODO</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>TÉCNICA</b>
Experimental	Simulando al proceso como un mecanismo de 4 barras el mismo que cumple con el criterio de Grashof (manivela – balancín). Usado el software, se modelará el movimiento de piernas, con lo que se obtendrá velocidades y aceleraciones teóricas	Simulación

3. Analizar operativamente la máquina elíptica de ejercicios, para diseñar el sistema de transmisión de movimiento y generación de energía eléctrica.

<b>MÉTODO</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>TÉCNICA</b>
Deductivo	Mediante tablas, catálogos y formulas del diseño mecánico se diseñará un sistema de transformación de movimiento de piernas (vertical alternativo) a un movimiento circular	Experimentación

## **Visión epistemológica de la investigación**

### **Paradigma o enfoque epistemológico**

Para (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010) “La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno”, en donde aparecen dos enfoques, el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo de la investigación, los mismos emplean procesos cuidadosos, metódicos y empíricos en su esfuerzo para generar conocimiento.

Respecto a que entenderíamos como enfoque cuantitativo, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010) manifiesta que: “El enfoque cuantitativo representa, un conjunto de procesos, es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos eludir pasos el orden es riguroso, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica.

Respecto a las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010) desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones respecto de la(s) hipótesis”.

Con relación al enfoque cualitativo (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010) menciona “El enfoque cualitativo también se guía por áreas o temas significativos de investigación”.

Respecto a que deberíamos interpretar por enfoque cualitativo, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010) expresa que: “Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas actividades sirven, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes, y después, para refinarlas y responderlas. La acción indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien circular y no siempre la secuencia es la misma, varía de acuerdo con cada estudio en particular”.

Articulando entonces si es posible o no manejar los dos enfoques en una investigación, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010) manifiesta que: “Las investigaciones se originan por ideas, sin importar qué tipo de paradigma fundamente nuestro estudio ni el enfoque que habremos de seguir. Para iniciar una investigación siempre se necesita una idea; todavía no se conoce el sustituto de una buena idea. Las ideas constituyen el primer acercamiento a la realidad objetiva (desde la perspectiva cuantitativa), a la realidad subjetiva (desde la perspectiva cualitativa) o a la realidad intersubjetiva (desde la óptica mixta) que habrá de investigarse”.

De lo antes expuesto en la presente investigación se utilizó los dos enfoques, ya que en la misma se manejan parámetros teóricos y experimentales como mediciones, cálculos, simulaciones así también parámetros cualitativos como sexo, edad, capacidad corporal.

### **Nivel de investigación.**

Para (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010), “no se deben considerar los *alcances* como “tipos” de investigación, ya que, más que ser una clasificación, constituyen un continuo de “causalidad” que puede tener un estudio”

También se hace referencia al alcance de una investigación, lo que se expresa:

“El alcance del estudio depende la estrategia de investigación. Así, el diseño, los procedimientos y otros componentes del proceso serán distintos en estudios con alcance exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo. Pero en la práctica, cualquier investigación puede incluir elementos de más de uno de estos cuatro alcances”. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010).

A continuación en la tabla 1, se resume lo expuesto por (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010), respecto a las definiciones de los alcances que se pueden dar en un proyecto de investigación:

Tabla 1: Definición de los alcances en un proyecto de investigación

<b>Tipo</b>	<b>Definición</b>
Los estudios exploratorios	(Hernández, Fernández, & Baptista, 2010) define a estos estudios como los que “se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes”
Los estudios descriptivos	Buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre

	los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010)
Investigación correlacional	A la investigación correlacional (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010), la define como una investigación que “Asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población. Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular”.
Los estudios explicativos	Van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010)

Fuente: (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010)

Por lo antes expuesto la presente investigación utilizará los cuatro tipos de estudio, tal como se describe en la tabla 2:

Tabla 2: Tipos de estudio - Resumen

<b>Tipo</b>	<b>Definición</b>
Los estudios exploratorios	El estudio biomecánico del movimiento del cuerpo humano, no está estudiado con profundidad en nuestro país, existen pocos estudios sobre el mismo
Los estudios descriptivos	Se utilizará en el estudio antropométrico que se ha hecho a los usuarios de la bicicleta elíptica en dos gimnasios de la ciudad de Quito.
Investigación correlacional	Mediante el uso de las ecuaciones de la dinámica del sólido rígido, se buscará relacionar la energía cinética del movimiento de las piernas y su transformación en energía eléctrica para cargar dispositivos de bajo voltaje.
Los estudios explicativos	Con el análisis de resultados tanto en la parte teórica como experimental se comprobará que el cuerpo humano se puede considerar como una fuente de energía renovable.

Fuente: (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010)

### **Alcance de la investigación**

En la investigación propuesta se procederá con el diseño un sistema mecánico de generación de corriente continua que utilice la energía producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico, para el laboratorio de energías renovables de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, durante el año 2016

### **Descripción de la estructura de los capítulos del proyecto de investigación**

Para la investigación se proponen cuatro capítulos en los que se describen todas las actividades que requiere la investigación, la misma que tiene como finalidad el diagnóstico biomecánico de la energía producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico y su transformación en energía eléctrica.

En el capítulo 1 se exponen tanto antecedentes de la investigación, fundamentación legal, considerando el Plan Nacional del Buen Vivir 2013 - 2017 que promueven el uso de energías alternativas. También se investiga el estado del arte en relación biomecánica del movimiento de extremidades inferiores, antropometría, gasto energético y la máquina elíptica.

En el capítulo 2 se especifica la metodología aplicada a la investigación. Analizando métodos y técnicas e instrumentos usados en la investigación.

En el capítulo 3 se analizó e interpretó los resultados obtenidos. Considerando un estudio estadístico de las mediciones antropométricas, calculando el gasto energético. También se presentó el diagnóstico dinámico de una rutina en la máquina elíptica, simulando al sistema pierna – pedal como un mecanismo de cuatro barras que cumple con la ley de Grashof (manivela – balancín).

En el capítulo 4 se expone la propuesta de esta investigación, exponiendo una síntesis del proceso de diseño mecánico y electrónico. También se hace un modelamiento biomecánico (modelo energético) tanto de miembros inferiores y superiores en una rutina de pedaleo elíptico, complementando con una comparación de la energía generada y gasto energético y su respectivo análisis de errores, apoyándonos con software de ingeniería.

# CAPÍTULO 1

## MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

### 1.1) Introducción

En el presente capítulo se investigó sobre el estado del arte de la biomecánica, del movimiento de miembros inferiores, antropometría, gasto energético del cuerpo humano, índice de masa corporal (IMC), estudio de la máquina elíptica, mecanismos y uso de la ecuaciones de cierre, con el fin de disponer de parámetros comparativos en estudios hechos por la comunidad científica sobre la biomecánica del movimiento del cuerpo humano, con una revisión selectiva, de publicaciones como artículos en revistas académicas, papers, libros.

### 1.2) Caracterización detallada del objeto

El Gobierno Ecuatoriano está impulsando “el cambio de la matriz energética”, promoviendo el uso de fuentes alternativas de energía. Para esta investigación, los antecedentes, la fundamentación legal están basados en la Constitución de la República del Ecuador y los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017.

La búsqueda de nuevas fuentes de energía renovable, la conservación ambiental es una tendencia en la actualidad es por eso que a todo nivel se busca crear nuevas formas que aporten a la disminución de este impacto degenerativo que es fundamental para la vida, así que produciendo energía eléctrica limpia cumplirá con este propósito. (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015)

Como manifiestan (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015) “Con una máquina con la que se pueda generar electricidad útil, se contribuirá con una nueva fuente de energía, induciendo a mejorar y aprovechar la actividad física de las personas”.

### 1.3) Marco teórico de la investigación

#### 1.3.1) Antecedentes de estudio:

Como manifiesta (Larrea, 2013), “El Ecuador tiene un enorme potencial no utilizado en energías renovables”, nuestro país es privilegiado en lo referente a su ubicación

geográfica la cual le provee de condiciones ideales para la explotación de varias fuentes de energías renovables (solar, geotérmica e hidráulica)”.

Otro aspecto (Larrea, 2013) también menciona: “Como resultado de la relativa abundancia de petróleo a partir de 1972 y de la crisis de la deuda iniciada en 1982, el desarrollo de energías renovables en el país ha sido discontinuo, insuficiente, y se ha concentrado en grandes proyectos hidroeléctricos, que en algunos casos han sufrido serias deficiencias”.

Además, (Larrea, 2013), expone que: “La transición energética hacia la adopción de fuentes renovables de energía es una necesidad estratégica en el Ecuador, debido principalmente al progresivo agotamiento de las reservas de petróleo, que difícilmente permitirán mantener las exportaciones por más de 20 años. El desarrollo de energías renovables se justifica también por los impactos negativos la extracción petrolera tanto sobre la biodiversidad, que constituye la principal riqueza perdurable del país, como sobre el cambio climático, que es la principal amenaza para la sustentabilidad global en el presente siglo.”

De lo mencionado anteriormente, se ve la necesidad de buscar nuevas fuentes de energía, contando con lo que (DeJuana & et.al, 2008) manifiestan: “La energía se produce en diferentes fuentes y que es almacenada de distintas formas. Las fuentes se pueden clasificar en primarias y secundarias, según pueda obtenerse de ellas la energía directamente o sea necesario recurrir a otra fuente. Así por ejemplo la energía eléctrica es una fuente secundaria de energía, porque para su producción es necesario recurrir a otra fuente de energía”.

Según (DeJuana & et.al, 2008) , nos mencionan que las fuentes de energía se clasifican en renovables y no renovables, según que su energía se siga produciendo en la actualidad y su consumo sea repuesto, o que ya no se produzca y su consumo acabe por agotar la reserva”.

Según (Benítez, González, & Rosero, 2013), “La generación distribuida, conectada en baja tensión y de pequeño porte, conocida también como micro generación y basada en particular en energías renovables, es un fenómeno de creciente desarrollo y penetración”

Cuando una persona realiza una actividad física como caminar, correr, montar en bicicleta, nadar, ejercicios de gimnasio, etc., consume energía proveniente del metabolismo, dicha actividad comúnmente se la conoce como *quemar calorías*.

Pero también existe una parte de esa energía que no se utiliza, es energía que “se pierde”, según (Sherwood, 2011) “no más del 25% de la energía proveniente de los nutrientes está disponible para el trabajo, ya sea externo o interno. El 75% restante se pierde como calor, por lo que solamente el 25% de esta energía se la puede aprovechar”.

Por otra parte (Benítez, González, & Rosero, 2013) también explican: “La generación de energía mediante el ejercicio aprovechando los recursos disponibles del escenario: los centros de acondicionamiento físico (gimnasios), mediante la energía cinética que es suministrada a las máquinas por los usuarios, es una idea que ya se ha implementado a pequeña escala.”

Existen ya proyectos implementados en los que la “energía humana” proveniente del ejercicio físico, es aprovechada y transformada en energía útil, entre los que podemos mencionar: “Eco generador de baja revolución a pedal” en Panamá (erenovable, 2008), “Green MicroGym” en Portland, USA (Gibson, 2011), “Crown Plaza Hotel” en Copenhague, Dinamarca (Turismo-sostenible, 2015), entre otros.

Una de las máquinas sencillas y simples en su diseño mecánico y capaz de transformar la energía cinética proveniente del movimiento de las extremidades inferiores del cuerpo, en trabajo, potencia y energía está la bicicleta.

En estos días aprovechar la “energía humana” nos permite tomar conciencia de las perspectivas futuras del aprovechamiento de la energía, de su ahorro, de sepamos emplearla con experiencia y responsabilidad.

#### **1.4) Fundamentación de la Investigación**

La búsqueda de nuevas fuentes de energía renovable con nuevos dispositivos caseros como es la máquina elíptica de ejercicios, de la misma, mediante un sistema de generación y transformación se obtiene electricidad útil y limpia.

En la Figura 1-1 se muestra un árbol de problemas con las causas y efectos que se encuentran en la investigación.

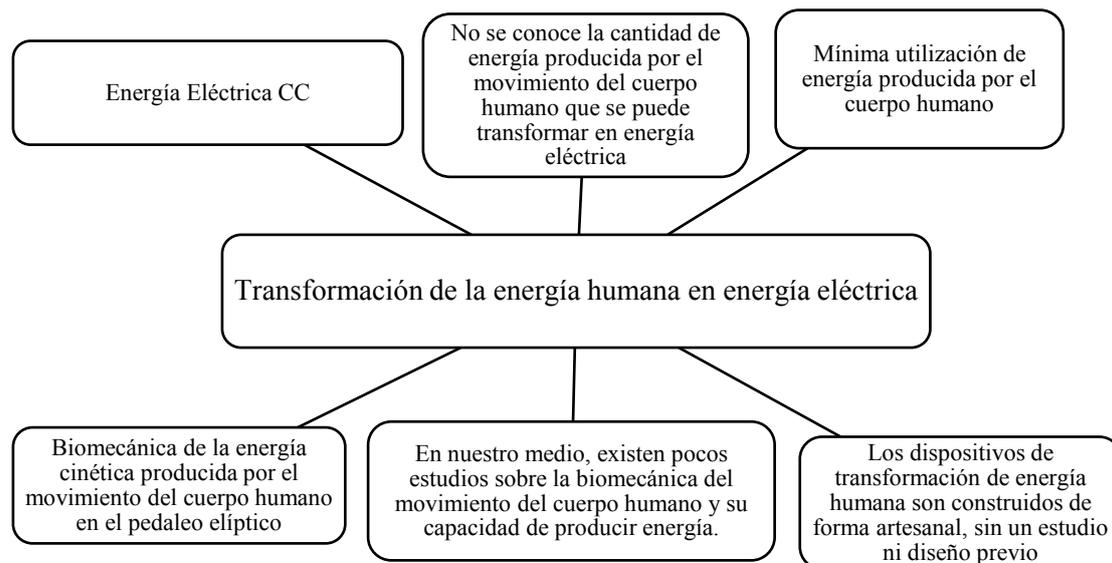


Figura 1—1: Árbol de problemas

Elaborado por: Obando Herrera Fabio Eduardo

Para determinar la causa principal partimos de que la energía que produce el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico no es aprovechada, la máquina de pedaleo elíptico solo es utilizada para ejercitar el cuerpo, mejorar la salud y disminuir el estrés, la energía cinética del movimiento de miembros superiores e inferiores se queda ahí, solo en movimiento, decir la transformación de la energía humana no es aprovechada al máximo posible.

Resumiendo las variables para el proyecto se plantearon de la siguiente manera:

Tabla 3: Variable dependiente e independiente

<b>Variable independiente</b>	CAUSA	Biomecánica de la energía cinética producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico
<b>Variable dependiente</b>	EFEECTO	Energía eléctrica CC

Si bien la energía producida por el cuerpo humano no constituirá un aporte significativo a la producción energética del país, pero esta se puede constituir en una fuente de energía hogareña, lo que ayudaría al ahorro energético familiar, influyendo en su economía.

### 1.4.1) Operacionalización de las variables

La matriz de operacionalización de las variables independiente y dependiente se expone en las tablas 4 y 5:

Tabla 4: Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Variable independiente					
	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos	
(Dufour & Pillu, 2006), mencionan que: La biomecánica es la disciplina científica que se aplican los principios y las leyes de la mecánica a los seres vivos.	Antropometría	Base de datos de mediciones antropométricas cuerpo	m	Medición	Equipo de medición antropométrico	
	Gasto energético	Energía que tiene el cuerpo antes de realizar una rutina en la máquina elíptica	Kcal	Cálculo	Formulas Harris Benedict	
	Dinámica rotacional del movimiento de miembros inferiores en el pedaleo elíptico	Energía cinética rotacional		Joule	Cálculo	Dinámica del solido rígido
		Simulación del movimiento de movimiento de piernas en el pedaleo elíptico, como un mecanismo de 4 barras que cumple la ley de Grashof.		Joule	Cálculo	Ecuaciones de cierre mecanismos
Bicicleta elíptica	Sistema de transmisión del movimiento – Sistema de generación de energía		m – Joule	Cálculo	Diseño mecánico	

Tabla 5: Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Variable dependiente				
	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Según (Redondo, 2013), la corriente eléctrica CC se puede definir como la señal producida por el movimiento de cargas eléctricas en un único sentido a intensidad constante.	Voltaje	Voltaje generado	V	Medición	LabView
	Corriente	Corriente generada	A	Medición	LabView
	Potencia	Potencia generada	W	Medición	LabView

#### **1.4.2) Argumentación económica, legal y medioambiental acerca de la necesidad de la investigación**

Para este proyecto es importante resaltar la importancia de tener nuevas fuentes de energía limpia que ayuden y colaboren con el medio ambiente, por lo que se mencionará lo estipulado en la constitución del Ecuador además de lo contenido en el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017.

### **CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR**

#### **Capítulo 2: De los derechos del buen vivir**

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (ANC, 2008).

#### **Capítulo 2: Biodiversidad y recursos naturales, sección séptima biosfera, ecología urbana y energías alternativas**

**Art. 413.-** El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

**Art. 414.-** El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo (ANC, 2008)

#### **Capítulo 5: De los derechos colectivos, sección segunda: Del medio ambiente**

Art. 89.- El Estado tomará medidas orientadas a la consecución de los siguientes objetivos:

Promover en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes. (ANC, 2008)

## **Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017**

Objetivo 7. Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global

7.7 Promover la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental

7.7. b. Promover investigaciones para el uso y la generación de energías alternativas renovables, bajo parámetros de sustentabilidad en su aprovechamiento. (Senplades, 2013)

### **1.5) Aspectos teóricos fundamentales**

Se inicia con un breve análisis teórico de lo relacionado con el estudio de la biomecánica en los procesos industriales, destacando conceptos bibliográficos y aplicaciones en procesos industriales:

#### **1.5.1) Biomecánica:**

Existen varias formas de definir lo que es biomecánica, entre las que se menciona:

##### **Definición de biomecánica.-**

Según (Repetto, 2005), “la biomecánica es la ciencia que estudia la relación entre las estructuras biológicas y el medio ambiente, basándose en los principios de las leyes de la física mecánica; abarcando desde el análisis teórico hasta la aplicación práctica de los resultados”.

Por otra parte, (Dufour & Pillu, 2006) mencionan que: La biomecánica es la disciplina científica que se aplican los principios y las leyes de la mecánica a los seres vivos.

Para (Aguilar, 2000), “biomecánica es la disciplina que estudia los modelos, fenómenos y leyes que sean relevantes en el movimiento de un ser vivo”, el mismo autor menciona que:

“Para estudiar el movimiento hay que considerar tres aspectos distintivos:

El control del movimiento que está relacionado con los ámbitos psicológicos y neurofisiológico.

La estructura del cuerpo que se mueve, que en el caso de los seres vivos es un sistema complejo compuesto de músculos, huesos, tendones, etc. Es la anatomía y fisiología que se estudia desde el punto de vista mecánico.

Las fuerzas, tanto externas (gravedad, viento, etc.) como internas (producidas por el propio ser vivo), que producen el movimiento de acuerdo con las leyes de la física.

Para la investigación se entenderá como biomecánica al estudio del cuerpo humano, tomado como un sistema mecánico formado por el aparato musculoesquelético, en el que actúan fuerzas internas y externas, a las que se pueden aplicar las leyes de la estática y dinámica del sólido rígido.

### **1.5.2) Energía generada por el hombre**

Resulta un poco ambiguo definir que es energía humana, basándonos en una de las leyes básicas de la física que dice “La energía no se crea ni se destruye, se transforma”, se menciona:

Según (Quijano, 2010), “El concepto de energía se aplica en la nutrición en lo que refiere al consumo de alimentos y la cantidad que el ser humano requiere para vivir. A pesar de parecer dos cosas elementales, esto implica que el ser humano es un transformador de tipos de energía que funciona en forma permanente o constante.

También manifiesta (Quijano, 2010), que “La fuerza mecánica de los humanos nace de la aportación energética de los alimentos que dan movimiento a la musculatura e intervienen en el buen funcionamiento metabólico que nos permite la vida”.

En relación al gasto total de potencia que un ser humano sano puede generar, se expone que:

Además (Avallone & Baumeister III, 2010), expone que: “Durante un día de 8 h, para una semana de 48 h, una norma útil respecto al gasto total de potencia, incluyendo la energía del metabolismo basal, para un trabajador de 35 años, es de 0,49 hp (366W); de este gasto total, alrededor de 0,1 hp (75 W) queda disponible para trabajo útil. Un hombre de 20 años puede generar poco más o menos un 15% más de potencia que esta norma, y uno de 60 años casi 20% menos. Una regla empírica para calcular la potencia desarrollada por individuos de sexos masculino puede expresarse como una función de la edad y la

duración del esfuerzo, en minutos, para un trabajo que dure desde 4 hasta más o menos 480 min, si se supone que el 20% de la salida total es potencia útil”.

Tabla 6: Estimación empírica del caballaje útil generada por un hombre

Años de edad	Caballaje útil ( $t$ en min)
20	$hp = 0,40 - 0.1 \log t$
35	$hp = 0,35 - 0.09 \log t$
60	$hp = 0,30 - 0.08 \log t$

Fuente: (Avallone & Baumeister III, 2010)

### 1.5.3) Antropometría.-

Según (Suaverza & Haua, 2009), “La antropometría, definida como la técnica que se ocupa de medir las dimensiones físicas y la composición corporal del individuo, utiliza una serie de mediciones perfectamente delimitadas que permiten evaluar al individuo y establecer correlaciones con la satisfacción d sus requerimientos nutrimentales. Para la interpretación de las mediciones resulta esencial la constitución de índices, que son combinaciones de mediciones o características del individuo”.

En referencia al uso de la antropometría (Suaverza & Haua, 2009) menciona que: “A través de ella se realiza la medición del tamaño corporal, el peso, las proporciones, que constituyen indicadores sensibles de la salud, desarrollo y crecimiento en el caso de niños y jóvenes. De hecho es constituyente indispensable en la evaluación del estado de nutrición de los individuos”.

Las mediciones antropométricas dependen también de la situación en la que se haga el estudio, (Mondelo, Torrado, & Bombardó, 2010) manifiestan que “Cuando hablamos de antropometría acostumbramos a diferenciar la antropometría estática, que mide las diferencias estructurales del cuerpo humano, en diferentes posiciones, sin movimiento, de la antropometría dinámica, que considera las posiciones resultantes del movimiento, ésta va ligada a la biomecánica”.

Respecto a las medidas antropométricas (Mondelo, Torrado, & Bombardó, 2010) manifiesta que, “las medidas que debemos poseer de la población dependerá de la aplicación que le queramos dar a las mismas”. Añade también que las medidas adicionales serán todas aquellas que se precisen para un objetivo concreto.

Uno de los usos de la antropometría es en el aspecto nutricional, referente a esto se menciona:

Para (Monterrey & Porrata, 2001) “La evaluación del estado nutricional utilizando mediciones antropométricas se enmarca en la denominada antropometría nutricional, que se define como “medición de la variación de las dimensiones físicas y la composición del cuerpo en diferentes edades y grados de nutrición. El peso, la estatura y otras dimensiones corporales son simples de evaluar, no requieren de un entrenamiento complejo para el personal que las va a obtener y son mediciones exactas y precisas, por lo que pueden ser utilizadas en estudios epidemiológicos”

Considerando al cuerpo humano como un sistema en movimiento, este requiere de energía por lo que (Jequier & Tappy, 1999) menciona que “Las funciones vitales del organismo requieren un determinado gasto energético”.

Según (López-Fontana, Martínez-González, & Martínez, 2003) este gasto energético “debe ser compensado por el valor calórico aportado por los alimentos y las bebidas de la dieta”

Para (Jebb & Prentice, 1997) y (Jequier & Tappy, 1999), en todo sistema debe existir un balance energético el mismo que atiende a las leyes de la termodinámica el mismo que se expresa con la ecuación:

$$\text{Balance energético} = \text{energía ingerida} - \text{gasto energético} \quad (1)$$

El informe, basado en el análisis de las mejores pruebas científicas actualmente disponibles en el dictamen colectivo de un grupo de 30 expertos, reafirma que la ingesta energética diaria debe ser equivalente al gasto de energía. (OMS/FAO, 2015)

#### **1.5.4) Necesidades de energía.-**

Según (OMS, 2008) “Las estimaciones de necesidades de energía se refieren al mantenimiento de la salud en individuos sanos. Se da por sentado que la salud incluye formas de actividad que se consideran compatibles con un funcionamiento fisiológico y social satisfactorio”

En lo referente a la energía que necesita un ser humano, se menciona que:

“Energía según (OMS, 2008): Las necesidades energéticas de un individuo son las dosis de energía alimentaria ingerida que compensa el gasto de energía, cuando el tamaño y la composición del organismo y el grado de actividad física de ese individuo son compatibles con un estado duradero de buena salud, y permite el mantenimiento de la actividad física que sea económicamente necesaria y socialmente deseable.”

Referente a la relación de la necesidad de energía y el tamaño corporal del individuo la (OMS, 2008) menciona que “El tamaño corporal es el determinante principal de las necesidades absolutas de energía y proteínas.”

Según (Bray, 2009) para un individuo adulto, “el peso corporal, cuando se expresa en relación con la talla, influye en la salud y se ha propuesto una gama de pesos por talla deseables o aceptables”

#### **1.5.5) Gasto energético.-**

Respecto a que se entiende por gasto energético (López-Fontana, Martínez-González, & Martínez, 2003) menciona que: “El organismo tiene unas necesidades energéticas destinadas a mantener las funciones vitales, el crecimiento y el nivel apropiado de la actividad física. La energía ingerida a través de los alimentos no es aprovechada en su totalidad, ya que aproximadamente un 5% se pierde con la heces, la orina y el sudor; el resto es lo que se considera energía metabolizable. Esta energía va a ser destinada y utilizada por el organismo para el metabolismo basal, la actividad física y el efecto termogénico de los alimentos”

Para (Diener, 2010), “Los seres humanos son sistemas termodinámicos que necesitan de energía para el mantenimiento de diversas funciones orgánicas, incluyendo respiración, circulación, actividad física y temperatura corporal. La energía para soportar los procesos vitales es obtenida por la oxidación de los nutrientes contenidos en los alimentos ingeridos”

También podemos aportar a la definición de gasto energético que presenta (Esteves, DeMelo, Goncalves, & Rodrigues, 2008): “El gasto energético (GE) representa la energía que el organismo consume; está constituido por la suma de: la tasa metabólica basal, la termogénesis endógena (TE) y la actividad física (AF). Habitualmente, el gasto energético en reposo (GER) se determina por medio de ecuaciones predictivas, pero la

evidencia señala que la medición del consumo de oxígeno, es el método de mayor precisión”.

### 1.5.6) Estimación de requerimientos energéticos

Para (Suverza & Haua, 2010), la producción y el gasto de energía se encuentran determinados por el metabolismo, el cual representa a todos los procesos químicos que se realizan.

$$GET = GEB + ETA + AF + EF \quad (2)$$

Donde:

GET	Gasto energético total	[kcal]
GEB	Gasto energético basal (GER, gasto energético en reposo)	[kcal]
ETA	Efecto termo génico de los alimentos	[kcal]
AF	Actividad física	[kcal]
EF	Estrés fisiológico	[kcal]

Para (Calleja, Vidal, & Ballesteros, 2012) y (Vargas, Lancheros, & Barrera, 2011) las necesidades de energía de una persona tiene una estrecha relación con su gasto energético (GE) y se define como “la energía que consume un organismo”.

(Calleja, Vidal, & Ballesteros, 2012), también exponen que: “El gasto energético está representado por la tasa metabólica basal (TMB), la actividad física (AF) y la ingesta calórica (IC). La TMB es la mínima cantidad de energía que un organismo requiere para estar vivo y representa del 60-70% del total del gasto energético (TGE)”.

La energía que requiere un individuo para poder realizar las diferentes actividades, que van desde levantarse en la mañana, trabajar, caminar, etc., la podemos puntualizar.

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2009) define el GET como: “El nivel de energía necesario para mantener el equilibrio entre consumo y gasto energético, cuando el individuo presenta un peso, composición corporal y nivel de actividad física compatibles con un buen estado de salud, debiendo ser realizados ajustes para individuos en diferentes estados fisiológicos (crecimiento, gestación, lactancia y envejecimiento)”.

Según (McArdle, Katch, & Katch, 2014), “la medida del metabolismo basal en condiciones controladas de laboratorio proporciona un método un método para estudiar la relación entre gasto energético y el tamaño corporal, el sexo y la edad”.

“El GEB (GER) corresponde a la cantidad de energía mínima que el cuerpo necesita para mantener los procesos vitales en reposo, en ambiente térmicamente neutro y en estado de ayuno por lo menos de 12 horas, siendo este influenciado por la masa corporal magra y en menor extensión por otros factores como edad, sexo y factores familiares”. (Diener, 2010)

El gasto energético basal depende en los humanos de cuanta actividad física realice, según (Wahrlich & Anjos, 2001) “El metabolismo basal constituye, aproximadamente, del 60% al 70% de los gastos energéticos diarios en la mayoría de los adultos sedentarios, mientras que en los individuos muy activos físicamente es de aproximadamente el 50%”.

Por lo que se puede concluir que el Gasto Energético Basal es el punto de partida para estimar la necesidad energética de un individuo.

Para poder estimar el gasto energético basal existen varios métodos, los mismos que tienen sus ventajas y desventajas, según mencionan (Calleja, Vidal, & Ballesteros, 2012) los siguientes: “Por su importancia en el cálculo de las necesidades energéticas, se ha incrementado la necesidad de desarrollar sistemas y fórmulas para su estimación en la práctica diaria. Los métodos de referencia para la estimación del GEB son el agua doblemente marcada y las calorimetrías directa e indirecta, pero por su elevado coste y la dificultad que representa su utilización, hace que se destinen principalmente a la investigación y a la validación de otras técnicas o ecuaciones”.

(Thompson, Manore, & Vaughan, 2008), define a los métodos de cálculo del gasto energético con:

“Calorimetría directa es el método que mide la cantidad de calor que libera el organismo. Este método emplea una cámara hermética en la que el calor emitido por el organismo calienta el agua que rodea la cámara. La cantidad de que gasta una persona se calcula a través de los cambios en la temperatura del agua.

La calorimetría indirecta calcula el gasto energético a través de la medición del consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono.

El método de agua de marcación doble o agua doblemente marcada, mide el gasto total diario de energía mediante la tasa de producción de dióxido de carbono. Requiere el consumo de agua que está marcada con isótopos no radioactivos del hidrógeno (deuterio) y oxígeno”.

En la tabla 7 presentada por (Suverza & Haua, 2010) se muestra a continuación se presenta un resumen de las diferentes fórmulas para la estimación del gasto energético en reposo, presentadas por

Tabla 7: Fórmulas para la estimación del gasto energético

Autor, año	Ecuación	Recomendaciones	
Harris – Benedict, 1919	Mujer: GER (kcal)=655,1+[9,563×peso(kg)]+[1,85×talla(cm)]-[4,676×edad(años)] Varón: GER (kcal)=66,5+[13,75×peso(kg)]+[5,003×talla(cm)]-[6,775×edad(años)]	Usar solo para estimar el gasto en reposo de adultos con peso normal	
Owen, 1986 - 1987	Mujer: GER (kcal)=795+[7,18×peso(kg)] Varón: GER (kcal)=879+[10,2×peso(kg)]	Puede utilizarse pero con cautela, para estimar el gasto en reposo de adultos tanto con peso normal como sobrepeso y obesidad.	
Valencia, 2008	<b>Edad (años) GEB (kcal/día)</b>	Es la ecuación de elección para GEB en sujetos adultos mexicanos Observación: Se tome en cuenta esta ecuación debido a la similitud alimenticia entre ecuatorianos y mexicanos	
	Varones		
	18 -30		13,37 kg+747
	30 – 60		13,08 kg+693
	>60		14,21 kg+429
	Mujeres		
	18 -30		11,02 kg+679
30 – 60	10,92 kg+677		
>60	10,98 kg+520		

Fuente: (Suverza & Haua, 2010)

También para el cálculo de la actividad física existen varias ecuaciones mencionadas por (Suverza & Haua, 2010), en la tabla 8 que se menciona a continuación, resumimos estas ecuaciones, las mismas que se han tomado con una actividad física moderada:

Tabla 8: Factores para el cálculo de la actividad física

Taylor y Anthony	GER×1,4
Anderson, Dibble, Mitchell, Rynbergen	GER×1,5
RDA: En el caso de que se usen estos factores para determinar el gasto por actividad física, no deberá sumarse el efecto termogénico de los alimentos (ETA), ya que este ya está considerado en los factores.	Hombres: GER×1,7 Mujeres: GER×1,6

Zeman	GER×1,5 - 1,75
FAO/OMS	GER×1,7- 1,99

Fuente: (Suverza & Haua, 2010)

Es necesario estar conscientes que no toda la energía humana puede ser utilizada, así lo afirman:

Para (Mondelo, Gregori, & Barrau, 1994) , “La eficiencia mecánica del cuerpo humano no rebasa en el mejor de los casos en ejercicios muy dinámicos el 20% (según algunos autores, pudiera llegarse al 25 - 30%). Esto significa que de la energía que se consume para realizar un trabajo físico sólo la cuarta parte, en contadas ocasiones, se aprovecha como trabajo útil y el resto se pierde en forma de calor”.

Según (McArdle, Katch, & Katch, 2014), las condiciones para el cálculo del metabolismo basal son:

- ⇒ Ayunas al menos 12 horas, estado que se denomina postabsorción
- ⇒ No realizar ejercicio al menos 12 horas antes de la medición
- ⇒ La medición debe hacerse después de que la persona ha estado tendida durante 30 – 60 minutos

Pero respecto a la diferencia en esta estimación en condiciones que no sean las estipuladas anteriormente, (McArdle, Katch, & Katch, 2014) manifiesta que: “En la mayoría de los casos, los valores basales medidos en el laboratorio sólo son ligeramente menores que los valores del metabolismo en reposo medido en condiciones menos estrictas (3 a 4 horas tras una comida ligera y sin actividad física). En esta exposición se utilizan los términos metabolismo basal y en reposo de forma intercambiable”.

Para (Vargas, Lancheros, & Barrera, 2011), “el metabolismo basal representa la integración de la actividad mínima de todos los tejidos del cuerpo en condiciones de equilibrio, se expresa como producción de calor o consumo de oxígeno por unidad de tamaño corporal.

(Vargas, Lancheros, & Barrera, 2011), también expresa que: “El metabolismo basal expresado, es diferente a la tasa metabólica en reposo (TMR) o al GER; este último se obtiene cuando la determinación se hace en reposo y en las condiciones descritas para la

TMB pero no en ayuno, incluyendo por tanto la energía utilizada para el aprovechamiento biológico de los alimentos”.

Respecto a la influencia del tamaño del cuerpo sobre el metabolismo basal, se expone que:

“La superficie corporal proporciona con frecuencia un denominador común para expresar el metabolismo basal entre las personas con diferente tamaño corporal. Los resultados de numerosos experimentos han proporcionado datos de los valores promedio de metabolismo basal por unidad de superficie en hombres y mujeres de edades diferentes”.

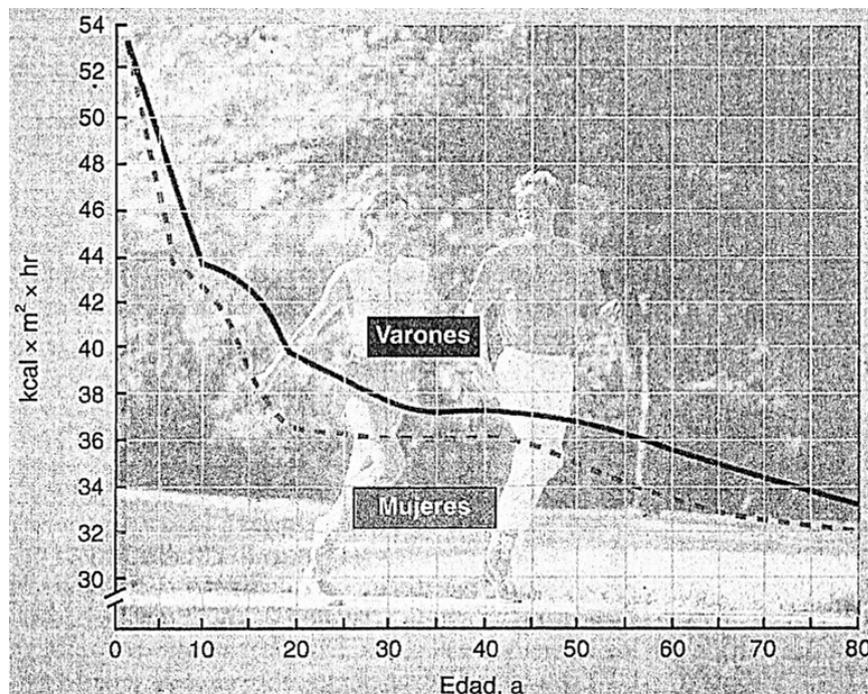


Figura 1—2: Metabolismo basal promedio

Fuente: (McArdle, Katch, & Katch, 2014)

(McArdle, Katch, & Katch, 2014) , “En la fig. 1-2 muestra que el metabolismo basal es en promedio un 5 – 10% menor en las mujeres que en los hombres de la misma edad. El mayor porcentaje de grasa corporal y la menor masa muscular de las mujeres con relación a su tamaño corporal explican su menor metabolismo por unidad de superficie”.

Para calcular el gasto energético diario (McArdle, Katch, & Katch, 2014) mencionan que, se multiplica el valor del metabolismo basal promedio por la superficie corporal. Este valor a la hora se multiplica posteriormente por 24 para obtener el cálculo en 24 horas

También (McArdle, Katch, & Katch, 2014), indica el proceso como calcular la superficie corporal, esto se lo hace mediante el nomograma que se expone en la figura 1-3:

Nomograma de la superficie corporal

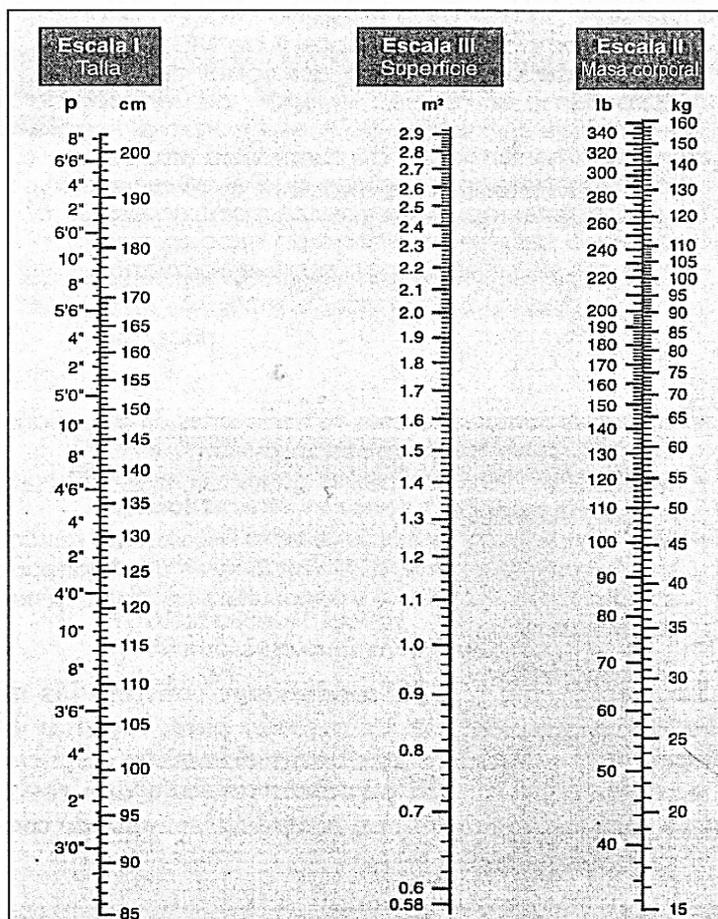


Figura 1—3: Nomograma para la estimación de la superficie corporal

Fuente: (McArdle, Katch, & Katch, 2014)

### 1.5.7) Actividad Física

Autores como (Willet, 1998) (Arias, Balam, Sulub, Carrillo, & Ramírez, 2013) (Escolar, Pérez, & Corrales, 2003) (Bravo, 2014) definen a la actividad física, como todo movimiento corporal parcial o aplicación de fuerza del músculo esquelético o total que implica un gasto de energía, es el componente del gasto energético que más varía y se

encuentra, hasta cierto punto, bajo control voluntario. A la actividad física planificada, estructurada y repetitiva, realizada para mantener o mejorar una forma física se llama ejercicio físico .

Según la (OMS/FAO, 2015), la actividad física abarca el ejercicio, pero también otras actividades que implican movimiento corporal y se realizan como parte de los momentos de juego, del trabajo, de formas de transporte activas, de las tareas domésticas y de actividades recreativas

(Subirats-Bayego, Subirats-Vila, & Soteras, 2012) (Hernández, et al., 2003), definen a la forma física como la capacidad de desarrollar las actividades física diarias con rigor y diligencia, sin que aparezcan molestias, sin fatiga disnea (dificultad en la respiración) o agotamiento y con energía suficiente para disfrutar de las actividades de tiempo libre y afrontar las emergencias eventuales. Sus componentes más relevantes son la resistencia, la fuerza, la flexibilidad y el equilibrio. Se adquiere con el ejercicio físico, que es la realización de la actividad física de forma planificada, estructurada y repetitiva.

(Hernández, et al., 2003), mencionan que: La práctica de las actividades físicas está condicionada por factores determinados individualmente por cada persona, por la relación entre ellas y por el ambiente en que viven.

(Subirats-Bayego, Subirats-Vila, & Soteras, 2012) y (Bravo, 2014) consideran actividades de baja intensidad las que exigen un gasto energético menor de 3,5 MET, son poco vigorosas y mantenidas y tiene poco efecto cardiorrespiratorio, la intensidad moderada las que exigen un gasto energético de 3,5 a 8 MET (o 55 - 60% de la frecuencia cardiaca (FC)), requiere un esfuerzo moderado y acelera en forma perceptible el ritmo cardiaco, de intensidad media las que requieren de 8 a 12 MET (o 60 – 75% de la FC máxima) y de intensidad elevada las que superan los 12 MET (o 75 – 85% de la FC máxima) requiere de una gran cantidad de esfuerzo, provoca una respiración rápida

En la tabla 7 se expone un resumen de los METs aproximados de las actividades más comunes que realiza el hombre:

Tabla 9: METs de las actividades más comunes

<b>Actividad</b>	<b>METs</b>
Caminar de paseo	2,5
Caminar bajando escaleras	3,0
Caminar subiendo escaleras	8,0

Bicicleta montaña	8,5
Bicicleta (general)	8,0
Nadar, placer o recreo	6,0
Gimnasio (en general)	5,5
Elíptica o máquina de esquí	7,0
Máquina de Step	9,0
baile (aeróbic)	6,5
Aeróbic – Step	8,5

Fuente: (Padrón, 2014)

Según (Escolar, Pérez, & Corrales, 2003) “El ejercicio físico determina cambios fisiológicos consistentes en un incremento del consumo de energía y una activación de la circulación sanguínea”.

Según (Escolar, Pérez, & Corrales, 2003): El trabajo muscular puede ser de dos tipos aerobio y anaerobio. Se denomina aerobio al que tiene como resultado el movimiento, es isotónico (somete a los músculos a un movimiento contra una resistencia baja a lo largo de un recorrido largo), sin que se desarrolle al mismo tiempo una fuerza excesiva, como sería el producido al andar o correr. Se llama aerobio porque consume oxígeno para la producción de energía. Puede ser desarrollado durante largos periodos de tiempo.

Para (Escolar, Pérez, & Corrales, 2003) “El trabajo muscular desencadena directamente, sea cual sea, aeróbica o anaeróbica, un consumo de energía y unos cambios metabólicos beneficiosos”.

También (Escolar, Pérez, & Corrales, 2003) menciona que: “La prescripción de ejercicio basada en el consumo energético de la actividad mide el gasto calórico mediante el “equivalente metabólico” (MET), que es la cantidad de oxígeno necesaria para el mantenimiento durante 1 minuto de las funciones metabólicas del organismo con el individuo en reposo y sentado. Un MET equivale 3,5 ml por kg y minuto”.

Para calcular el gasto energético de una determinada actividad en base a los MET, se utiliza la ecuación recomendada por el American College of Sports Medicine:

$$\text{METs} \times 3,5 \times \text{peso en kg} / 200 = \text{kcal/min} \quad (3)$$

### 1.5.8) Índice de masa corporal

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2014) es la autoridad directiva y coordinadora en asuntos de sanidad internacional en el sistema de las Naciones Unidas, determina las líneas de investigación y estimula la producción de conocimientos valiosos, define normas y patrones y sigue de cerca la situación en materia de salud a nivel mundial, define al índice de masa corporal, como:

Según (OMS, 2015) “El índice de masa corporal (IMC) es un indicador simple de la relación entre el peso y la talla que se utiliza frecuentemente para identificar el sobrepeso y la obesidad en los adultos. Se calcula dividiendo el peso de una persona en kilos por el cuadrado de su talla en metros ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )”.

La definición de la OMS es la siguiente:

⇒ Un IMC igual o superior a 25 determina sobrepeso.

⇒ Un IMC igual o superior a 30 determina obesidad.

Para (OMS, 2015) “El IMC proporciona la medida más útil del sobrepeso y la obesidad en la población, puesto que es la misma para ambos sexos y para los adultos de todas las edades. Sin embargo, hay que considerarla a título indicativo porque es posible que no se corresponda con el mismo nivel de grosor en diferentes personas”.

Según (Rodríguez, Mora, Acosta, & Menéndez, 2004), “El IMC tiene utilidad como indicador antropométrico del riesgo de daño aterogénico (cociente entre los niveles de colesterol total y colesterol HDL) y reviste importancia estratégica en la vigilancia de salud en la atención primaria”.

Respecto al uso del IMC, (Rodríguez, Mora, Acosta, & Menéndez, 2004) (Berdasco, 2002) (Monterrey & Porrata, 2001), nos manifiestan que dentro del conjunto de indicadores biométricos de más amplio uso en los análisis antropométricos, se encuentra el índice de masa corporal (IMC) o índice de Quetelet.

Para (Carrasco, Reyes, Rimler, & Rios, 2004) “El índice de masa corporal de Quetelet (IMC:  $\text{peso}/\text{estatura}^2$ ) ha sido definido por la OMS y la NIH, como el parámetro para el diagnóstico del sobrepeso y obesidad, considerando la buena correlación que éste tiene con la adiposidad y su fuerte asociación epidemiológica con mortalidad y morbilidad

asociada a obesidad. Sin embargo, la exactitud del IMC para estimar la composición corporal es discutible, siendo afectada por el sexo, raza y edad, lo cual puede conducir a una mala clasificación de la condición de obesidad”

Con conexión a la relación entre IMC y el gasto energético, como lo manifiesta (Monterrey & Porrata, 2001): “Los valores del IMC son un reflejo de las reservas corporales de energía. Esta afirmación se evidencia por su alta correlación con la grasa corporal estimada por métodos válidos como la densitometría, y por su alta correlación con los pliegues cutáneos que son predictores de la grasa corporal.

Para (Monterrey & Porrata, 2001) “El hecho de que el IMC refleje las reservas corporales de energía lo hacen ser también un buen descriptor de estados deficitarios, es por ello que él permite describir, además de la presencia de obesidad, la presencia de deficiencia energética crónica (DEC)”.

También (Monterrey & Porrata, 2001) exponen que: “ La DEC es un estado estable del balance energético, en el que el gasto energético es igual a la ingestión de energía; pero se llega a este estado de balance porque el organismo regula o reduce la actividad metabólica como respuesta a bajas ingestiones de energía”.

### **1.5.9) Metabolismo humano**

Para (Izquierdo, 2008), “Todos los seres vivos necesitan energía, aunque sea para mantener sus procesos vitales”, tanto plantas y animales operan dentro de las leyes de la termodinámica.

(Izquierdo, 2008), también menciona que, “El ser humano son sistemas demasiado complicados para analizarlos en forma precisa y exacta”. “La primera ley de la termodinámica proporciona una herramienta apropiada para tratar los factores que intervienen en el complejo proceso del metabolismo humano”.

Con respecto al contenido energético se menciona que:

(Izquierdo, 2008), define al contenido energético, por unidad de masa de un alimento como la cantidad de energía liberada por unidad de masa. Podemos verlo en la tabla 10, que el equivalente energético es aproximadamente el mismo, pudiendo establecer un valor medio de 20,1 kJ/l para transformar el consumo de oxígeno medido en tasa de cambio de energía interna”.

Tabla 10: Contenido energético medio por unidad de masa de alimento y equivalente energético del oxígeno de una dieta típica

<b>Alimento</b>	<b>Contenido energético por unidad de masa (kJ/g)</b>	<b>Equivalente energético de oxígeno (kJ/l)</b>
Hidrato de carbono	17,2	21,1
Proteína	17,6	18,7
Grasa	38,9	19,8
Etanol	29,7	20,3
Promedio estándar		20,1

Fuente: (Izquierdo, 2008)

### 1.5.10) Tasa metabólica

La tasa metabólica en reposo es definida por (Vasudevan, Sreekumari, & Vaidyanathan, 2011) como: “La cantidad de energía requerida para mantener la vida o las funciones vitales”. “Es aproximadamente un 3% más elevado que el metabolismo basal”.

Según (Izquierdo, 2008), “al efectuar una actividad una actividad como montar en bicicleta paseando o subir corriendo escaleras, las demandas energéticas aumentan debido a las demandas internas del cuerpo y en parte al trabajo mecánico realizado por la persona, aunque éste en menor medida”.

Tabla 11: Tasas metabólicas aproximadas por unidad de masa de un hombre de 20 años durante varias actividades

<b>Actividad</b>	<b><math>[(\Delta U/\Delta t)/m]</math> (W.kg<sup>-1</sup>)</b>
Dormir	1
Acostado pero despierto (TMB)	1,2
De pie	1,3
Trabajo ligero	3,3
Montar en bicicleta paseando	3,6
Caminar a 5 km/h	3,9
Golf	4,4
Temblar	7,6
Tenis	7,7
Montar en bicicleta rápido	7,6
Correr a 8 km/h	9,5
Baloncesto	10
Nadar	11
Carrera escaleras arriba	17,7
Correr a 16 km/h	17,7
Sprint	35,4

Fuente: (Izquierdo, 2008)

### 1.5.11) Energía consumida

Se puede estimar, la energía consumida por un individuo, conocido su peso y con la ayuda de la tabla antes expuesta, con la fórmula que expone (Izquierdo, 2008):

$$CE/m = \left| \frac{\Delta U}{\Delta t} - \left( \frac{\Delta U}{\Delta t} \right)_{basal} \right| \quad (4)$$

Siendo:

$CE/m$	Tasa de consumo de energía por unidad de masa	[kcal/kg]
$\frac{\Delta U}{\Delta t}$	Tasa metabólica aproximada (tabla)	[kcal/kg]
$\left( \frac{\Delta U}{\Delta t} \right)_{basal}$	Tasa metabólica basal	[kcal/kg]

El valor obtenido de esta ecuación se la multiplica por la masa del cuerpo del individuo de prueba y por el tiempo que se realiza la actividad. Lo que podemos resumir en la siguiente fórmula:

$$CE_{Actividad} = \left| \frac{\Delta U}{\Delta t} - \left( \frac{\Delta U}{\Delta t} \right)_{basal} \right| m.t \quad (5)$$

### 1.5.12) Estudio de la máquina elíptica.-

Una definición de máquina elíptica de ejercicios, más acorde con la realidad nos la presenta (Tarrío, 2012), quien manifiesta que “Las máquinas elípticas son una mezcla de 3 movimientos que observamos en 3 máquinas diferentes: Step, correr y esquiar. Esta combinación de movimientos es lo que en resumidas cuentas estamos realizando en la elíptica”.

También es necesario saber, cuáles son las ventajas del uso de la máquina elíptica, por lo que (Dimaría, 2013), expone:

“Impacto: Las bicicletas elípticas son un ejercicio de bajo impacto. Esto significa que la máquina elíptica requiere poca fuerza para trabajar la misma rutina que otras máquinas ofrecen. Esto se debe a que tus pies nunca dejan los pedales”.

“Beneficios cardiovasculares: Tanto la bicicleta de ejercicio como el entrenador elíptico son beneficiosos para el sistema cardiovascular. Esto también es así para las bicicletas elípticas. Estas trabajan el tronco superior e inferior de tu cuerpo”.



Figura 1—4: Máquina elíptica

“Pérdida de peso y consumo de calorías: Con las bicicletas elípticas estás quemando muchas calorías en una corta cantidad de tiempo. También puedes ejercitar más tiempo y quemar más calorías que el ejercicio promedio porque estás trabajando ambas mitades del cuerpo simultáneamente”.

“Desarrollo muscular: Las bicicletas elípticas son incluso beneficiosas para desarrollar músculo. Este equipo de ejercicio trabaja ambas mitades de tu cuerpo”.

### **1.5.13) Mecanismos:**

Para (Shigley & Uicker, 2001), quien toma la definición de Reuleaux (1876) define mecanismo como una “combinación de cuerpos resistentes conectados por medio de articulaciones móviles para formar una cadena cinemática cerrada con un eslabón fijo, y cuyo propósito es transformar el movimiento”.

Con respecto a los componentes de un mecanismo, (Shigley & Uicker, 2001) manifiesta que: “Los eslabones de un mecanismo se deben conectar entre sí de una manera tal que transmitan movimiento del impulsor, o eslabón de entrada, al seguidor, o eslabón de salida. Estas conexiones, articulaciones entre los eslabones, se llaman pares cinemáticos,

un eslabón se puede definir también como la conexión rígida entre dos o más elementos de diferentes pares cinemáticos.

Respecto a la suposición de rigidez (Shigley & Uicker, 2001) indica que no puede haber movimiento relativo (cambio de distancia) entre dos puntos arbitrariamente seleccionados en el mismo eslabón.

(Shigley & Uicker, 2001), expresa que: “Reuleaux dividió los pares cinemáticos en superiores e inferiores, y a esta última categoría pertenecen los seis tipos prescritos que se analizarán a continuación. Reuleaux estableció diferencias entre las categorías haciendo notar que en los pares inferiores, tales como la articulación de pasador, los elementos del par hacen contacto en una superficie, en tanto que en los superiores, como por ejemplo la conexión entre una leva y su seguidor, el contacto entre las superficies elementales es en una línea o un punto”.

Para (Shigley & Uicker, 2001) , el par giratorio o revoluto sólo permite rotación relativa y, por consiguiente, posee un grado de libertad, como lo muestra la figura 1-5. Con frecuencia, este par se denomina articulación de pasador o de espiga”.

Respecto a que se entiende por un mecanismo plano (Shigley & Uicker, 2001) menciona: “es aquel en el que todas las partículas describen curvas planas en el espacio y todas estas se encuentran en planos paralelos”.

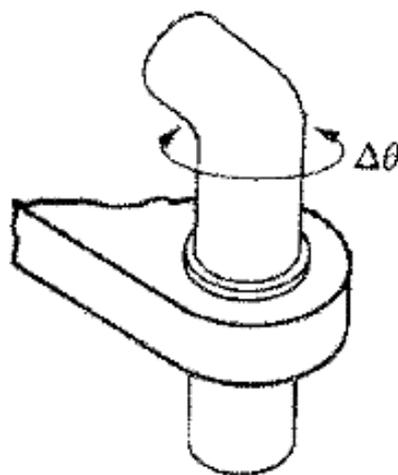


Figura 1—5: Par giratorio  
Fuente: (Shigley & Uicker, 2001)

### 1.5.14) Ley de Grashof:

Según (Shigley & Uicker, 2001), “La ley de Grashof afirma que: para un eslabonamiento plano de cuatro barras, la suma de las longitudes más corta y más larga de los eslabón es no puede ser mayor que la suma de las longitudes de los dos eslabones restantes, sí se desea que exista una rotación relativa continua entre dos elementos”

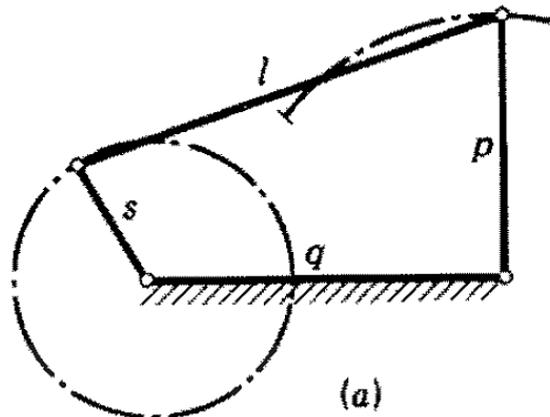


Figura 1—6: Mecanismo de 4 barras

Fuente: (Shigley & Uicker, 2001)

Según (Shigley & Uicker, 2001), la ley de Grashof especifica que uno de los eslabones, en particular el más pequeño, girará continuamente en relación con los otros tres sólo cuando:

$$s + l \leq p + q \quad (6)$$

Según (Shigley & Uicker, 2001), Si no se satisface esta desigualdad, ningún eslabón efectuará una revolución completa en relación con otro.

Con respecto al si existe algún orden o forma de nombrar a los eslabones, (Shigley & Uicker, 2001) expone: “Conviene hacer notar el hecho de que nada en la ley de Grashof especifica el orden en el que los eslabones se conectan, o de los eslabones de la cadena de cuatro barras es el fijo. En consecuencia, se está en libertad de fijar cualquiera de los cuatro que se crea conveniente”.

También (Shigley & Uicker, 2001), manifiesta que “Si el eslabón más corto  $s$  es adyacente al fijo, se obtiene lo que se conoce como eslabonamiento de manivela – balancín”, como se puede observar en la figura 1-7

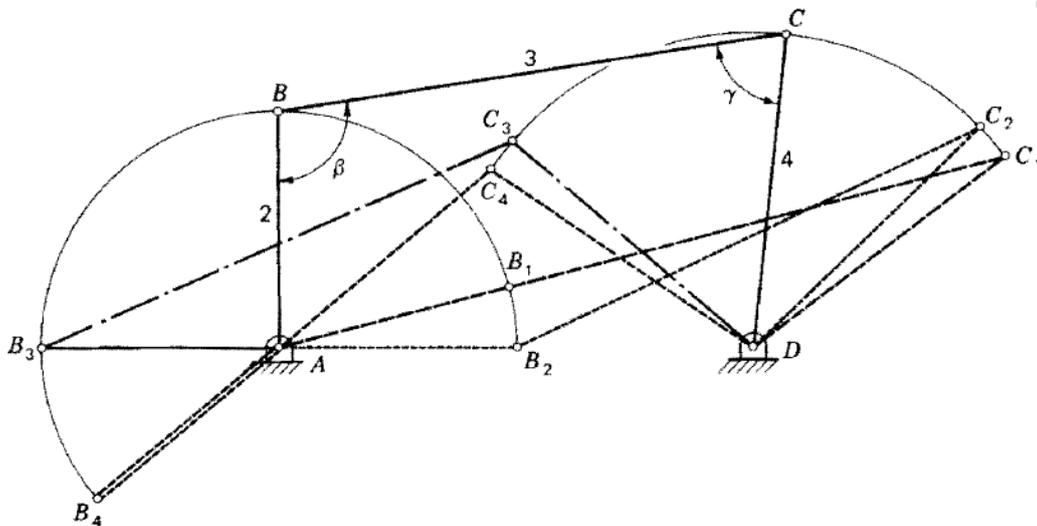


Figura 1—7: Mecanismo manivela - balancín

Fuente: (Shigley & Uicker, 2001)

En la figura (Shigley & Uicker, 2001), expone los principales ángulos que trabajan en el mecanismo destacando a:

“El ángulo  $\gamma$  entre el acoplador y el seguidor se llama ángulo de transmisión. Conforme éste disminuye, la ventaja mecánica se reduce e incluso una cantidad pequeña de fricción hará que el mecanismo se cierre o se trabe. Una regla práctica común es que el eslabonamiento de cuatro barras no se debe usar en la región en la que el ángulo de transmisión sea menor que, por ejemplo, 45 o 50°. Los valores extremos del ángulo de transmisión ocurren cuando la manivela AB está alineada con el eslabón de referencia AD”.

#### 1.5.15 Ecuaciones de cierre en mecanismos:

Como lo manifiesta (Sánchez, 2008), las ecuaciones de cierre son un método vectorial de análisis cinemático del mecanismo, mediante el cual se plantean a los elementos del mecanismo (barras) considerándolos como vectores de posición. Partiendo desde un extremo del mecanismo (origen de coordenadas) y considerando como un polígono de

vectores cuya suma total debe ser nula (cierre del mecanismo), la notación se la puede realizar en términos de los vectores unitarios o la notación compleja de vectores.

### **1.6) Conclusiones del capítulo**

El cuerpo humano bajo ciertas condiciones, se lo puede modelar como una máquina, teniendo en cuenta similitudes mecánicas del cuerpo, así por ejemplo: esqueleto – estructura; articulaciones – juntas (uniones); músculos esqueléticos – motores (parte activa); tendones – cables; ligamentos – refuerzos; huesos – palancas.

## CAPÍTULO 2

### METODOLOGÍA

#### 2.1) Introducción

En el capítulo que se detalla a continuación, tiene como objetivo fundamental introducir la metodología a desarrollar en la investigación. La metodología es un componente de suma importancia en la investigación que se desarrolló, ya que explica cómo se desarrolló la misma. Se detalla la muestra a investigar, que fue de gran aporte a la investigación.

Según (Cegarra, 2011), “Aunque en las ciencias experimentales la experiencia ocupa un lugar preeminente, también es cierto que las construcciones teóricas tienen un papel muy importante. Por ello, se ha indicado que en la actividad científica se distinguen dos procesos: uno *ascendente* que conduce a la formación de entidades teóricas (conceptos leyes y teorías) y otro descendente que consiste en la comprobación experimental de las construcciones teóricas”

Para (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010), “La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno”.

(Hernández, Fernández, & Baptista, 2010), plantean tres enfoques en la investigación científica: cualitativo, cuantitativo y mixto, los mismo que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 12: Enfoques en la investigación científica

Cuantitativo			Cualitativo			Mixto
Características	Proceso	Bondades	Características	Proceso	Bondades	
Mide fenómenos	Secuencial	Generalización de resultados	Explora los fenómenos en profundidad	Inductivo	Profundidad de significados	Combinación del enfoque cuantitativo y el cualitativo
Utiliza estadística	Deductivo	Control sobre fenómenos	No se fundamenta en la estadística	Recurrente	Amplitud	
Prueba hipótesis	Probatorio	Precisión	No se fundamenta en la estadística	Analiza múltiples realidades subjetivas	Riqueza interpretativa	
Hace análisis de causa-efecto	Analiza la realidad objetiva	Replica	No se fundamenta en la estadística	No tiene secuencia lineal	Contextualiza el fenómeno	
		Predicción	Se conduce básicamente en ambientes naturales			

Fuente: (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010)

De lo anteriormente expuesto en la tabla 12, en el presente proyecto usaremos el enfoque mixto ya que para la investigación propuesta lo haremos con un proceso, secuencial, deductivo, probatorio, inductivo, que analiza realidades objetivas y subjetivas, con lo que trataremos de probar la hipótesis planteada.

## **2.2) Diseño de la Investigación**

Como lo menciona (Cegarra, 2011) “La Investigación aplicada comprende un conjunto de actividades que tienen por finalidad el descubrir o aplicar conocimientos científicos nuevos que puedan realizarse en productos y en procesos nuevos utilizables”

Respecto a la investigación tecnológica, (Cegarra, 2011) menciona “La investigación tecnológica, también denominada Desarrollo, tiene por finalidad la invención de artefactos o de procesos con el objeto de ofrecerlos al mercado y obtener un beneficio económico”.

También se menciona que “La investigación tecnológica es esencialmente experimental y puede quedar englobada en la frase “Obtención de conocimientos particulares”. (Cegarra, 2011)

De lo mencionado anteriormente se nota que la investigación que se realizó es del tipo investigación tecnológica ya que se analizó el funcionamiento de la máquina elíptica, se diseñó el sistema mecánico de generación de energía eléctrica, se obtuvo datos mediante un estudio antropométrico de los usuarios con los que se pudo realizar un diagnóstico biomecánico de la energía producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico.

### **2.2.1) Métodos y técnicas de investigación**

Para (Tamayo, 2004) “El método científico es un procedimiento para descubrir las condiciones en que se presentan sucesos específicos, caracterizados generalmente por ser tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica”.

Además Pardinás nos dice: “Método de trabajo científico es la sucesión de pasos que debemos dar para descubrir nuevos conocimientos o, en otras palabras, para comprobar o desaprobar hipótesis que implican o predicen conductas de fenómenos, desconocidos hasta el momento.” (Tamayo, 2004)

Cohen y Nagel nos indican al respecto: “Método científico es la persistente aplicación de la lógica para poner a prueba nuestras impresiones, opiniones o conjeturas, examinando las mejores evidencias disponibles a favor o en contra de ellas”. (Tamayo, 2004)

Por lo que (Tamayo, 2004) concluye que, el método científico es un conjunto de procedimientos por los cuales se plantean los problemas científicos y se ponen a prueba la hipótesis y los instrumentos de trabajo investigativo.

Por lo anteriormente mencionado, en la presente investigación se empleará el “método científico” como método de investigación, ya que el mencionado método aborda los pasos para resolver el problema planteado y procurar demostrar la hipótesis impuesta.

En la investigación propuesta se seguirán los siguientes pasos:

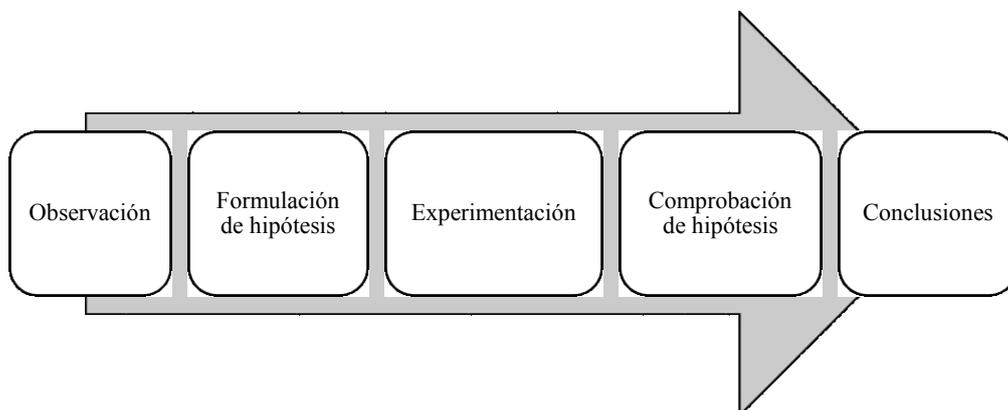


Figura 2—1: Pasos en la investigación

### 2.2.2) Técnicas e instrumentos de la investigación

“El método es el camino teórico, las técnicas constituyen los procedimientos concretos que el investigador utiliza para lograr información. Los métodos son globales y generales, las técnicas son específicas y tienen un carácter práctico y operativo. Las técnicas se subordinan a un método y éste a su vez es el que determina qué técnicas se van a usar.

Aunque el método y la técnica se encuentran íntimamente ligados no se identifican, pues ambos se complementan y son necesarias en la investigación.

Las técnicas constituyen el conjunto de mecanismos, medios o recursos dirigidos a recolectar, conservar, analizar y transmitir los datos de los fenómenos sobre los cuales se investiga.

Para (Herrera & et.al, 2004), las técnicas son procedimientos o recursos fundamentales de recolección de información, de los que se vale el investigador para acercarse a los hechos y acceder a su conocimiento”.

Tabla 13: Técnicas e Instrumentos

<b>TÉCNICA</b>	<b>INSTRUMENTO</b>
Observación	Estudio Audio - visual Ficha de observación
Encuesta	Cuestionario
Investigación bibliográfica	Libros Artículos científicos Journals
Medición	AutoCAD Mechanical Autodesk Inventor V14 Multímetro Medidores antropométricos Base de datos Histogramas

En el proyecto de investigación propuesto se utilizarán varias técnicas e instrumentos para lograr cumplir con los objetivos planteados.

Se utiliza la observación para documentar la rutina de ejercicios en la máquina elíptica, previo a esto se realizará la selección del individuo, tomando mediciones antropométricas de peso, estatura, longitudes de miembros inferiores e inferiores. La documentación de la rutina también se la hace mediante medio audiovisual.

Los conceptos, definiciones y modelos matemáticos utilizadas en el análisis biomecánico serán el resultado del análisis y selección de teorías investigadas en libros y revistas científicas.

El sistema de transmisión de movimiento, generación de potencia será modelado en Autodesk Inventor V15, AutoCAD Mechanical, los cuales nos facilitarán el diseño de los sistemas propuestos.

Con la ayuda del software LabView se diseñará un programa para registrar datos de potencia, voltaje e intensidad de corriente.

### 2.2.3) Población y muestra

Como lo expone (Martínez, 2006), “Las investigaciones científicas pueden ser realizadas a partir de metodologías cuantitativas o cualitativas. La metodología cualitativa consiste en la construcción o generación de una teoría a partir de una serie de proposiciones extraídas de un cuerpo teórico que servirá de punto de partida al investigador, para lo cual no es necesario extraer una muestra representativa, sino una muestra teórica conformada por uno o más casos”.

De lo antes mencionado en la investigación se utilizó como cuerpo teórico la “biomecánica de la energía producida por el movimiento del cuerpo humano, en el pedaleo elíptico”, y la muestra que se extrajo fue de 113 usuarios de la bicicleta elíptica quienes cumplían con el requisito principal que fue tener un buen estado físico.

El estudio se lo realizó con los usuarios de dos gimnasios de la ciudad de Quito, que tienen en sus instalaciones bicicletas elípticas, usadas para rutinas de ejercicios.

La población total es de 120 personas 60 hombres con una edad de  $30 \pm 6,61$  años y 60 mujeres con una edad de  $30 \pm 6,23$  años, todos usuarios de los gimnasios, con quienes se tuvo el acuerdo previo de colaborar en lo referente a responder las encuestas y toma de medidas antropométricas

Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó la siguiente ecuación tomada de [www.uam.es/personal\\_pdi/economicas/amlopez/n\\_optimo.xls](http://www.uam.es/personal_pdi/economicas/amlopez/n_optimo.xls), que es una hoja de cálculo Excel de libre consulta en la web:

$$n = \frac{N(\alpha_c \times 0,5)^2}{1 + [e^2(N - 1)]} \quad (7)$$

Donde:

n = el tamaño de la muestra.

N = tamaño de la población.

$\alpha$ : Nivel de confianza..

e = error muestral

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 14: Cálculo de la muestra

error	2,0%
tamaño población	120
nivel de confianza	95%
tamaño de la muestra	114

Para la selección de la muestra, se optará por seleccionar a individuos que no presenten peso bajo, ni obesidad (en cualquier grado), para esto se calculó el índice de masa corporal con lo que ayudó a la selección.

Luego de la selección mediante IMC (Anexo 2), se llegó a una muestra de 113 individuos, por lo que se recalculó el error muestral obteniendo:

Tabla 15: Recálculo de la muestra

tamaño muestra	113
tamaño población	120
nivel de confianza	95%
error muestral	2,236%

Por lo mencionado anteriormente, la presente investigación se la realizó con una muestra de 113 usuarios de bicicleta elíptica de dos gimnasios de la ciudad de Quito.

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1) Diseño del Experimento:

Según (Díaz, 2009) manifiesta que “diseño estadístico de experimentos es el proceso de planear todos los pasos que deben darse, y el orden que debe seguirse, en la recolección y posterior análisis de la información requerida para estudiar un problema de investigación.”

Respecto al grado de dificultad que se ponga al diseño (Díaz, 2009), manifiesta que: “El de propósito del diseño experimental es la obtención del máximo de información con el mínimo de costo y el máximo de eficiencia. En muchas ocasiones, estas condiciones se cumplen al seleccionar diseños simples, sencillos de aplicar y fáciles de analizar. Ahora bien un diseño es eficiente cuando proporciona más conocimientos y mayor precisión con un número menor de datos.”

En lo referente a las fases del diseño de experimentos, lo resumiremos en la tabla 16:

Tabla 16: Fases y Contexto teórico del diseño del experimento

Fase	Contexto teórico
Reconocimiento y formulación del problema	La formulación surge de la discusión, donde los integrantes participan con el conocimiento de las posibles causas que originan el fenómeno. Reconocer si el problema requiere de experimentación
Selección de los factores y sus niveles	El investigador selecciona los factores o variables independientes que van a ser analizados, de acuerdo con el conocimiento del fenómeno y la posibilidad de controlarlo. Especificar los valores cuantitativos y cualitativos, y escoger sus niveles de modo que puedan combinarse y diferenciarse
Selección de las variables de respuesta	La variable dependiente o de respuesta debe ser aquella que proporcione información real acerca del problema en estudio. Es necesario indicar como va a medirse esa variable y que precisión tendrán las mediciones.
Selección del diseño experimental	Especificar los niveles de los factores y las variables de respuesta e identificar las unidades experimentales. Un experimento se diseña buscando eficiencia y optimización. Determinar tamaño de la muestra y asignar los tratamientos a las unidades experimentales. (Aleatorización).
Realización del experimento	Es el proceso de recolección de datos; incluye el control del plan trazado inicialmente y debe prestarse atención al mecanismo de aleatorización, al manejo de los instrumentos de medida, al reconocimiento de las unidades experimentales y fundamentalmente al mantenimiento en la forma más uniforme posible de las condiciones ambientales del experimento
Análisis de los datos	Los estadísticos no se cansan de recalcar que el análisis de los datos no pueden separarse del diseño, o sea, de la forma como estos fueron tomados
Conclusiones y recomendaciones	Después de analizar los datos se establecen las inferencias estadísticas. Estas deben traducirse al lenguaje del experimento para darles la correspondiente interpretación física y evaluar su significación práctica. Un buen experimento debe generar más preguntas de las que responde contribuyendo así al proceso iterativo en la adquisición del conocimiento.

Fuente: (Díaz, 2009)

Tabla 17: Matriz de actividad – indicador de logro – medio de verificación, parte experimental

Objetivo específico	Actividad	Indicador de logro	Medio verificación
Modelar la energía producida en una rutina de entrenamiento con la bicicleta elíptica. Usando el análisis biomecánico del movimiento de miembros inferiores en el pedaleo elíptico	A1: Estudio antropométrico de los usuarios de la bicicleta elíptica de 2 gimnasios de la ciudad de Quito	Establecer rangos de medidas antropométricas de usuarios de la bicicleta elíptica	Base de datos antropométricos. Muestra de estudio
	A2: Estudio biomecánico del movimiento de piernas en le pedaleo elíptico	Caracterizar el movimiento de piernas en el pedaleo elíptico, tomando en cuenta posiciones, ángulos, velocidad angular.	Reporte: posición, velocidad, aceleración
	A3: Simulación del movimiento de movimiento de piernas en el pedaleo elíptico, como un mecanismo de 4 barras que cumple la ley de Grashof	Disponer de una ecuación que gobierne el movimiento de piernas en el pedaleo elíptico	Ecuación de la energía cinética del movimiento de piernas en el pedaleo elíptico
	A4: Simulación del movimiento de movimiento de piernas en el pedaleo elíptico, mediante software (Autodesk Force Effect Kinnetics)	Disponer de parámetros comparativos de la energía cinética del movimiento de piernas en el pedaleo elíptico para comprobar la validez de los cálculos analíticos	Reporte: posición, velocidad, aceleración
	A5: Análisis mecánico de la máquina elíptica.	Diseño mecánico del sistema de transmisión del movimiento y diseño del sistema de generación eléctrica	Reporte de diseño
Analizar los resultados obtenidos y proyectar el uso de la energía humana con énfasis en la transformación a energía eléctrica	A1: Comparar resultados teóricos y experimentales	Establecer parámetros comparativos respecto a la energía cinética teórica y energía cinética experimental	Reporte
	A2: Comparar la energía cinética obtenida con el gasto energético	Establecer parámetros comparativos respecto al balance energético del sistema. Energía Entrada = Energía Salida	Reporte

Tabla 18: Matriz: Fase y procedimiento del diseño del experimento

Fase	Procedimiento
Reconocimiento y formulación del problema	¿Cuánta energía producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico, se puede transformar en energía eléctrica?
Selección de los factores y sus niveles	<u>Variable independiente</u> : Biomecánica de la energía cinética producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico

	Factores a analizar: Dinámica del pedaleo elíptico (análisis del movimiento de piernas), análisis energético
Selección de las variables de respuesta	<p><u>Variable dependiente</u>: Generación de Energía eléctrica CC.</p> <p><u>Cálculo analítico</u>: Simulación del sistema cintura – muslo – pantorrilla – pedal, como un mecanismo de 4 barras que cumple con la ley de Grashof.</p> <p>Determinación de la ecuación de energía cinética del sistema.</p> <p>Calculo mediante software: Simulación del mecanismo, obtención de posiciones limite – velocidades – aceleraciones.</p> <p><u>Medición experimental</u>: mediante el sistema de generación y transformación de energía y con el programa desarrollado en Labview se obtendrá datos tanto de voltaje, corriente de entrada y corriente de carga de batería.</p>
Selección del diseño experimental	Diseño cuasi – experimental
Realización del experimento	<p>Experimento:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>i. Cálculo del tamaño de muestra (# individuos)</li> <li>ii. Análisis estadístico de las mediciones antropométricas (manipulación de variables).</li> <li>iii. Selección de la muestra</li> <li>iv. Modelación del movimiento (energía cinética – método analítico)</li> <li>v. Medición experimental</li> </ol>
Análisis de los datos	Análisis estadístico
Conclusiones y recomendaciones	Interpretación de resultados analíticos y experimentales – formulación de conclusiones.

### 3.1.1) Planificación del experimento

Estudio	Indicador	Variables:
Antropométrico	Población - Muestra	Sexo
	Análisis IMC (índice de masa corporal)	Peso Estatura
	Recalculo de la muestra	IMC
Biomecánico del movimiento de miembros inferiores del cuerpo humano	Simulación de miembros inferiores del cuerpo humano como un mecanismo que cumple la ley de Grashof	Longitud muslo – rodilla Longitud rodilla – pie
	Calculo de momentos de inercia de miembros inferiores, mediante Autodesk Inventor	Perímetro muslos y pantorrillas
	Determinación de posición angular inicial y ángulos límite de movimiento	Ángulos de movimiento: posición inicial y final

### 3.1.2) Definición de variables

<b>Variable: SEXO</b>	
Denominación	Sexo
Tipo	Independiente
Naturaleza	Cualitativa
Medición	Nominal
Indicador	Identidad Sexual
Unidad de medida	%Mujeres; %Hombres
Instrumento	Base de datos
Definición conceptual	Condición orgánica, masculina o femenina, de los animales y las plantas

<b>Variable: PESO</b>	
Denominación	Peso
Tipo	Independiente
Naturaleza	Cualitativa
Medición	Discontinua
Indicador	Fuerza
Unidad de medida	kilogramos
Instrumento	Base de datos
Definición conceptual	Fuerza con que la Tierra atrae a un cuerpo

<b>Variable: EDAD</b>	
Denominación	Edad
Tipo	Independiente
Naturaleza	Cualitativa
Medición	De Razón
Indicador	Fecha de nacimiento
Unidad de medida	Años
Instrumento	Base de datos
Definición conceptual	Tiempo que ha vivido una persona

<b>Variable: ESTAURA</b>	
Denominación	Estatura
Tipo	Independiente
Naturaleza	Cualitativa
Medición	De Razón
Indicador	Altura
Unidad de medida	metros
Instrumento	Base de datos
Definición conceptual	Altura, medida de una persona desde los pies a la cabeza

<b>Variable: LONGITUD</b>	
Denominación	Longitud
Tipo	Independiente
Naturaleza	Cualitativa
Medición	Numérica
Indicador	Distancia
Unidad de medida	metros
Instrumento	Base de datos
Definición conceptual	Distancia entre dos puntos

<b>Variable: PERÍMETRO</b>	
Denominación	Perímetro
Tipo	Independiente
Naturaleza	Cualitativa
Medición	Numérica
Indicador	Distancia
Unidad de medida	metros
Instrumento	Base de datos
Definición conceptual	Contorno de una superficie

<b>Variable: ÁNGULO</b>	
Denominación	Ángulo
Tipo	Independiente
Naturaleza	Cualitativa
Medición	Numérica
Indicador	Distancia angular
Unidad de medida	metros
Instrumento	Base de datos
Definición conceptual	Razón entre la longitud del arco de circunferencia entre dos semirrectas y su distancia al centro o vértice de las mismas.

<b>Variable: IMC (Índice de masa corporal)</b>	
Denominación	IMC
Tipo	Independiente
Naturaleza	Cualitativa
Medición	De Razón
Indicador	Grado de obesidad
Unidad de medida	kg/m <sup>2</sup>
Instrumento	Base de datos
Definición conceptual	Es una medida de asociación entre la masa y la talla del individuo (grado de obesidad)

Para (Suaverza & Haa, 2009) mediante la antropometría se realiza la medición del tamaño corporal, el peso, las proporciones, que constituyen indicadores sensibles de la salud. De hecho es constituyente indispensable en la evaluación del estado de nutrición de los individuos.

Respecto a las medidas antropométricas (Mondelo, Torrado, & Bombardó, 2010) manifiesta que, “las medidas que debemos poseer de la población dependerá de la aplicación que le queramos dar a las mismas”. Añade también que las medidas adicionales serán todas aquellas que se precisen para un objetivo concreto

Según (Pérez & Bernal, 2006)(Arroyo, y otros, 2007) (Flores, y otros, 2009) y La norma del Programa Biológico Internacional 5, estandariza que las variables antropométricas adecuadas para estudios biomecánicos son: Peso (kg), talla (m), circunferencias de miembros (m) e índice de masa corporal (IMC) ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ).

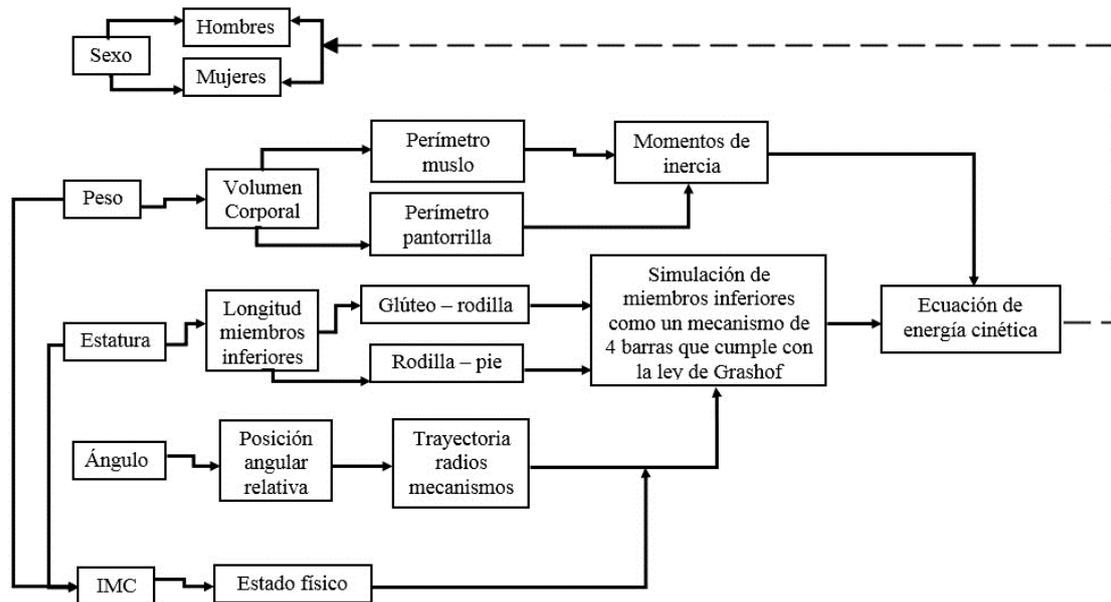
Para lograr un estudio biomecánico o estudio de seres vivos desde el punto de vista de la mecánica, se busca relacionar magnitudes (variables antropométricas), buscar explicaciones a comportamientos observables, aplicando al objeto de estudio fenómenos, modelos y leyes físicas. (Aguilar, Biomecánica: La Física y la Fisiología, 2000)

De lo antes expuesto, en la presente investigación se utiliza las variables antropométricas básicas: Peso, talla (longitudes de miembros), circunferencias de miembros inferiores (perímetros), índice de masa corporal, con el fin de relacionarlas y obtener el modelo matemático de ecuación de energía cinética del movimiento de miembros inferiores en el pedaleo elíptico.

En el organizador mostrado se expone la relación entre las variables medibles en el proceso experimental seguido para obtener la ecuación de energía cinética del movimiento de miembros inferiores en el pedaleo elíptico.

Se nota que las variables peso, estatura, longitud (miembros inferiores), perímetros (muslos y pantorrillas), ángulos (trayectorias angulares) e índice de masa corporal, se encuentran estrechamente ligados en la obtención de la ecuación de energía cinética, ya que forman parte del proceso de cálculo, tal como se detalla en el diseño del experimento expuesto.

### 3.1.3) Relación entre variables:



Mientras que la variable que no interviene en el modelo matemático es la variable “sexo”, es a la que se le aplica el modelo matemático obtenido.

Como lo manifiesta (Zurita, 2009) “el sexo masculino supera al femenino en prácticamente todas las modalidades deportivas”. Las diferencias más importantes están relacionadas con el tamaño corporal y la composición orgánica.

También manifiesta que la acción del ejercicio como prevención, tratamiento y rehabilitación de un considerable número de afecciones viene a ser exactamente igual en ambos sexos. (Zurita, 2009).

La fisiología del sistema osteo-muscular también plantea puntos a considerar, ya que la mujer tiene entre 20% a 35% menos tejido muscular que los hombres, los cuales deben su condición al hecho de que la testosterona es la causa del incremento en la masa muscular, al incidir sobre la formación ósea y en la síntesis proteínica que favorece el desarrollo del tejido de este sistema. En cambio, por la estimulación de los estrógenos, la mujer tiene mayor cantidad de masa grasa, que va de 7% a 10% mayor que en los hombres con aproximadamente un 10% menos masa muscular, lo que les proporciona, hipotéticamente, entre un 40 y 60% de menos fuerza que el hombre. (García & otros, 2008).

Otro aspecto importante a considerar sobre esta diferencia, es el relacionado con el tamaño corporal asociado a cada género, a partir del cual se ha reportado que cuando la fuerza de la parte inferior del cuerpo se expresa en relación con la masa corporal de las mujeres, éstas son entre un 5 y 15% más débiles, pero cuando dicha relación se expresa en términos de la masa magra tal diferencia desaparece, indicando que las cualidades innatas de los músculos y sus mecanismos de control motor son similares para uno y otro sexo (Wilmore y Costill, 1998).

La mujer, considerada el sexo débil en una época, está acortando las diferencias frente al hombre en el deporte. En los últimos años, producto del empeño, el entrenamiento y la conquista de logros en cuanto a oportunidades va cerrando la brecha de las diferencias entre los géneros en el rendimiento deportivo. (García & otros, 2008).

La importancia de la variable género también se pone de manifiesto la consolidación de dos formas culturales de practicar deporte, una más orientada a la competición y a la relación social, y otra más centrada en los valores estético-corporales. La primera forma se ajustaría al sector masculino, y la segunda tendría más que ver con los hábitos desarrollados por un amplio segmento de población femenina, (García Ferrando, 1.996).

De lo expuesto anteriormente, se nota que existe una marcada diferencia entre hombres y mujeres en referencia a la capacidad de hacer ejercicio tanto aeróbico como anaeróbico y de ahí la razón fundamental de establecer dos grupos de estudio, a los mismos que se aplicará la ecuación de energía cinética.

La actividad física en hombres y mujeres desciende conforme aumentaba la edad, esta disminución levemente empieza entre 20 a 29 años, ya que fisiológicamente ya no hay desarrollo, y fue disminuyendo en 18.1 % en el grupo de 50 a 59 años en hombres, y 13.5 % desde 40 a 49 años en mujeres. (Acosta, Aranda, & Reyes, 2006).

De lo expuesto podemos concluir que la variable edad no es influyente en la parte experimental ya que toda la población no supera los 50 años en hombres y 40 años en mujeres, es decir no es notorio el descenso en la actividad física.

### **3.2) Mediciones y cálculos**

Se arranca con un análisis de la población a quienes se les tomó las mediciones antropométricas básicas como son peso y estatura, longitud glúteo – rodilla, longitud

rodilla – pie, longitud pierna (tomada en la fase de ejercicio) además de la edad, obteniendo los resultados mostrados en el anexo 2, los mismos que resumen en la tabla 19, por género:

Tabla 19: Mediciones antropométricas básicas por género

	Edad (años)	Estatura (m)	Peso (kg)	Largo glúteo - rodilla (cm)	altura rodilla - pie (cm)	Largo pierna (cm)
Mujeres	30 ± 6,2	1,58 ± 0,07	59,8 ± 7,2	46,63 ± 2,31	41,57 ± 1,86	88,11 ± 4,11
Hombres	30 ± 6,6	1,72 ± 0,04	76 ± 6,7	51,95 ± 2,14	50,04 ± 1,83	101,88 ± 3,92

Se calculó el índice de masa corporal a toda la población (60 mujeres y 60 hombres) y se procedió a categorizar en: peso bajo, normal, sobre peso, obesidad grado 1: (Anexo 3)

Tabla 20: Categorización de mujeres según IMC

Condición	# personas	%
Peso bajo	2	3,33%
Normal	38	63,33%
Sobrepeso	20	33,33%
Obesidad leve	0	0,00%
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>100,00%</b>

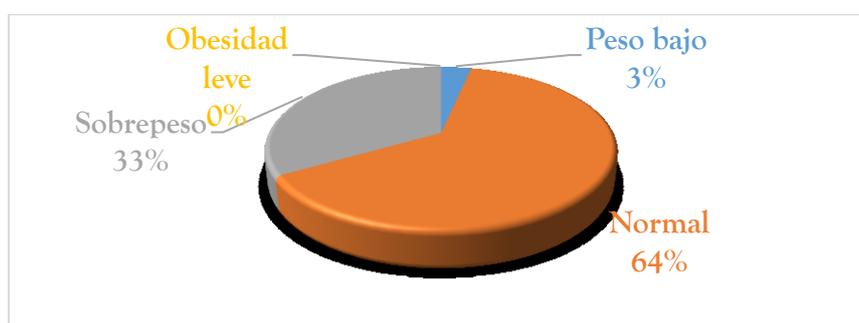


Figura 3—1: Clasificación de individuos %IMC – mujeres

Tabla 21: Categorización de hombres según IMC

<b>Condición</b>	<b># personas</b>	<b>%</b>
Peso bajo	0	0,00%
Normal	28	46,67%
Sobrepeso	27	45,00%
Obesidad leve	5	8,33%
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>100,00%</b>

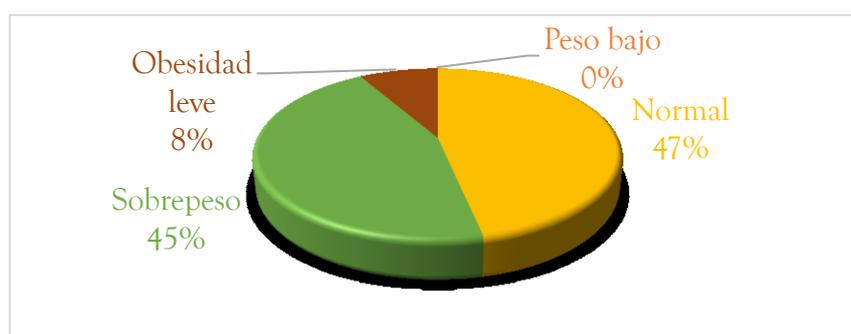


Figura 3—2: Clasificación de individuos %IMC – hombres

De lo anterior expuesto, no se tomó en cuenta para la presente investigación a personas con obesidad leve ya que en los mencionados individuos existe un posible riesgo de patologías graves, como la diabetes, enfermedades cardiovasculares (Bastos, González, Molinero, & Salguero del Valle, 2005), y tampoco a los individuos con peso bajo ya que significa un estado de desnutrición y no tienen la energía necesaria (Berry, 2013):

Tabla 22: Individuos descartados en la investigación

<b>Individuo</b>	<b>IMC (condición)</b>
M44 – M54	Peso bajo
H8 – H28 – H29 – H32 – H45	Obesidad leve

Utilizando la fórmula de Harris – Benedict, se calculó el gasto energético total (anexo 4), con las siguientes condiciones:

Tabla 23: Condiciones para el cálculo del gasto energético

Harris - Benedict	$GER(kcal)=655,1+[9,533 \times \text{peso}(kg)]+[1,85 \times \text{talla}(cm)] - [4,676 \times \text{edad}(\text{años})]$
AF (FAO/OMS)	$GER \times 1,7$
Efecto termogénico	$ETA=0,1 \text{ GER}$

Obteniendo para mujeres  $2199,83 \pm 134,92$  kcal y para hombres  $2799,56 \pm 152,01$ .

Aplicando la fórmula (5) planteada por (Izquierdo, 2008): Se calculó la energía consumida (anexo 5), tanto para hombres como para mujeres, para una rutina de pedaleo de 1800 segundos (30 minutos), con una tasa metabólica de 2,4 (W/kg) sugerida en (Izquierdo, 2008), obteniendo para mujeres  $61,65 \pm 7,22$  kcal y para hombres  $77,29 \pm 5,62$ .

Se realizó las mediciones antropométricas de piernas tanto para mujeres y hombres, consiguiendo los resultados que se presentan en el (anexo 6), y se resumen en la tabla 22:

Tabla 24: Mediciones antropométricas piernas

Individuo	Largo glúteo - rodilla (cm)	altura rodilla - pie (cm)	Largo pierna (trabajo) (cm)
Mujeres	$46,63 \pm 2,31$	$41,57 \pm 1,86$	$88,11 \pm 4,11$
Hombres	$51,95 \pm 2,14$	$50,04 \pm 1,83$	$101,88 \pm 3,92$

Análisis de las condiciones de Grashof para la simulación del mecanismo se detallan en las tablas 25, 26, 27 y 28:

Tabla 25: Condiciones de Grashof - mujeres

		medición	máximo	mínimo
Lg-r	Largo glúteo - rodilla	$46,63 \pm 2,31$	48,94	44,32
Lr-p	Largo rodilla - pie	$41,57 \pm 1,86$	43,43	39,71
Lg-p	Largo glúteo - pie	$88,11 \pm 4,11$	92,22	84

Tabla 26: Condiciones de Grashof - hombres

		medición	máximo	mínimo
Lg-r	Largo glúteo - rodilla	$51,95 \pm 2,14$	54,09	49,81
Lr-p	Largo rodilla - pie	$50,04 \pm 1,83$	51,87	48,21
Lg-p	Largo glúteo - pie	$101,88 \pm 3,92$	105,8	97,96

Tabla 27: Mediciones eslabones - mecanismo

		Hombres		Mujeres	
		máximo	mínimo	máximo	mínimo
Eslabón más largo (L)	Longitud glúteo - pie - (pedal)	90,8	82,96	77,22	69
Eslabón más corto (S)	Largo pedal	15	15	15	15
Eslabón intermedio 1 (n)	Longitud glúteo - rodilla	54,09	49,81	48,94	44,32
Eslabón intermedio 2 (m)	Longitud rodilla pie	51,87	48,21	43,43	39,71

Tabla 28: Cumplimiento Grashof

Mujeres			Condición Grashof
máximo	L + S	92,22	cumple, manivela – balancín
máximo	n + m	92,37	
mínimo	L + S	84	cumple, manivela – balancín
mínimo	n + m	84,03	
Hombres			Condición Grashof
máximo	L + S	105,8	cumple, manivela-balancín
máximo	n + m	105,96	
mínimo	L + S	97,96	cumple, manivela-balancín
mínimo	n + m	98,02	

### 3.3) Cálculo del mecanismo:

El mecanismo que se presenta en la figura 3-3, corresponde a la simulación de la pierna incluido el pedal, el mismo que describirá el movimiento de miembros inferiores en el pedaleo elíptico:

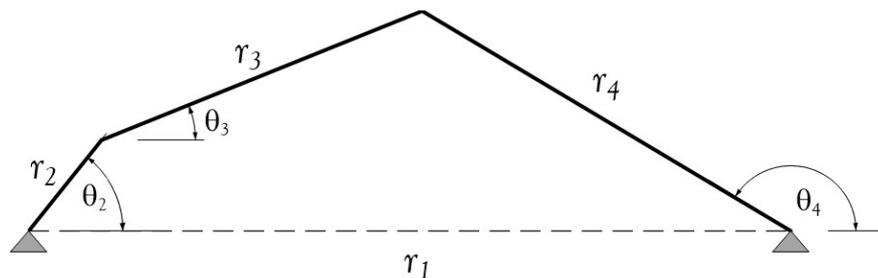


Figura 3—3: Esquema del mecanismo: muslo – pantorrilla – pedal

Donde:

- $r_1$ : Longitud cadera – eje de giro pedal
- $r_2$ : Radio del pedal
- $r_3$ : Longitud rodilla – pie
- $r_4$ : Longitud cadera – rodilla

Para el análisis, como lo que expone (Cardona & Clos, 2001) consideramos al sistema como una cadena cinemática cerrada y los miembros del mismo son sólidos y rígidos, es decir no se deforman durante el análisis y en las juntas se consideran, pares cinemáticos de revolución.

Además (Cardona & Clos, 2001) demostró que, el mecanismo planteado cumple con la ley de Grashof (manivela – balancín).

Para el presente análisis se utilizará el proceso descrito por (Riera, 2006), conocido como entrada – salida (ecuaciones de cierre del mecanismo).

En la figura 3-4 se detalla el diagrama de posición del mecanismo a analizar:

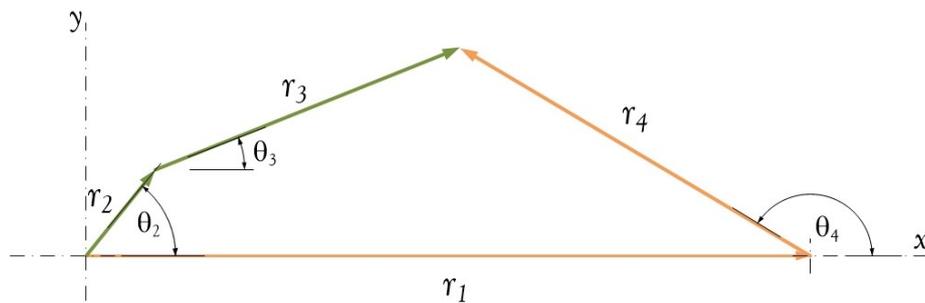


Figura 3—4: Diagrama de posiciones – mecanismo

Utilizando la notación compleja, se plantea las ecuaciones de cierre para el sistema:

$$r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} = r_4 e^{i\theta_4} + r_1 \quad (8)$$

$$r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} - r_4 e^{i\theta_4} - r_1 = 0 \quad (9)$$

Desarrollando la parte real e imaginaria tenemos:

$$\begin{cases} r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \theta_3 - r_4 \cos \theta_4 - r_1 = 0 \\ r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin \theta_3 - r_4 \sin \theta_4 = 0 \end{cases}$$

Se toma como ángulo de entrada (que se puede medir) a  $\theta_2$ , y desarrollando parte real como parte imaginaria, se tiene como incógnitas  $\theta_3$  y  $\theta_4$ .

En la tabla 29 se detallan las mediciones de  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $r_4$ , correspondientes a las medidas antropométricas (máximas), tanto para hombres como para mujeres.

Tabla 29: Medición radios de posición - mecanismo

	Mujeres (cm)	Hombres (cm)	Mujeres (m)	Hombres (m)
$r_1$	77,2	91	0,772	0,91
$r_2$	15	15	0,15	0,15
$r_3$	43,4	51,9	0,434	0,519
$r_4$	48,9	54,1	0,489	0,541

Por lo que tenemos, para mujeres:

$$\begin{cases} 0,15 \cos \theta_2 + 0,434 \cos \theta_3 - 0,489 \cos \theta_4 - 0,772 = 0 \\ 0,15 \sin \theta_2 + 0,434 \sin \theta_3 - 0,489 \sin \theta_4 = 0 \end{cases}$$

Para hombres:

$$\begin{cases} 0,15 \cos \theta_2 + 0,519 \cos \theta_3 - 0,541 \cos \theta_4 - 0,91 = 0 \\ 0,15 \sin \theta_2 + 0,519 \sin \theta_3 - 0,541 \sin \theta_4 = 0 \end{cases}$$

Para determinar los valores que cierran el mecanismo, se encontró  $\theta_3$  y  $\theta_4$ , de forma gráfica, dibujando el mecanismo en AutoCAD y acotando los ángulos correspondientes, los mismos que están detallados en la tabla 30 y con estos ángulos se comprueba la veracidad de la ecuación de cierre.

Tabla 30: Ángulos de cierre del mecanismo

Mujeres:			Hombres:		
$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$
0	51,5	136	0	45	136,6
30	42,5	131,2	30	37,5	133,5
60	32,2	132,4	60	29,4	135
90	22,7	139,5	90	21	142
120	14,5	150,8	120	13,4	152,6
150	7,3	164,6	150	6	165,5
180	2,8	177,5	180	1	179
210	16,8	174,1	210	15	174
240	31,9	168,2	240	28,5	168,2
270	44,7	161,5	270	39,5	160,5

300	53,3	153,5	300	47	153
330	55,8	144,5	330	48,5	143,8
360	51,5	136	360	45	136,6

Derivando la ecuación respecto al tiempo, obtenemos la ecuación de velocidad:

$$i\omega_2 r_2 e^{i\theta_2} + i\omega_3 r_3 e^{i\theta_3} - i\omega_4 r_4 e^{i\theta_4} = 0$$

Desarrollando la parte real e imaginaria tenemos:

$$\begin{cases} -r_2 \sin \theta_2 \omega_2 - r_3 \sin \theta_3 \omega_3 + r_4 \sin \theta_4 \omega_4 = 0 \\ r_2 \cos \theta_2 \omega_2 + r_3 \cos \theta_3 \omega_3 - r_4 \cos \theta_4 \omega_4 = 0 \end{cases}$$

Al igual que el sistema anterior,  $\omega_2$  es conocida, la misma que se hizo a base de experimentación (anexo 7) y se trabajará con una velocidad media de 53 rpm = 5,55 rad/s

Por lo que tenemos para mujeres:

$$\begin{cases} -0,8325 \sin \theta_2 - 0,434 \sin \theta_3 \omega_3 + 0,489 \sin \theta_4 \omega_4 = 0 \\ 0,8325 \cos \theta_2 + 0,519 \cos \theta_3 \omega_3 - 0,541 \cos \theta_4 \omega_4 = 0 \end{cases}$$

Para hombres tenemos:

$$\begin{cases} -0,8325 \sin \theta_2 - 0,519 \sin \theta_3 \omega_3 + 0,541 \sin \theta_4 \omega_4 = 0 \\ 0,8325 \cos \theta_2 + 0,519 \cos \theta_3 \omega_3 - 0,541 \cos \theta_4 \omega_4 = 0 \end{cases}$$

Derivado por segunda vez la ecuación, obtenemos la ecuación de aceleración:

$$-\omega_2^2 r_2 e^{i\theta_2} + i\alpha_2 r_2 e^{i\theta_2} - \omega_3^2 r_3 e^{i\theta_3} + i\alpha_3 r_3 e^{i\theta_3} + \omega_4^2 r_4 e^{i\theta_4} - i\alpha_4 r_4 e^{i\theta_4} = 0$$

Desarrollando la parte real y parte imaginaria, obtenemos:

$$\begin{cases} -r_2 \cos \theta_2 \omega_2^2 - r_2 \sin \theta_2 \alpha_2 - r_3 \cos \theta_3 \omega_3^2 - r_3 \sin \theta_3 \alpha_3 + r_4 \cos \theta_4 \omega_4^2 + r_4 \sin \theta_4 \alpha_4 = 0 \\ -r_2 \sin \theta_2 \omega_2^2 + r_2 \cos \theta_2 \alpha_2 - r_3 \sin \theta_3 \omega_3^2 + r_3 \cos \theta_3 \alpha_3 + r_4 \sin \theta_4 \omega_4^2 - r_4 \cos \theta_4 \alpha_4 = 0 \end{cases}$$

Para mujeres:

$$\begin{cases} -4,62 \cos \theta_2 - 0,15 \sin \theta_2 \alpha_2 - 0,434 \cos \theta_3 \omega_3^2 - 0,434 \sin \theta_3 \alpha_3 + 0,489 \cos \theta_4 \omega_4^2 + 0,489 \sin \theta_4 \alpha_4 = 0 \\ -4,62 \sin \theta_2 + 0,15 \cos \theta_2 \alpha_2 - 0,434 \sin \theta_3 \omega_3^2 + 0,434 \cos \theta_3 \alpha_3 + 0,489 \sin \theta_4 \omega_4^2 - 0,489 \cos \theta_4 \alpha_4 = 0 \end{cases}$$

Para hombres:

$$\begin{cases} -4,62 \cos \theta_2 - 0,15 \sin \theta_2 \alpha_2 - 0,541 \cos \theta_3 \omega_3^2 - 0,541 \sin \theta_3 \alpha_3 + 0,519 \cos \theta_4 \omega_4^2 + 0,519 \sin \theta_4 \alpha_4 = 0 \\ -4,62 \sin \theta_2 + 0,15 \cos \theta_2 \alpha_2 - 0,541 \sin \theta_3 \omega_3^2 + 0,541 \cos \theta_3 \alpha_3 + 0,519 \sin \theta_4 \omega_4^2 - 0,519 \cos \theta_4 \alpha_4 = 0 \end{cases}$$

Reemplazando los valores de cada ángulo en los sistemas de ecuaciones planteados se obtienen los resultados que se expresan en las tablas 31 y 32:

Resultados mujeres:

Tabla 31: Ángulos - Mujeres

$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$\omega_3$	$\omega_4$	$\alpha_3$	$\alpha_4$
0,00	0,90	2,37	-1,337	-1,345	-11,69	5,19
0,52	0,74	2,29	-1,87	-0,364	-3,58	12,14
1,05	0,56	2,31	-1,86	0,82	1,77	13
1,57	0,40	2,43	-1,546	1,796	-11,73	23
2,09	0,25	2,63	-1,405	2,387	7,69	0,07
2,62	0,13	2,87	-1,241	2,622	-3,06	10,13
3,14	0,05	3,10	0,85	0,95	-27,79	24,21
3,67	0,29	3,04	2,91	-1,01	1,54	-2,68
4,19	0,56	2,94	2,65	-1,17	-2,56	1,5
4,71	0,78	2,82	2,04	-1,36	-6,73	-3,55
5,24	0,93	2,68	1,07	-1,59	-11,19	-3,67
5,76	0,97	2,52	-0,19	-1,71	-13,79	2,02
6,28	0,90	2,37	-1,31	-1,32	-13,7	-1,24

Resultados hombres:

Tabla 32: Ángulos - Hombres

$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$\omega_3$	$\omega_4$	$\alpha_3$	$\alpha_4$
0,00	0,79	2,38	-1,092	-1,083	-8,88	5,96
0,52	0,65	2,33	-1,575	-0,210	-1,14	8,54
1,05	0,51	2,36	-1,617	0,815	1,16	10,43
1,57	0,37	2,48	-1,471	1,664	10,78	0,66
2,09	0,23	2,66	-1,341	2,267	0,36	6,89
2,62	0,10	2,89	-1,248	2,601	-0,07	4,28
3,14	0,02	3,12	0,785	0,785	18,2	21,4

3,67	0,26	3,04	2,633	-1,120	0,07	-1,4
4,19	0,50	2,94	1,463	-0,477	3,26	-9,32
4,71	0,69	2,80	1,763	-1,382	-5,81	-2,96
5,24	0,82	2,67	0,922	-1,542	-7,46	0,97
5,76	0,85	2,51	-0,174	-1,517	10,92	0,56
6,28	0,79	2,38	-1,099	-1,084	-8,31	6,59

### 3.4) Cálculo de momentos de inercia de extremidades inferiores.

Para el mecanismo planteado anteriormente lo consideramos como un cuerpo que no se traslada sino que sus componentes rotan, es decir es considerado un sistema que posee solamente energía cinética rotacional.

Se observa que la energía cinética total del cuerpo consta de la suma escalar de la energía cinética traslacional del cuerpo,  $\frac{1}{2}mv_G^2$ , y de la energía cinética rotacional con respecto a su centro de masa,  $\frac{1}{2}I_G\omega^2$ .

Según (Hibbeler, 2015), debido a que la energía es una cantidad escalar, la energía cinética total para un sistema de cuerpos rígidos conectados es la suma de las energías cinéticas de todas sus partes móviles.

Como se lo mencionó anteriormente, el sistema que se analizó no se traslada, por lo que se usará la ecuación de energía cinética rotacional, que será la ecuación de energía del sistema:

$$E_{C-R} = \frac{1}{2} I_G \omega^2 \quad (10)$$

Donde:

$E_{C-R}$	Energía cinética rotacional	[J]
$I_G$	Momento de Inercia	[m <sup>4</sup> ]
$\omega$	Velocidad angular	[rad/s]

Para el cálculo del momento de inercia, usaremos las mediciones de los perímetros de muslos y pantorrillas (anexo 8), con los que se obtuvo los radios. Con los que se modeló en Autodesk Inventor Profesional 2015 como troncos de cono, como se observa en la figura 3-5 y se obtuvo las magnitudes de los momentos de inercia.

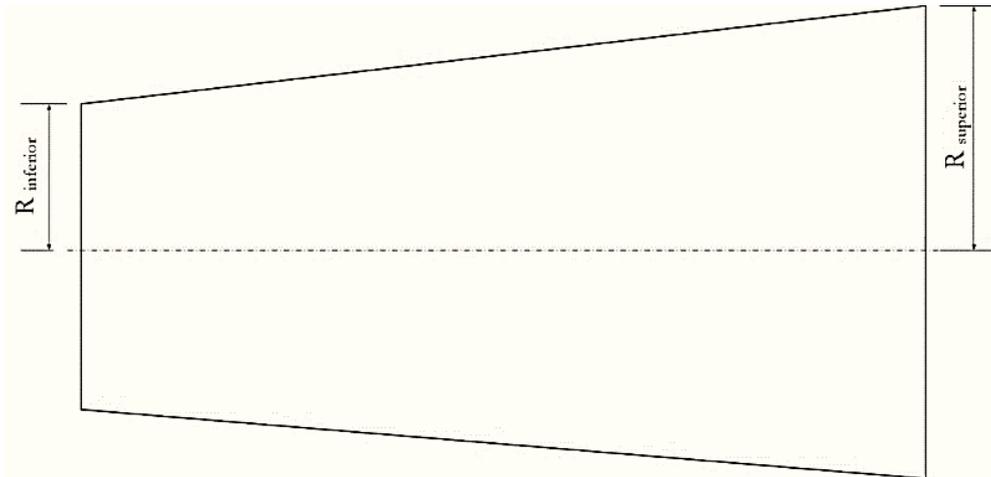


Figura 3—5: Esquema simulación de muslo y pantorrilla como tronco de cono

En la tabla 31 se exponen los valores de radios en centímetros:

Tabla 33: Radios calculados de pantorrillas y muslos

				máximo	mínimo
Mujeres	Muslo	R superior	$11,51 \pm 0,33$	11,84	11,18
		R inferior	$8,18 \pm 0,27$	8,45	7,91
	Pantorrilla	R superior	$7,74 \pm 0,26$	8	7,48
		R inferior	$4,79 \pm 0,23$	5,02	4,56
Hombres	Muslo	R superior	$10,48 \pm 0,23$	10,71	10,25
		R inferior	$7,19 \pm 0,19$	7,38	7
	Pantorrilla	R superior	$6,9 \pm 0,18$	7,08	6,72
		R inferior	$4 \pm 0,14$	4,14	3,86

Para la elaboración del modelo se utilizó Autodesk Inventor 2105 y la media de los valores de radios, como se observa en las figuras 3-6 y 3-7

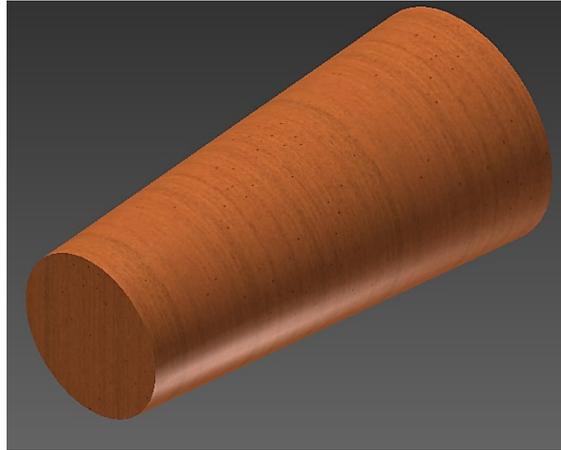


Figura 3—6: Muslo modelado en InventorV15



Figura 3—7: Pantorrilla modelada en InventorV15

Obteniendo los siguientes resultados expuestos en la tabla 32:

Tabla 34: Momentos de Inercia obtenidos en Inventor V15

		$I_G (kg.mm^2)$	$I_G (kg.m^2)$
Mujeres	Muslo	45853,2	0,0458532
	Pantorrilla	6961,5	0,0069615
Hombres	Muslo	33769,4	0,0337694
	Pantorrilla	4987,7	0,0049877

Con los resultados obtenidos y usando la ecuación de la energía cinética rotacional, mediante una tabla Excel, se calculó la energía cinética para cada posición angular medida, se obtuvo la energía cinética total del sistema, con la sumatoria de todas las energías en cada posición (Hibbeler, 2015).

En la tablas 35 y 36 se exponen un resumen de la energía cinética calculada, esta energía corresponde a la energía de una revolución completa, mediante una regla de tres simple se estableció el valor para 5,55 radianes que se subtiende en un segundo, obteniendo la energía en un segundo, multiplicando este valor para una rutina de 1800 s (30 minutos), obtenemos la energía cinética rotacional (J).

Tabla 35: Energía Cinética - Mujeres

02	03	04	$\omega_2$ (rad/s)	$\omega_3$ (rad/s)	$\omega_4$ (rad/s)	IG Pedal	IG pantorrilla (kg.m2)	IG muslo (kg.m2)	Ec pedal ( J )	Ec pantorrilla ( J )	Ec muslo ( J )
0	0,9	2,37	5,55	-1,337	-1,345	0,13304	0,0769	0,290	2,0490	0,0687	0,2627
0,52	0,74	2,29	5,55	-1,87	-0,364	0,13304	0,0769	0,290	2,0490	0,1345	0,0192
1,05	0,56	2,31	5,55	-1,86	0,82	0,13304	0,0769	0,290	2,0490	0,1330	0,0976
1,57	0,4	2,43	5,55	-1,546	1,796	0,13304	0,0769	0,290	2,0490	0,0919	0,4684
2,09	0,25	2,63	5,55	-1,405	2,387	0,13304	0,0769	0,290	2,0490	0,0759	0,8273
2,62	0,13	2,87	5,55	-1,241	2,622	0,13304	0,0769	0,290	2,0490	0,0592	0,9983
3,14	0,05	3,1	5,55	0,85	0,95	0,13304	0,0769	0,290	2,0490	0,0278	0,1310
3,67	0,29	3,04	5,55	2,91	-1,01	0,13304	0,0769	0,290	2,0490	0,3256	0,1481
4,19	0,56	2,94	5,55	2,65	-1,17	0,13304	0,0769	0,290	2,0490	0,2701	0,1988
4,71	0,78	2,82	5,55	2,04	-1,36	0,13304	0,0769	0,290	2,0490	0,1600	0,2686
5,24	0,93	2,68	5,55	1,07	-1,59	0,13304	0,0769	0,290	2,0490	0,0440	0,3671
5,76	0,97	2,52	5,55	-0,19	-1,71	0,13304	0,0769	0,290	2,0490	0,0014	0,4246
6,28	0,9	2,37	5,55	-1,31	-1,32	0,13304	0,0769	0,290	2,0490	0,0660	0,2530
TOTAL									26,6368	1,4582	4,4647

Tabla 36: Energía Cinética - Hombres

02	03	04	$\omega_2$ (rad/s)	$\omega_3$ (rad/s)	$\omega_4$ (rad/s)	IG Pedal	IG pantorrilla (kg.m2)	IG muslo (kg.m2)	Ec pedal ( J )	Ec pantorrilla ( J )	Ec muslo ( J )
0	0,79	2,38	5,55	-1,092	-1,083	0,12688	0,0971	0,310	1,9541	0,0579	0,1819
0,52	0,65	2,33	5,55	-1,575	-0,21	0,12688	0,0971	0,310	1,9541	0,1204	0,0068
1,05	0,51	2,36	5,55	-1,617	0,815	0,12688	0,0971	0,310	1,9541	0,1269	0,1030
1,57	0,37	2,48	5,55	-1,471	1,664	0,12688	0,0971	0,310	1,9541	0,1050	0,4295
2,09	0,23	2,66	5,55	-1,341	2,267	0,12688	0,0971	0,310	1,9541	0,0873	0,7972
2,62	0,1	2,89	5,55	-1,248	2,601	0,12688	0,0971	0,310	1,9541	0,0756	1,0494
3,14	0,02	3,12	5,55	0,785	0,785	0,12688	0,0971	0,310	1,9541	0,0299	0,0956
3,67	0,26	3,04	5,55	2,633	-1,12	0,12688	0,0971	0,310	1,9541	0,3364	0,1946
4,19	0,5	2,94	5,55	1,463	-0,477	0,12688	0,0971	0,310	1,9541	0,1039	0,0353
4,71	0,69	2,8	5,55	1,763	-1,382	0,12688	0,0971	0,310	1,9541	0,1508	0,2963
5,24	0,82	2,67	5,55	0,922	-1,542	0,12688	0,0971	0,310	1,9541	0,0413	0,3688
5,76	0,85	2,51	5,55	-0,174	-1,517	0,12688	0,0971	0,310	1,9541	0,0015	0,3570
6,28	0,79	2,38	5,55	-1,099	-1,084	0,12688	0,0971	0,310	1,9541	0,0586	0,1823
TOTAL									25,4037	1,2953	4,0978

Se calculó la energía cinética para una rutina de 1800 s (30 minutos):

Tabla 37: Cálculo de la energía cinética rotacional

		1 rev	Energía en 1 S (5,55 rev/s)	Rutina (1800 s)	E (Kcal)
Mujeres	Energía aportada por el cuerpo	5,9229	32,87	59169,89	14,16
	Energía total del sistema	32,5597	180,71	325271,03	77,82
Hombres	Energía aportada por el cuerpo	5,3931	29,93	53877,30	12,89
	Energía total del sistema	30,7968	170,92	307660,12	73,60

Los resultados de energía total se comparan con la energía consumida, expuesta en el anexo, los mismos que se resumen en la tabla 38:

Tabla 38: % Energía calculada vs Energía consumida

	$E_{\text{consumida}}$ (media) (kcal)	$E_{\text{calculada}}$ (kcal)	%
Mujeres	61,65	14,17	23,0%
Hombres	77,29	12,90	16,7%

Como lo manifestó (Mondelo, Gregori, & Barrau, 1994) no toda la energía humana puede ser utilizada:

La eficiencia mecánica del cuerpo humano no rebasa en el mejor de los casos en ejercicios muy dinámicos el 20% (según algunos autores, pudiera llegarse al 25 - 30%). Esto significa que de la energía que se consume para realizar un trabajo físico sólo la cuarta parte, en contadas ocasiones, se aprovecha como trabajo útil y el resto se pierde en forma de calor.

Respecto a la energía total del sistema:

Tabla 39: Energía total del sistema

		E (KJ)	E (Kcal)	E (KW-h)
Mujeres	Energía total del sistema	3253	77,82	0,090
Hombres	Energía total del sistema	3079	73,60	0,085

### **3.5) Conclusiones del capítulo:**

El cuerpo humano se comporta como un sistema mecánico, en el cual se han podido implementar la teoría de mecanismos, pudiendo demostrar la ley de la conservación de la energía, energía calculada que es el resultado de la transformación de la “energía humana” (energía consumida) en energía útil.

## **CAPÍTULO 4**

### **PROPUESTA DE UNA MÁQUINA ELÍPTICA DE EJERCICIOS PARA TRANSFORMAR LA ENERGÍA HUMANA EN ENERGÍA ELÉCTRICA DC**

#### **4.1) Introducción**

La propuesta para la presente investigación consiste en implementar una bicicleta elíptica capaz de medir parámetros energéticos de una rutina de ejercicios, mediante un sistema transmisión piñón - cadena obtener la energía cinética necesaria para hacer funcionar un generador, del cual se obtienen la energía eléctrica necesaria para introducir un sistema de carga eficaz, apto para cargar dispositivos de bajo voltaje, la energía también puede ser almacenada en un banco de baterías para poder aprovecharla en los momentos que no se realicen ejercicios.

#### **4.2) Título de la propuesta**

Máquina elíptica de ejercicios para transformar la energía humana en energía eléctrica CC apta para cargar dispositivos de bajo voltaje, para la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, campus Girón.

#### **4.3) Justificación**

En el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, se está investigando un nuevo tipo de fuente de energía, que si bien se la utiliza, en nuestro medio, no se ha desarrollado un estudio profundo de su obtención, transformación y aplicación, esta fuente es el “cuerpo humano”.

El principio de conservación de la energía indica que la energía no se crea ni se destruye; sólo se transforma de una forma en otra. Los seres humanos al consumir alimentos, mediante procesos electroquímicos, transforma en energía los alimentos que se consume y dicha energía es la base del cuerpo (energía humana). En la mayoría de casos esta energía humana no es aprovechada, con esta máquina se intenta aprovechar esta energía y transformarla en energía eléctrica.

#### 4.4) Objetivo

Diseñar e implementar una máquina elíptica de ejercicios para transformar la energía humana en energía eléctrica CC apta para cargar dispositivos de bajo voltaje, para la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, campus Girón.

#### 4.5) Estructura de la propuesta

##### Diseño y construcción del sistema de generación de energía eléctrica mediante el pedaleo elíptico

Las características principales de la máquina elíptica de ejercicios para transformar la energía humana en energía eléctrica son:

Peso: 25 kg

Dimensiones principales: 1100 x 1600 x 500 mm

Carga máxima: 100 kg

Energía de salida: 6 voltios, 2 amperios

##### 4.5.1) La bicicleta elíptica:

Respecto a que se interpreta por una bicicleta elíptica, (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015) mencionan que: “Una máquina elíptica es una máquina para hacer ejercicios sin necesidad de trasladarse de un lugar a otro. La misma crea los movimientos de caminar, correr y escalar, lo que coopera una disminución de posibles impactos o lesiones por accidentes, también esta máquina atenúa las lesiones que puedan sufrir las articulaciones”.

En la figura 4-1 se describe un modelo de la bicicleta elíptica,:



Figura 4—1: Modelo 3D bicicleta elíptica propuesta

Fuente: (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015)

(Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015), exponen que “La máquina elíptica tiene un desplazamiento suave y agradable, permitiendo trabajar hasta el 80% de los músculos, según se seleccione uno u otro programa de entrenamiento”

Otra afirmación expuesta por (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015), respecto a los movimientos que se puede realizar en la bicicleta elíptica es: “Además del movimiento de desplazamiento hacia delante, se puede optar por el movimiento hacia atrás para aumentar el esfuerzo en los glúteos y espalda baja; o sesiones donde se combinan estos movimientos con esfuerzos de empuje o tracción con los brazos, para trabajar los grupos musculares de brazos, pecho, hombros y espalda”.

Respecto a la posición del cuerpo (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015) exponen: “Los principios de funcionamiento y modelos varían de un equipo a otro, pero generalmente se mantiene la forma de usar los mismos, adoptando la posición típica de pie sin afectar la columna vertebral (espalda recta) y alineando las rodillas, tobillos y las caderas lo que asegura que el peso del individuo se centra en los talones y puntas de los pies, y de esta manera conseguir agarrar los manubrios sin ningún problema simulando el movimiento de caminata hacia adelante o atrás con un movimiento que se mantiene constante y continuo”.

#### **4.5.2) Análisis de alternativas de diseño:**

Lo que se diseñó, fue el sistema de transmisión de movimiento mediante ruedas dentadas y cadenas, el mismo que se acopló al generador el mismo que proveerá de energía eléctrica, todo se basó en la estructura de una bicicleta elíptica adquirida en el mercado local, figura 4-2.



Figura 4—2: Sistema de transmisión cadena – piñón

Fuente: (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015)

Se analizó las alternativas para el sistema de transmisión por cadena, tomando en cuenta varios parámetros como posición del generador, facilidad de construcción y montaje.

### **Alternativa 1:**

(Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015), muestran “Al pedalear en la máquina elíptica, el piñón conductor (1) gira, transmitiendo el movimiento mediante una cadena (2), haciendo girar un piñón más pequeño (3), este piñón (3) a su vez se está unido a una polea (4) que se convertirá en conductor para transmitir el movimiento por medio de una banda (5) al eje del generador (6)”. Como lo muestra la figura 20.

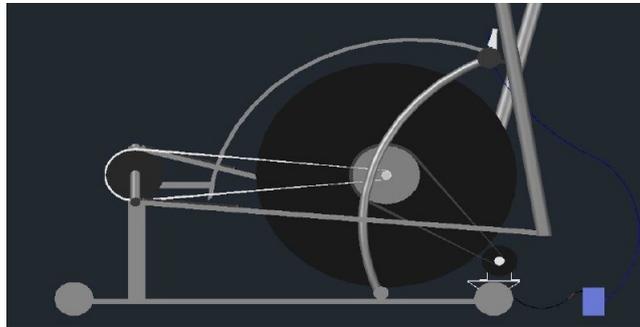


Figura 4—3: Modelo 3D - Alternativa 1  
Fuente: (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015)

### **Alternativa 2:**

(Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015), exponen que “A través del pedaleo se acciona el piñón conductor (1) el mismo que transmitirá el movimiento a los dos piñones; el conducido (3) y del generador (2) por medio de una cadena (4). Logrando generar electricidad y cargar dispositivos de bajo voltaje”. Como lo muestra la figura 21

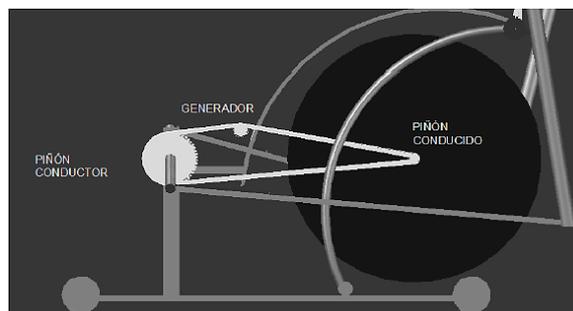


Figura 4—4: Modelo 3D - Alternativa 2  
Fuente: (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015)



Los parámetros de calificación que se tomaron en cuenta en el análisis son:

- i.* Costos
- ii.* Número de revoluciones
- iii.* Tamaño
- iv.* Facilidad de adaptación
- v.* Accesibilidad en el mercado
- vi.* Diseño estético
- vii.* Almacenamiento de energía

La calificación se resume en la siguiente tabla:

Tabla 40: Calificación de alternativas

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costos	6	5	8
Número de revoluciones	7	4	9
Tamaño	3	6	8
Facilidad de adaptación	7	3	8
Accesibilidad en el mercado	7	5	9
Diseño estético	7	5	8
Almacenamiento de energía	8	1	8
<b>Total</b>	<b>45</b>	<b>29</b>	<b>58</b>

Elaborado por: (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015)

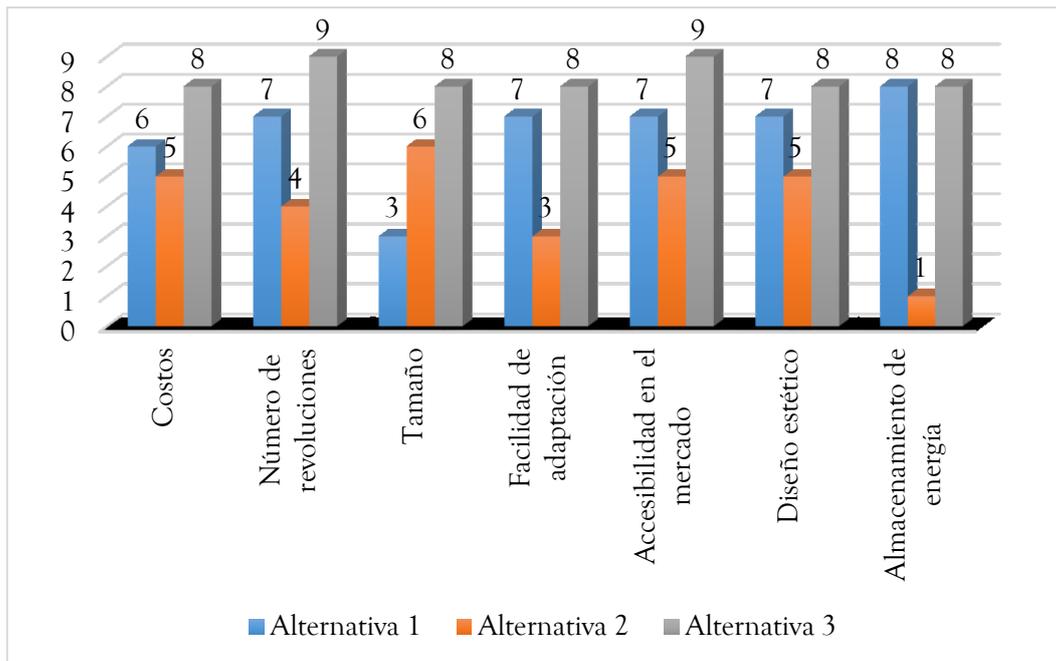


Figura 4—6: Histograma calificación de alternativas  
Elaborado por: (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015)

A través de la tabla 40 y de acuerdo a las valoraciones, la alternativa 3 es la mejor elección, por su bajo costo de construcción, facilidad de adaptación y sobre todo la accesibilidad de los componentes para la construcción que se puede encontrar en el mercado, con lo que representa una ventaja, que hacen que tenga el mayor puntaje.

#### 4.6) Diseño mecánico y eléctrico:

Para obtener el número de revoluciones, en el pedaleo se tomó datos a la muestra conformada por 113 personas dividiéndolas en hombres (55) y mujeres (58), la medición se la realizó tomando en un periodo de tiempo de un minuto, en el que la velocidad se mantenía relativamente estable, se tomó datos de velocidades altas (máxima medida de velocidad en el intervalo de análisis) y velocidades bajas (mínima medida de velocidad en el intervalo de análisis), dichas mediciones se encuentran detalladas en el anexo 7, en la figura 4-7 y 4-8 se presentan los resultados mediante gráficos:

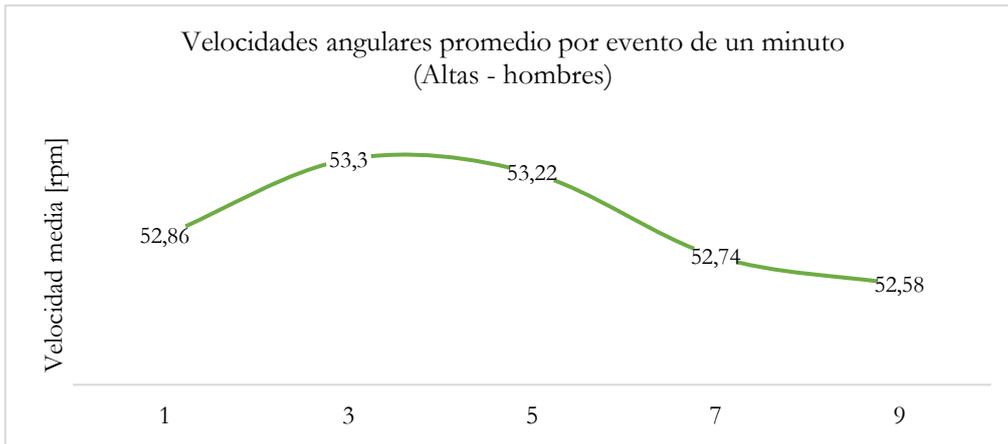


Figura 4—7: Velocidades experimentales - Hombres

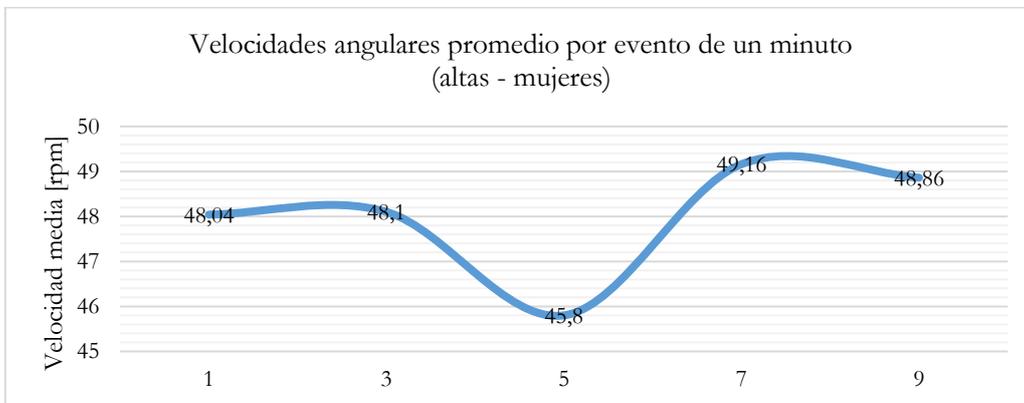


Figura 4—8: Velocidades experimentales - mujeres

De lo antes expuesto, se diseñó el sistema de transmisión basándonos en una velocidad media de 53 rpm.

#### 4.6.1) Cálculo de la potencia de diseño:

Según (Ordoñez, Paida, & Obando, 2015) “La potencia media generada dependerá del par aplicado en el pedaleo, para ello se empleó el peso medio de los usuarios más pesados (hombres), dividido entre 2 ya que al pedalear el peso se distribuye en las dos piernas”.

En la figura 4-9 se detalla la distribución de la fuerza, en el movimiento del pedal:

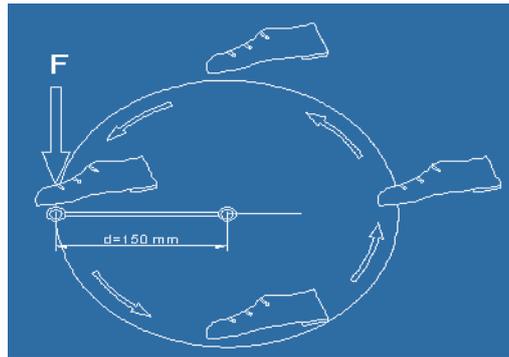


Figura 4—9: Fuerza aplicada en el pedal  
Fuente: (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015)

Para determinar la potencia se obtendrá el torque generado, utilizando un brazo de torque de 150 mm.

Utilizando la ecuación planteada en (Hibbeler, 2015) de momento torsor (torque):

$$T = F \cdot d \quad (11)$$

Donde:

T: Torque (N.m)

F: Fuerza (N)

d: brazo de aplicación de la fuerza (m)

Por seguridad se calculó la potencia de diseño con el peso máximo de los usuarios, el mismo que corresponde a los usuarios hombres con 87 kg = 852,6 N. Para el cálculo se lo dividirá entre dos (fuerza de cada pierna)

De donde obtenemos un torque de:

$$T = 423,3 \text{ N} \times 0,15 \text{ m}$$

$$T = 64 \text{ N.m}$$

Utilizando la fórmula planteada en (Hibbeler, 2015) de la potencia mecánica:

$$P = T \cdot \omega \quad (12)$$

Donde:

P: Potencia mecánica (W)

T: Torque (N.m)

$\omega$ : velocidad angular (rad/s)

Con una velocidad angular de  $\omega = 53 \text{ rpm} = 5,55 \text{ rad/s}$ .

Obteniendo una potencia de:

$$P=64 \text{ N.m} \times 5,55 \text{ rad/s}$$

$$P = 355 \text{ W}$$

#### 4.6.2) Cálculo de relación de transmisión del sistema de la máquina elíptica:

Según (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015), “para el cálculo de relación de transmisión se tomaron algunos datos de la máquina elíptica”, en la tabla 41 se detalla esta información.

Tabla 41: Datos de entrada - sistema piñón - cadena

Componente	Número de dientes (Z)
Piñón conductor (1)	100
Piñón conducido (3)	13
Piñón conductor (4)	A calcular
Piñón conducido (6)	12 (generador)

Elaborado por: (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015)

Según (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015), “para conocer el número de dientes del piñón conductor se deben determinar las revoluciones que el generador necesita para cargar la batería, de acuerdo a los datos técnicos del generador, este requiere obtener alrededor de 1400 rpm o superior”.

Usando la fórmula planteada en (Mateos & Moro, 2008), de relación de transmisión que involucra número de dientes y velocidad angular:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (13)$$

Utilizando datos de piñones, encontrados en el mercado local y mediante un proceso iterativo, se obtuvo los valores que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 42: Datos de salida - sistema cadena piñón

Piñón	Número de dientes ( $Z_n$ )	Número de revoluciones ( $n_n$ )	Relación de transmisión ( $i_n$ )
1	100	53	7,69
3	13	407	7,69
4	44	407	3,67
6	12	1492	3,67

Elaborado por: (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015)

#### 4.6.3) Longitud de la cadena.

Con los datos conocidos  $p = 0,5$  pulg (paso cadena);  $C = 20$  pulg (distancia entre centros), se utilizó la ecuación planteada por (Budynas–Nisbett, 2014), para calcular la longitud de la cadena:

$$L = \left[ \frac{2C}{p} + \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{4\pi^2 C} \right] p \quad (14)$$

Donde:

$L$  = longitud de la cadena

$C$  = distancia entre centros

$p$  = paso de la cadena

$Z_1$  = número de dientes del piñón pequeño

$Z_2$  = número de dientes del piñón grande

$$L = \left[ \frac{2(14,7)}{0,5} + \frac{12+44}{2} + \frac{(44 - 12)^2}{4\pi^2(14,7)} \right] 0,5$$

$$L = 43,84 \text{ pulg} = 1113,5 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{p} = 87,68 \approx 88 \text{ eslabones}$$

#### 4.7) Elementos del circuito:

Puente de diodos (Rectificador de onda completa):

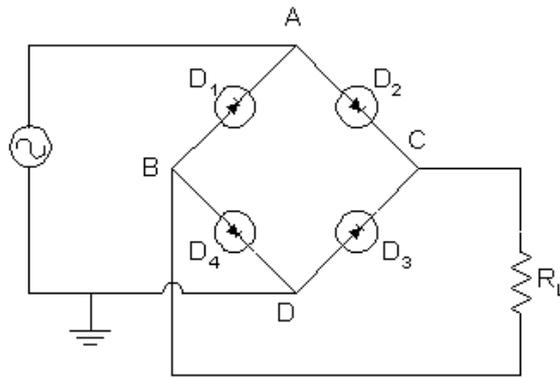


Figura 4—10: Puente de diodos

Según (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015), “Con una entrada de voltaje positivo, el punto A tiene el mayor potencial del circuito para ese instante, mientras que D se encuentra a potencial nulo. Con lo que los puntos B y C se encuentran con el mismo potencial que se encuentra intermedio entre 0 y V, cuando exista corriente circulando por el circuito el punto  $V_A$  es mayor que  $V_C$ , Por lo tanto, el diodo  $D_2$  empieza a conducir caso contrario que  $D_1$  está en corte, la corriente circula de A - C atravesando  $R_L$  de arriba abajo, el retorno de corriente será por  $D_3$ , y se concluye que  $D_1$  y  $D_4$  no conducen en el semi-ciclo positivo de V, si se realiza el análisis en sentido contrario, da como resultado lo mismo pero esta vez la corriente empieza a circular por  $D_3$  atravesando la resistencia para llegar al punto  $D_1$ ”.

#### 4.7.1) Regulador convertidor DC a DC

Según (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015), “Es un módulo que transforma corriente continua de una tensión de entrada a otra, logrando obtener a la salida un voltaje regulado y con restricción de corriente, las ventajas que se tienen con el uso de este módulo entre las que se pueden mencionar, reducción en la capacidad de los condensadores, con el consecuente beneficio en tamaño, peso y precio, permiten también generar tensiones donde se necesiten, reduciendo las líneas de conexión y potencia necesarias”.



Figura 4—11: Convertidor DC a DC  
Fuente: (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015)

Características:

Entrada: 4.5 a 28 V; Salida: 0.8 a 20 V; Dimensiones: 22x17x4 mm (ultra pequeño);  
Eficiencia de conversión: 96%; Rizo de salida: menor a 30 mV.

**4.7.2) Cargador de baterías de LI-ION**

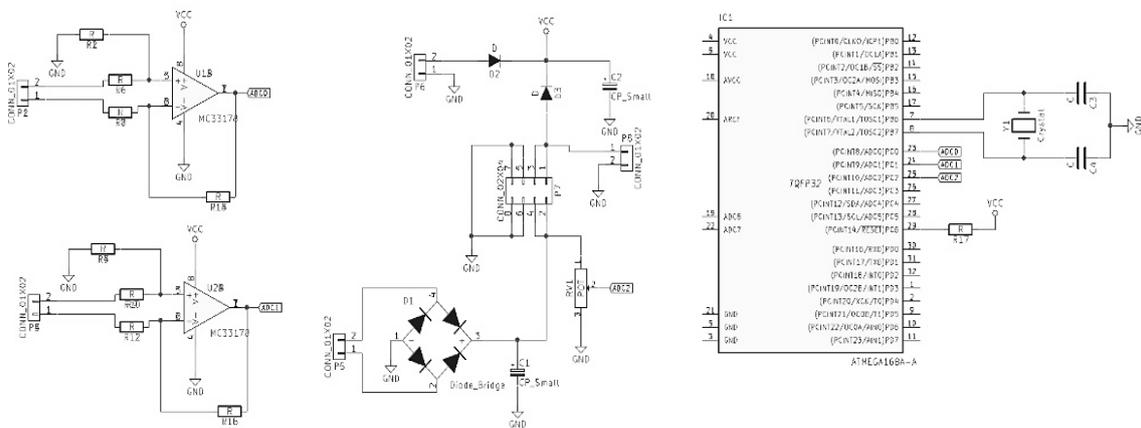


Figura 4—12: Cargador de baterías de LI-ION

Según (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015), “El cargador LI-ION es un circuito limitador de voltaje y corriente, cuyas particularidades son: rangos de tolerancia pequeños, ausencia de carga flotante y nulo efecto memoria, este tipo de baterías operan a un voltaje mayor

de 3,7 volt en lugar de 1,2 volt, lo que conlleva a alargar su vida útil en los dispositivos electrónicos de alta potencia, tales como laptops, cámaras digitales y teléfonos móviles”.

#### 4.8) Pruebas de funcionamiento: mediciones y análisis energético

##### 4.8.1) Mediciones.

Mediante un software (LabVIEW) y conexión USB que en tiempo real nos muestra lo que sucede en el circuito mediante de gráficos, marcando las tendencias de corriente de entrada del generador, corriente de salida hacia la carga en el dispositivo, voltaje en el momento del pedaleo y la velocidad angular.

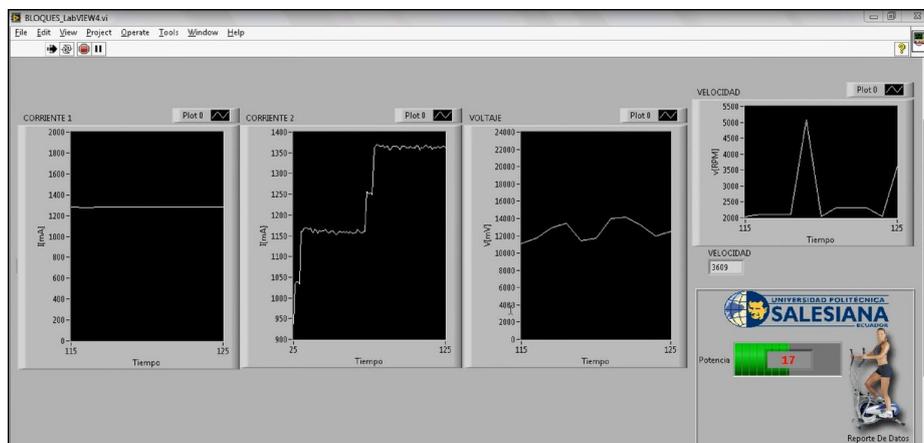


Figura 4—13: Mediciones con LabView

#### Voltaje generado:

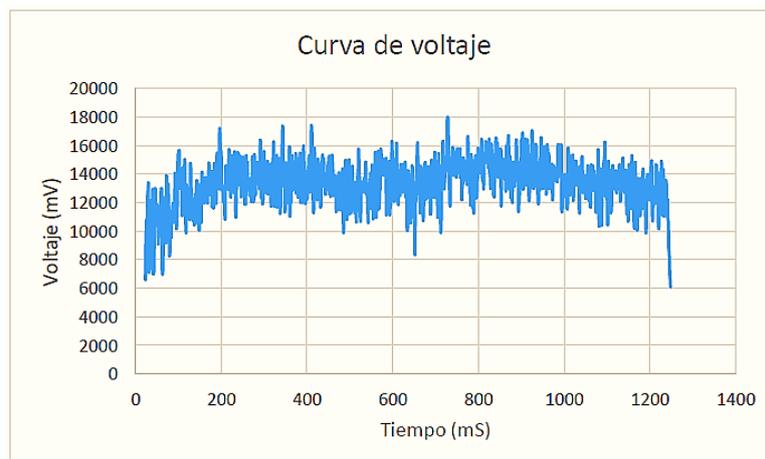


Figura 4—14: Mediciones de Voltaje  
Fuente: (Ordoñez, Paida, & Obando, 2015)

En la figura 4-14 se puede observar las mediciones de voltaje, con un mínimo de 6000 mV y un máximo de 18000 mV, la variación de valores es muy notoria esto es debido a que al realizar el ejercicio no se mantiene una velocidad constante en lo que al pedaleo se refiere, por lo que se produce fluctuaciones en la medición de voltaje.

Se diseñó el circuito de forma que cuando el voltaje sea menor a 5000 mV el microprocesador no tome mediciones.

### Corriente de entrada al circuito

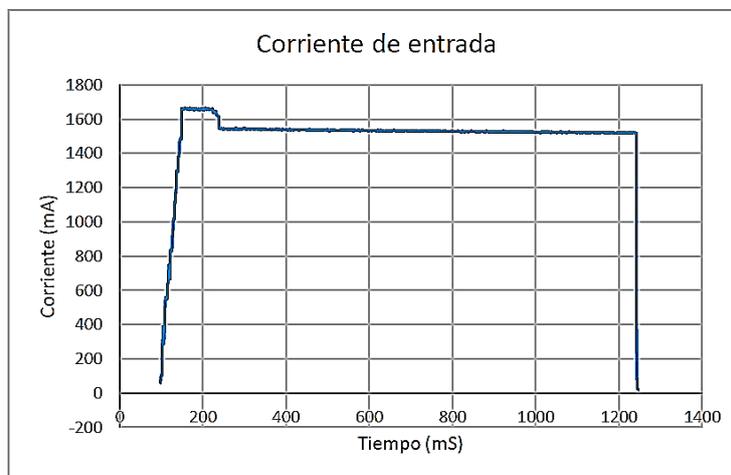


Figura 4—15: Mediciones de corriente de entrada  
Fuente: (Ordoñez, Paida, & Obando, 2015)

Como se puede observar en la figura 4-15, hay un incremento brusco desde 0 mA hasta 1600 mA, lo que tiene relación con el incremento de la velocidad de pedaleo (inicio de la rutina), posterior a este periodo la corriente se estabiliza y se mantiene relativamente constante en 1500 mA, y disminuye a 0 al dejar de pedalear.

### Corriente de carga a dispositivo

En la figura 4-16 muestra el proceso de carga, al empezar el pedaleo hay un incremento rápido para luego estabilizarse a 2200 mA, las caídas de corriente de 2200 mA a 1600 mA, son debidas a que ese instante se conecta el dispositivo a cargar y como se observa posterior a esto la corriente nuevamente se estabiliza.

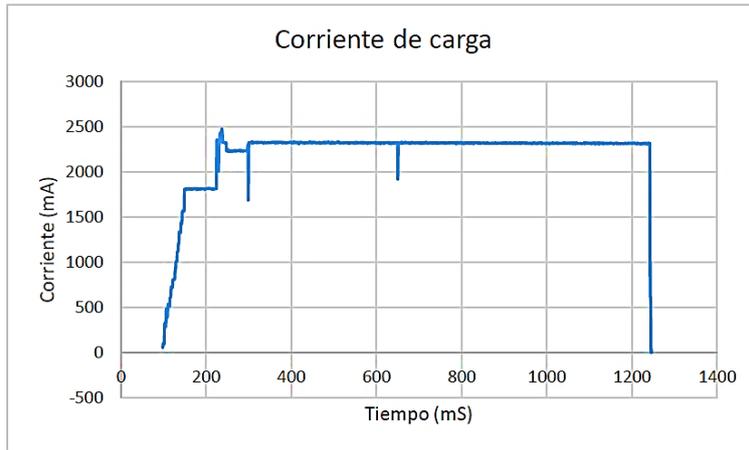


Figura 4—16: Mediciones de corriente de carga  
Fuente: (Ordoñez, Paidá, & Obando, 2015)

#### 4.9) Análisis energético – experimental.

A manera de prueba se usó varios dispositivos celulares y tablets, los mismo que se detallan en la tabla 41, a los mismo que se tomó el tiempo de carga.

Tabla 43: Tiempo de carga en dispositivos de prueba

Tipo	Dispositivo	Batería	Carga	% carga inicio	% carga final	Tiempo (min)
Móvil	Galaxy S3	Li - on	2100 mAh	1	100	56,5
	Galaxy S4	Li - on	2600 mAh	0	100	71
	Galaxy S5	Li - on	2800 mAh	12	100	67
	Sony Xperia M	Li - on	1750 mAh	0	100	49
Tablet	Galaxy Tab 3	Li - on	4000 mAh	5	100	104
	Acer Tab	Li - on	2640 mAh	17	100	59

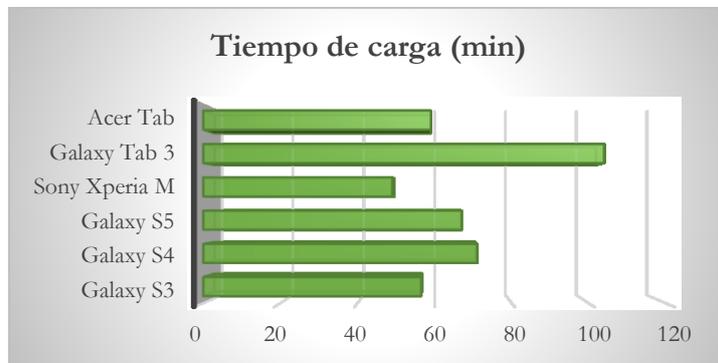


Figura 4—17: Tiempo de carga real

Si la máquina trabajaría 4 horas (horario de gimnasio, horas de uso de la máquina), se estimaría el número de cargas por dispositivo, como se detalla en la tabla 44:

Tabla 44: Tiempo de carga de dispositivos

Dispositivo	Tiempo (min)	# cargas	# cargas completas
Galaxy S3	56,5	4,25	4
Galaxy S4	71	3,38	3
Galaxy S5	67	3,58	3
Sony Xperia M	49	4,90	4
Galaxy Tab 3	104	2,31	2
Acer Tab	59	4,07	4

#### 4.10) Resumen de resultados:

	mínimo	máximo
Voltaje generado	6 V	18 V
Corriente de entrada al circuito	0 A	1,5 V
Corriente de carga	0 A	2,2 A

#### 4.11) Análisis Económico

Para la valoración económica se tomó en cuenta varias consideraciones, como las que se detallan:

Los costos de materia prima directa son parte del prototipo (bicicleta elíptica, generadores circuitos, conductores y elementos de sujeción), los costos de mano de obra directa son costos referentes a la utilización de máquinas e instrumentos necesarios para fabricar el sistema en función del tiempo (torno, taladro, equipo de pintura, instalación eléctrica), los costos indirectos, estos valores van asociados con el proceso de fabricación del sistema de generación y carga pero no se incorporan en el producto terminado, los costos que se presentan por mano de obra que se destinarán al ensamble de los componentes previamente adquiridos finalmente se encuentran los costos de imprevistos

Para el análisis de factibilidad económica de la propuesta se efectuó el cálculo del VAN (Valor Actual Neto) y la TIR (Tasa interna de retorno) del proyecto.

En la tabla 45 se detallan los costos especificados anteriormente:

Tabla 45: Costos de implementación

Costo de materia prima	482,71
Costo de mano de obra	43,75
Costo de montaje	64,00
Costo indirecto	32,75
Costos imprevistos	150,00
Total	773,21

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá la propuesta, para determinar, Si el cálculo nos da un valor mayor que cero, indica que el proyecto es factible.

Otro factor a considerar es la Tasa Interna de Retorno, que sería el tipo de interés en el que el VAN se hace cero. Si el TIR es alto, la propuesta es rentable.

Tabla 46: Datos de proyección

Datos	Valores
# periodos	5
Tipo	anual
Tasa descuento ( <i>i</i> )	10%
Inversión inicial	773,21

El VAN y TIR, se lo cálculo con Excel 2013, obteniendo los resultados que se exponen en la tabla 47:

Tabla 47: Ingresos - Egresos - Flujo neto

Ingresos		Egresos		Flujo neto	
Año	Valor	Año	Valor	Año	Valor
1	800	1	30	1	770
2	760	2	30	2	730
3	800	3	30	3	770
4	760	4	30	4	730
5	600	5	30	5	570
Total	3720	Total	150	Total	3570
VAN				\$ 1.961,13	
TIR				93%	

De los resultados obtenidos, concluimos que como el VAN es positivo y TIR el alto, la propuesta es viable.

## CONCLUSIONES:

- ⇒ Se realizó un análisis en libros y artículos científicos referente a la biomecánica del movimiento de miembros inferiores (análisis biomecánico) y se lo aplicó al movimiento de piernas en el pedaleo elíptico.
- ⇒ Se realizó un diagnóstico biomecánico de la energía producida por el movimiento del cuerpo humano en el pedaleo elíptico implementando una bicicleta elíptica que mediante un sistema transmisión piñón – cadena que hace funcionar un generador, obteniendo energía eléctrica CC, la misma que fue cuantificada mediante software y almacenada en un banco de baterías, con las que se puede cargar dispositivos de bajo voltaje, (5 voltios y 2 amperios)
- ⇒ La energía producida por el movimiento del cuerpo humano (esencialmente de miembros inferiores) en el pedaleo elíptico fue transformada en energía eléctrica CC, obteniendo valores entre 6 y 18 voltios, con lo que se puede considerar al cuerpo humano como una fuente de energía renovable, la misma que se puede utilizar como fuente de consumo hogareño o urbano, con el que se logró cargar varios dispositivos como teléfonos celulares y tablets (objetos de prueba), además de generar electricidad, esta energía cinética también proporciona muchos beneficios en lo referente a la salud. Pero no toda esta energía que genera el cuerpo humano es aprovechable como energía cinética del movimiento de miembros inferiores, en este estudio resultó que en las mujeres es el 23% (14,17 kcal) y en los hombres el 16,7% (12,9 kcal), los mismos que están dentro de los parámetros citados en el estado del arte.
- ⇒ Se realizó un estudio operativo de la máquina elíptica de ejercicios, rediseñando el sistema de transmisión de movimiento (piñón – cadena), el mismo que se acopló a un generador de corriente continua. La energía eléctrica generada se la cuantificó mediante software LabView.

## **RECOMENDACIONES:**

- ⇒ Se debe realizar mantenimientos periódicos a la máquina tanto en la parte mecánica, engrasar por lo menos una vez al mes, el sistema de transmisión por cadena y hacer una limpieza diaria de los componentes eléctricos y electrónicos.
  
- ⇒ Profundizar en los estudios de la biomecánica – energética del movimiento del cuerpo humano, mediante instrumentos más sofisticados (laboratorio de biomecánica), para mejorar confianza en los resultados.
  
- ⇒ Promover la construcción de máquinas propulsadas por el movimiento del cuerpo humano capaces de generar energía eléctrica casera y así ahorrar recursos naturales.

## **BIBLIOGRAFÍA CITADA**

- Acosta, B., Aranda, J., & Reyes, H. (2006). Patrones de actividad física de la mujer y del hombre. *Revista Medica Instituto Mexicano Seguro Social*, 79 - 86.
- Aguilar, M. (2000). *Biomecánica: La física y la fisiología*. Madrid: EBCOMP, S.A.
- ANC, (. N. (1998). *Constitución Política del Ecuador*. Quito: Registro Oficial.
- Asamblea Constituyente, (2008). *Constitución de la República del Ecuador. Montecristi*.
- Arias, P., Balam, V., Sulub, A., Carrillo, J., & Ramírez, A. (2013). Beneficios clínicos y prescripción del ejercicio en la prevención cardiovascular primaria: Revisión. *Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación*, 63 - 72.
- Arroyo, P., Leraa, L., Sánchez, H., Bunout, D., Santos, J., & Albala, C. (2007). Indicadores antropométricos, composición corporal y limitaciones funcionales en ancianos. *Revista Medica Chile*, 846 - 854.
- Bastos, A., González, R., Molinero, O., & Salguero del Valle, A. (2005). Obesidad, nutrición y Actividad Física. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 140 - 153.
- Benítez, González, & Rosero. (2013). Producción energética en un modelo para gimnasios colombianos. *Visión Electrónica*, 125 - 134.
- Berdasco, A. (2002). Evaluación del estado nutricional del adulto mediante la antropometría. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 146 - 152.
- Bravo, K. (2014). *Relación entre el estado nutricional, la actividad física e ingesta calórica de los guardiamarinas de primer año de la Escuela Superior Naval (ESSUNA)*. Quito: P.U.C.E.
- Bray, G. (2009). Obesity in America. *Proceedings of the 2nd Fogarty International Ceter Conference on Obesity*. Whasinton, DC: National Institute of Health.

- Calleja, Vidal, & Ballesteros. (2012). Estudio comparativo del cálculo del gasto energético total mediante Sense Wear Armband y la ecuación de Harris-Benedict en población sana ambulatoria; utilidad en la práctica clínica. *Nutrición Hospitalaria*, 1244 - 1247.
- Carrasco, F., Reyes, E., Rimler, O., & Rios, F. (2004). Exactitud del índice de masa corporal en la predicción de la adiposidad medida por impedanciometría bioeléctrica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 280 - 286.
- Diener, J. (2010). Calorimetría indirecta. *Ass Med Bras*, 245 - 253.
- Dufour, M., & Pillu, M. (2006). *Biomecánica Funcional*. París: Elsevier.
- Escolar, J., Pérez, C., & Corrales, R. (2003). Actividad física y enfermedad. *anales de la Medicina Interna*, 427 - 433.
- Esteves, F., DeMelo, A., Goncalves, A., & Rodrigues, F. (2008). Gasto energético de adultos brasileños saludables: una comparación de métodos. *Nutrición Hospitalaria*, 554 - 561.
- Flores, A. A., Arce, P. J., Almagiá, A., Lizana, P., Rodríguez, F., Ivanovic, D., & Binignat, O. (2009). Variables Antropométricas y Rendimiento Físico en Estudiantes Universitarios de Educación Física. *International Journal of Morphology*, 971 - 975.
- García, P., & otros. (2008). Mujer y deporte. hacia la equidad e igualdad. *Revista Venezolana de Estudios de la Mujer*.
- Gibson, T. (2011). Turning sweat into watts. *IEEE Spectrum*, 46 -51.
- Hernández, B., Haene, J., Barquera, S. M., Rivera, J., Shamah, T., Sepúlveda, J., & Haas, J. C. (2003). Factores asociados con la actividad física en mujeres mexicanas en edad reproductiva. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 235 - 244.
- Jebb, S., & Prentice, A. (1997). Assessment of human energy balance. *J Endocrinol*, 183 - 185.

- Jequier, E., & Tappy, L. (1999). Regulation of body weight in humans. *Physiol* , 451 - 480.
- Larrea, C. (2013). ¿Es sustentable la política energética en el Ecuador? *UASB-DIGITAL*.
- López-Fontana, C., Martínez-González, M., & Martínez, J. (2003). Obesidad, metabolismo energético y medida de la actividad física. *Revista Española de Obesidad*, 29 - 36.
- Macias, M. . (2004). *Nuevas energías renovables: una alternativa energética sustentable para México (análisis y propuesta)*. Mexico DF.
- Martínez, P. (2006). El método de estudio de caso - Estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento & Gestión*, 165-193.
- Monterrey, P., & Porrata, C. (2001). Procedimiento gráfico para la evaluación del estado nutricional de los adultos según el índice de masa corporal. *Revista Cubana de Alimentos y Nutrición*, 15 - 62.
- OMS. (2008). *Necesidades de energía y de proteínas*. Ginebra: O.M.S.
- OMS. (2009). *Obesity: preventing and managing the global epidemic*. OMS.
- Ordoñez, A., Paida, J., & Obando, F. (2015). *Diseño y construcción de un sistema para transformar energía de una máquina elíptica de ejercicios en energía eléctrica para cargar dispositivos de bajo voltaje*. Quito: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9245>, Universidad Politécnica Salesiana.
- Pérez, A., & Bernal, J. (2006). Predicción del estado nutricional mediante variables antropométricas y de seguridad alimentaria en el hogar de un grupo de embarazadas de Caracas, Venezuela. *Nutrición Hospitalaria*, 611 - 616.
- Riera, P. (2006). *Implementación de un toolbox en Matlab para resolver la cinemática de mecanismos planos articulados*. Sartanejas: Universidad Simón Bolívar.

Rodríguez, J., Mora, S., Acosta, E., & Menéndez, J. (2004). Índice de masa corporal como indicador en la estratificación del riesgo aterogénico para la vigilancia en salud. *Revista Cubana de Medicina Militar*.

Senplades. (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017*. Quito - Ecuador: Senplades.

Subirats-Bayego, E., Subirats-Vila, G., & Soteras. (2012). Prescripción de ejercicio físico: indicaciones, posología y efectos adversos. *Medicina Clínica; Elsevier - España*, 18 - 24.

Thompson, Manore, & Vaughan. (2008). *Nutrición*. Madrid: Pearson Educación S.A.

Turismo-sostenible. (18 de febrero de 2015). <http://sostenibleya.com>. Obtenido de <http://sostenibleya.com/sustentabilidad-hotel-crowne-plaza-copenhagen-towers-dinamarca/>

Vargas, M., Lancheros, L., & Barrera, M. (2011). Gasto energético en reposo y composición corporal en adultos. *Rev Fac Med*, 43 - 58.

Wahrlich, V., & Anjos, L. (2001). Aspectos históricos e metodológicos da medicao e estimativa da taxa metabólica basal: uma revisao da literatura. *Cad Saúde Pública*, 801 - 817.

Willet, W. (1998). *Nutritional epidemiology*. New York: Oxford University Press.

Zurita, R. (2009). Diferencias significativas entre el hombre y la mujer deportista en cuanto a la capacidad de rendimiento deportivo. *Innovación y Experiencias Educativas*.

#### **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

Avallone, E., & Baumeister III, T. (2010). *Marks - Manual del Ingeniero Mecánico*. México: McGraw Hill.

Budynas–Nisbett. (2014). *Shigley's Mechanical Engineering Design*. U.S. A: McGraw Hill.

Cardona, S., & Clos, D. (2001). *Teoría de Máquinas*. Barcelona: UPC.

Cegarra, J. (2011). *Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos

DeJuana, & et.al. (2008). *Energías Renovables para el Desarrollo*. España: Paraninfo S.A.

Díaz, A. (2009). *Diseño estadístico de experimentos*. Antioquia: Editorial Universidad de Antioquia.

Hernández, Fernández, & Baptista. (2010). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGraw Hill.

Herrera, L., & et.al. (2004). *Tutoría de la Investigación Científica*. México: Limusa.

Hibbeler, R. (2015). *Engineering Mechanics - Dynamics*. México: McGraw Hill.

Izquierdo, M. (2008). *Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte*. Buenos Aires: Ed. Médica Panamericana.

Mateos, B., & Moro, M. (2008). *Tecnología Mecánica y Metrotécnia*. Oviedo: Universidad de Oviedo.

McArdle, W., Katch, F., & Katch, V. (2014). *Fundamentos de fisiología del ejercicio*. Madrid: McGraw Hill.

Mondelo, Gregori, & Barrau. (1994). *Ergonomía Fundamentos*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Mondelo, Torrado, & Bombardó. (2010). *Ergonomía I Fundamentos*. Barcelona: Edicions UPC.

Redondo, & Dominguez. (2013). *Electrotécnia*. Madrid: Cano Pina

Repetto, A. (2005). *Bases biomecánicas para el análisis del movimiento humano*. Buenos Aires : Edición en CD-Rom.

Sherwood, L. (2011). *Fisiología humana, de las células a los sistemas*. México: Cengage Learning.

Shigley, J., & Uicker, J. (2001). *Teoría de Máquinas y Mecanismos*. México: McGraw - Hill.

Suaverza, A., & Haua, K. (2009). *Manual de Antropometría*. México: Universidad Iberoamericana.

Suaverza, & Haua. (2010). *El ABCD de la evaluación de la nutrición*. México: McGraw Hill.

Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa.

### **LINKOGRAFÍA**

Berry, R. (2013). <http://www.livestrong.com/>. Obtenido de [http://www.livestrong.com/es/riesgos-salud-imc-info\\_32777/](http://www.livestrong.com/es/riesgos-salud-imc-info_32777/)

Dimaría, C. (03 de noviembre de 2013). [www.livestrong.com](http://www.livestrong.com). Obtenido de [www.livestrong.com/es/buena-bicicleta-elíptica-info\\_26360](http://www.livestrong.com/es/buena-bicicleta-elíptica-info_26360)

erenovable. (agosto de 2008). <http://erenovable.com/>. Obtenido de <http://erenovable.com/inventan-bicicleta-que-genera-energa/>

OMS. (2014). <http://www.who.int>. Obtenido de <http://www.who.int/about/what-we-do/es/>

OMS. (2015). *Obesidad y sobrepeso*. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/#>.

OMS/FAO. (18 de 11 de 2015). <http://www.who.int>. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2003/pr20/es/>

Padrón, P. (30 de agosto de 2014). <http://www.realfitness.es>. Obtenido de <http://www.realfitness.es/calculadoras/aprende-utilizar-tablas-met-calcular-calorias-quemadas/>

Quijano, S. (2010). <http://es.slideshare.net/>. Obtenido de <http://es.slideshare.net/silviajqm/energa-humana>

Tarrío, H. (10 de abril de 2012). [www.buenaforma.org](http://www.buenaforma.org). Obtenido de [www.buenaforma.org/2012/04/10/los-beneficios-de-la-eliptica](http://www.buenaforma.org/2012/04/10/los-beneficios-de-la-eliptica)

Vasudevan, D., Sreekumari, S., & Vaidyanathan, K. (2011). *Texto de Bioquímica*. Guadalajara: Cuéllar Ayala.

[www.mibienestar.es](http://www.mibienestar.es). (2015). Obtenido de <http://www.mibienestar.es/salud/2-general/1-algunas-ayudas-a-la-audicion.html>

[www.puntofape.com](http://www.puntofape.com). (20 de noviembre de 2014). Obtenido de La bicicleta elíptica: <http://www.puntofape.com/la-bicicleta-eliptica-737/>

# ANEXOS

# **ANEXO 1:**

## **Medidas antropométricas generales**

## Anexo 1: Medidas antropométricas generales

Mujeres:

Medición	Individuo	Edad (años)	Estatura (m)	Peso (kg)	Largo glúteo - rodilla (cm)	altura rodilla - pie (cm)	Largo pierna (cm)
1	M1	24	1,52	66	45	40	85
2	M2	24	1,53	69	46	41	87
3	M3	24	1,52	65	45	40	85
4	M4	25	1,54	66	46	41	86
5	M5	28	1,57	53	48	41	89
6	M6	24	1,59	51	49	42	91
7	M7	22	1,60	59	49	42	91
8	M8	22	1,57	66	46	41	88
9	M9	25	1,67	59	49	44	93
10	M10	30	1,52	47	45	40	85
11	M11	25	1,69	70	47	43	90
12	M12	28	1,63	69	48	43	91
13	M13	27	1,58	61	47	42	88
14	M14	23	1,68	67	50	44	94
15	M15	25	1,65	65	49	43	92
16	M16	30	1,60	62	47	42	89
17	M17	24	1,64	51	48	43	92
18	M18	24	1,50	52	44	39	84
19	M19	24	1,51	65	45	40	84
20	M20	22	1,63	59	48	43	91
21	M21	20	1,67	73	47	42	89
22	M22	26	1,66	62	49	44	93
23	M23	24	1,61	61	48	42	90
24	M24	23	1,55	52	46	41	87
25	M25	27	1,67	70	49	44	93
26	M26	29	1,64	77	48	43	92
27	M27	25	1,55	54	46	41	87
28	M28	20	1,47	49	43	39	82
29	M29	25	1,67	57	49	44	93
30	M30	23	1,64	61	48	43	92
31	M31	33	1,63	60	48	43	91
32	M32	36	1,51	68	45	40	84
33	M33	33	1,46	55	43	38	82
34	M34	36	1,66	54	49	44	93
35	M35	40	1,49	60	44	39	83
36	M36	34	1,50	50	44	39	84
37	M37	36	1,53	59	45	40	85
38	M38	34	1,66	55	49	44	93
39	M39	32	1,57	49	46	41	88
40	M40	34	1,64	65	48	43	92
41	M41	39	1,58	55	47	42	88
42	M42	33	1,48	55	44	39	83
43	M43	38	1,54	50	46	41	86

44	M44	31	1,69	51	50	44	94
45	M45	38	1,46	54	43	38	82
46	M46	35	1,52	68	45	40	85
47	M47	34	1,64	70	48	43	92
48	M48	39	1,54	52	46	41	86
49	M49	39	1,66	52	49	44	93
50	M50	36	1,50	55	44	39	84
51	M51	39	1,62	57	48	43	91
52	M52	39	1,62	65	48	43	91
53	M53	35	1,59	58	47	42	89
54	M54	39	1,66	49	49	44	93
55	M55	38	1,67	71	49	45	94
56	M56	38	1,47	59	43	39	82
57	M57	32	1,55	63	46	41	87
58	M58	40	1,54	64	45	40	85
59	M59	36	1,49	65	42	39	81
60	M60	31	1,59	63	46	41	87
	media	30	1,58	59,82	47	42	88
	desviación estándar	6,23	0,07	7,20	2,07	1,79	3,83

Hombres:

Medición	Individuo	Edad (años)	Estatura (m)	Peso (kg)	Largo glúteo - rodilla (cm)	altura rodilla-pie (cm)	Largo pierna (cm)
1	H1	20	1,74	75	53	51	104
2	H2	22	1,72	74	52	50	103
3	H3	26	1,79	76	55	52	107
4	H4	26	1,76	86	54	52	105
5	H5	24	1,67	70	50	49	99
6	H6	21	1,70	72	52	50	102
7	H7	27	1,71	84	52	50	102
8	H8	26	1,78	96	54	52	106
9	H9	30	1,74	75	53	51	104
10	H10	21	1,76	72	54	52	105
11	H11	21	1,74	74	53	51	104
12	H12	25	1,71	69	52	50	102
13	H13	22	1,78	70	54	52	106
14	H14	21	1,68	65	51	49	100
15	H15	24	1,74	73	53	51	104
16	H16	24	1,76	87	54	52	105
17	H17	28	1,70	70	52	50	102
18	H18	24	1,74	75	53	51	104
19	H19	20	1,69	79	49	49	98
20	H20	23	1,68	70	48	47	95
21	H21	27	1,69	70	52	50	101
22	H22	23	1,72	74	52	50	103
23	H23	24	1,76	75	54	52	105
24	H24	27	1,74	83	53	51	104
25	H25	26	1,75	80	53	51	105
26	H26	20	1,76	77	54	52	105
27	H27	29	1,65	81	45	44	89
28	H28	30	1,70	88	52	50	102
29	H29	25	1,72	90	52	50	103
30	H30	27	1,75	79	53	51	105
31	H31	35	1,66	76	51	49	99
32	H32	40	1,67	87	48	47	95
33	H33	34	1,78	71	54	52	106
34	H34	36	1,68	78	51	49	100
35	H35	34	1,71	70	52	50	102
36	H36	40	1,69	83	52	50	101
37	H37	36	1,71	72	52	50	102
38	H38	36	1,78	81	56	54	110
39	H39	35	1,71	60	52	48	100
40	H40	38	1,69	71	52	49	101
41	H41	40	1,71	72	52	49	101
42	H42	33	1,71	71	52	50	102
43	H43	33	1,69	68	51	51	102
44	H44	38	1,70	71	53	50	103
45	H45	39	1,68	86	51	49	100
46	H46	40	1,70	72	52	50	102
47	H47	37	1,67	78	51	49	100

48	H48	31	1,76	73	54	52	105
49	H49	32	1,79	81	55	52	107
50	H50	36	1,69	71	50	49	99
51	H51	40	1,74	81	53	51	104
52	H52	32	1,69	77	52	50	101
53	H53	39	1,69	70	48	47	95
54	H54	38	1,77	72	54	52	106
55	H55	38	1,64	78	45	44	89
56	H56	31	1,73	71	53	51	103
57	H57	39	1,71	80	52	50	102
58	H58	35	1,68	74	51	49	100
59	H59	33	1,69	85	48	47	95
60	H60	38	1,67	71	50	50	100
	media	30	1,72	76	52	50	102
	desviación estándar	6,61	0,038	6,689	2,14	1,82	3,91

# ANEXO 2:

## Índice de masa corporal

## Anexo 2: Índice de masa corporal:

Mujeres:

<b>Individuo</b>	<b>Edad (años)</b>	<b>Estatura (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Interpretación IMC</b>
M1	24	1,52	66	28,57	Sobrepeso
M2	24	1,53	69	29,48	Sobrepeso
M3	24	1,52	65	28,13	Sobrepeso
M4	25	1,54	66	27,83	Sobrepeso
M5	28	1,57	53	21,50	Normal
M6	24	1,59	51	20,17	Normal
M7	22	1,60	59	23,05	Normal
M8	22	1,57	66	26,78	Sobrepeso
M9	25	1,67	59	21,16	Normal
M10	30	1,52	47	20,34	Normal
M11	25	1,69	70	24,51	Normal
M12	28	1,63	69	25,97	Sobrepeso
M13	27	1,58	61	24,44	Normal
M14	23	1,68	67	23,74	Normal
M15	25	1,65	65	23,88	Normal
M16	30	1,60	62	24,22	Normal
M17	24	1,64	51	18,96	Normal
M18	24	1,50	52	23,11	Normal
M19	24	1,51	65	28,51	Sobrepeso
M20	22	1,63	59	22,21	Normal
M21	20	1,67	73	26,18	Sobrepeso
M22	26	1,66	62	22,50	Normal
M23	24	1,61	61	23,53	Normal
M24	23	1,55	52	21,64	Normal
M25	27	1,67	70	25,10	Sobrepeso
M26	29	1,64	77	28,63	Sobrepeso
M27	25	1,55	54	22,48	Normal
M28	20	1,47	49	22,68	Normal
M29	25	1,67	57	20,44	Normal
M30	23	1,64	61	22,68	Normal
M31	33	1,63	60	22,58	Normal
M32	36	1,51	68	29,82	Sobrepeso
M33	33	1,46	55	25,80	Sobrepeso
M34	36	1,66	54	19,60	Normal
M35	40	1,49	60	27,03	Sobrepeso
M36	34	1,50	50	22,22	Normal
M37	36	1,53	59	25,20	Sobrepeso
M38	34	1,66	55	19,96	Normal
M39	32	1,57	49	19,88	Normal
M40	34	1,64	65	24,17	Normal
M41	39	1,58	55	22,03	Normal
M42	33	1,48	55	25,11	Sobrepeso

M43	38	1,54	50	21,08	Normal
M44	31	1,69	51	17,86	Peso bajo
M45	38	1,46	54	25,33	Sobrepeso
M46	35	1,52	68	29,43	Sobrepeso
M47	34	1,64	70	26,03	Sobrepeso
M48	39	1,54	52	21,93	Normal
M49	39	1,66	52	18,87	Normal
M50	36	1,50	55	24,44	Normal
M51	39	1,62	57	21,72	Normal
M52	39	1,62	65	24,77	Normal
M53	35	1,59	58	22,94	Normal
M54	39	1,66	49	17,78	Peso bajo
M55	38	1,67	66	23,67	Normal
M56	38	1,47	59	27,30	Sobrepeso
M57	32	1,55	60	24,97	Normal
M58	40	1,54	64	26,99	Sobrepeso
M59	36	1,49	55	24,77	Normal
M60	31	1,59	63	24,92	Normal

Hombres:

<b>Individuo</b>	<b>Edad (años)</b>	<b>Estatura (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Interpretación IMC</b>
H1	20	1,74	75	24,77	Normal
H2	22	1,72	74	25,01	Sobrepeso
H3	26	1,79	76	23,72	Normal
H4	26	1,76	86	27,76	Sobrepeso
H5	24	1,67	70	25,10	Sobrepeso
H6	21	1,70	72	24,91	Normal
H7	27	1,71	84	28,73	Sobrepeso
H8	26	1,78	96	30,30	obesidad leve
H9	30	1,74	75	24,77	Normal
H10	21	1,76	72	23,24	Normal
H11	21	1,67	74	26,53	Sobrepeso
H12	25	1,68	76	26,93	Sobrepeso
H13	22	1,78	70	22,09	Normal
H14	21	1,68	71	25,16	Sobrepeso
H15	24	1,74	73	24,11	Normal
H16	24	1,76	87	28,09	Sobrepeso
H17	28	1,70	70	24,22	Normal
H18	24	1,74	75	24,77	Normal
H19	20	1,69	79	27,66	Sobrepeso
H20	23	1,68	70	24,80	Normal
H21	27	1,69	70	24,51	Normal
H22	23	1,72	74	25,01	Sobrepeso
H23	24	1,76	75	24,21	Normal
H24	27	1,74	83	27,41	Sobrepeso
H25	26	1,75	80	26,12	Sobrepeso
H26	20	1,76	77	24,86	Normal
H27	29	1,65	81	29,75	Sobrepeso
H28	30	1,70	88	30,45	obesidad leve
H29	25	1,72	90	30,42	obesidad leve
H30	27	1,75	79	25,80	Sobrepeso
H31	35	1,66	76	27,58	Sobrepeso
H32	40	1,67	87	31,20	obesidad leve
H33	34	1,78	71	22,41	Normal
H34	36	1,68	78	27,64	Sobrepeso
H35	34	1,71	70	23,94	Normal
H36	40	1,69	83	29,06	Sobrepeso
H37	36	1,71	72	24,62	Normal
H38	36	1,78	81	25,56	Sobrepeso
H39	35	1,71	60	20,52	Normal
H40	38	1,69	71	24,86	Normal
H41	40	1,71	72	24,62	Normal
H42	33	1,71	71	24,28	Normal
H43	33	1,69	68	23,81	Normal
H44	38	1,70	71	24,57	Normal

H45	39	1,68	86	30,47	obesidad leve
H46	40	1,70	72	24,91	Normal
H47	37	1,67	78	27,97	Sobrepeso
H48	31	1,76	73	23,57	Normal
H49	32	1,79	81	25,28	Sobrepeso
H50	36	1,69	71	24,86	Normal
H51	40	1,74	81	26,75	Sobrepeso
H52	32	1,69	77	26,96	Sobrepeso
H53	39	1,69	70	24,51	Normal
H54	38	1,77	72	22,98	Normal
H55	38	1,64	78	29,00	Sobrepeso
H56	31	1,73	71	23,72	Normal
H57	39	1,71	80	27,36	Sobrepeso
H58	35	1,68	74	26,22	Sobrepeso
H59	33	1,69	85	29,76	Sobrepeso
H60	38	1,67	71	25,46	Sobrepeso

# **ANEXO 3:**

**Gasto energético total – Harris  
Benedict**

### Anexo 3: Gasto energético total – Harris Benedict:

Mujeres:

Individuo	Edad (años)	Estatura (cm)	Peso (kg)	TBM Harris - Benedict	AF FAO/OMS (1,5)	Efecto termogénico 10% (0,1)	Gasto Energético total (kcal)
M1	24	152	66	1.453	2179,9	145,33	2.325,21
M2	24	153	69	1.484	2225,6	148,37	2.373,92
M3	24	152	65	1.444	2165,6	144,37	2.309,95
M4	25	154	66	1.452	2178,4	145,23	2.323,64
M5	28	157	53	1.320	1979,8	131,99	2.111,79
M6	24	159	51	1.323	1984,8	132,32	2.117,13
M7	22	160	59	1.411	2116	141,07	2.257,08
M8	22	157	66	1.472	2207,8	147,19	2.354,97
M9	25	167	59	1.410	2114,4	140,96	2.255,36
M10	30	152	47	1.244	1866,1	124,41	1.990,51
M11	25	169	70	1.518	2277,2	151,82	2.429,06
M12	28	163	69	1.483	2225,2	148,35	2.373,60
M13	27	158	61	1.403	2104	140,27	2.244,26
M14	23	168	67	1.497	2245,6	149,71	2.395,30
M15	25	165	65	1.463	2194,6	146,31	2.340,95
M16	30	160	62	1.402	2102,8	140,19	2.242,99
M17	24	164	51	1.332	1998,7	133,25	2.131,93
M18	24	150	52	1.316	1974,1	131,61	2.105,75
M19	24	151	65	1.442	2162,8	144,19	2.306,99
M20	22	163	59	1.416	2124,3	141,62	2.265,96
M21	20	167	73	1.566	2349,7	156,64	2.506,30
M22	26	166	62	1.432	2147,5	143,17	2.290,67
M23	24	161	61	1.422	2133,4	142,22	2.275,58
M24	23	155	52	1.330	1995	133,00	2.128,03
M25	27	167	70	1.505	2257,7	150,51	2.408,17
M26	29	164	77	1.557	2335,4	155,69	2.491,10
M27	25	155	54	1.340	2009,6	133,97	2.143,57
M28	20	147	49	1.301	1951	130,06	2.081,04
M29	25	167	57	1.391	2085,8	139,05	2.224,85
M30	23	164	61	1.432	2148,7	143,25	2.291,94
M31	33	163	60	1.374	2061,5	137,43	2.198,92
M32	36	151	68	1.414	2121,5	141,44	2.262,97
M33	33	146	55	1.295	1942,8	129,52	2.072,33
M34	36	166	54	1.309	1963	130,86	2.093,83
M35	40	149	60	1.316	1973,5	131,57	2.105,10
M36	34	150	50	1.250	1875,4	125,03	2.000,43
M37	36	153	59	1.332	1998,4	133,23	2.131,62
M38	34	166	55	1.328	1991,3	132,75	2.124,05
M39	32	157	49	1.263	1894,6	126,30	2.020,86

M40	34	164	65	1.419	2128,7	141,92	2.270,66
M41	39	158	55	1.289	1934	128,94	2.062,96
M42	33	148	55	1.299	1948,4	129,89	2.078,25
M43	38	154	50	1.239	1858,4	123,90	1.982,34
M45	38	146	54	1.262	1893,4	126,23	2.019,67
M46	35	152	68	1.421	2131,3	142,09	2.273,41
M47	34	164	70	1.467	2200,2	146,68	2.346,92
M48	39	154	52	1.253	1880	125,34	2.005,36
M49	39	166	52	1.276	1913,3	127,56	2.040,88
M50	36	150	55	1.289	1932,9	128,86	2.061,73
M51	39	162	57	1.316	1973,7	131,58	2.105,31
M52	39	162	65	1.392	2088,1	139,21	2.227,33
M53	35	159	58	1.339	2007,8	133,85	2.141,61
M55	38	167	66	1.416	2123,3	141,55	2.264,86
M56	38	147	54	1.264	1896,2	126,41	2.022,63
M57	32	155	60	1.364	2046,3	136,42	2.182,72
M58	40	154	58	1.306	1958,8	130,59	2.089,40
M59	36	149	55	1.287	1930,1	128,67	2.058,77
M60	31	159	63	1.405	2107,3	140,49	2.247,80
Media							2.199,83
Desviación Estándar							134,92

Hombres:

<b>Individuo</b>	<b>Edad (años)</b>	<b>Estatura (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>TBM Harris - Benedict</b>	<b>AF FAO/OMS (1,5)</b>	<b>Efecto termogénico 10% (0,1)</b>	<b>Gasto Energético total (kcal)</b>
H1	20	174	75	1.833	2749,16	183,28	2.932,44
H2	22	172	74	1.795	2693,2	179,55	2.872,75
H3	26	179	76	1.831	2746,33	183,09	2.929,42
H4	26	176	86	1.953	2930,07	195,34	3.125,40
H5	24	167	70	1.702	2552,85	170,19	2.723,04
H6	21	170	72	1.765	2647,1	176,47	2.823,58
H7	27	171	84	1.894	2841,13	189,41	3.030,54
H9	30	174	75	1.765	2647,53	176,50	2.824,04
H10	21	176	72	1.795	2692,13	179,48	2.871,60
H11	21	174	74	1.812	2718,37	181,22	2.899,60
H12	25	171	69	1.701	2552,08	170,14	2.722,22
H13	22	178	70	1.770	2655,73	177,05	2.832,77
H14	21	168	65	1.658	2487,72	165,85	2.653,57
H15	24	174	73	1.778	2667,26	177,82	2.845,08
H16	24	176	87	1.981	2971,02	198,07	3.169,08
H17	28	170	70	1.690	2534,72	168,98	2.703,70
H18	24	174	75	1.806	2708,51	180,57	2.889,08
H19	20	169	79	1.863	2794,14	186,28	2.980,41
H20	23	168	70	1.714	2570,52	171,37	2.741,89
H21	27	169	70	1.692	2537,37	169,16	2.706,53
H22	23	172	74	1.789	2683,04	178,87	2.861,91
H23	24	176	75	1.816	2723,52	181,57	2.905,08
H24	27	174	83	1.895	2843,02	189,53	3.032,56
H25	26	175	80	1.866	2798,81	186,59	2.985,40
H26	20	176	77	1.870	2805,42	187,03	2.992,44
H27	29	165	81	1.809	2713,91	180,93	2.894,83
H30	27	175	79	1.845	2768,03	184,54	2.952,56
H31	35	166	76	1.705	2557,31	170,49	2.727,80
H33	34	178	71	1.703	2554,4	170,29	2.724,69
H34	36	168	78	1.736	2603,41	173,56	2.776,97
H35	34	171	70	1.654	2481,24	165,42	2.646,66
H36	40	169	83	1.782	2673,39	178,23	2.851,61
H37	36	171	72	1.668	2502,17	166,81	2.668,98
H38	36	178	81	1.827	2740,33	182,69	2.923,01
H39	35	171	60	1.510	2264,83	150,99	2.415,82
H40	38	169	71	1.631	2446,21	163,08	2.609,29
H41	40	171	72	1.641	2461,52	164,10	2.625,62
H42	33	171	71	1.675	2512,03	167,47	2.679,50
H43	33	169	68	1.623	2435,15	162,34	2.597,49
H44	38	170	71	1.636	2453,72	163,58	2.617,30
H46	40	170	72	1.636	2454,02	163,60	2.617,62
H47	37	167	78	1.724	2585,74	172,38	2.758,12
H48	31	176	73	1.741	2611,13	174,08	2.785,20
H49	32	179	81	1.859	2788,48	185,90	2.974,38

H50	36	169	71	1.644	2466,54	164,44	2.630,97
H51	40	174	81	1.780	2669,66	177,98	2.847,64
H52	32	169	77	1.754	2630,94	175,40	2.806,33
H53	39	169	70	1.610	2415,42	161,03	2.576,45
H54	38	177	72	1.685	2526,87	168,46	2.695,33
H55	38	164	78	1.702	2553,06	170,20	2.723,27
H56	31	173	71	1.698	2547,37	169,82	2.717,19
H57	39	171	80	1.758	2636,68	175,78	2.812,46
H58	35	168	74	1.687	2531,07	168,74	2.699,81
H59	33	169	85	1.857	2785,77	185,72	2.971,49
H60	38	167	71	1.621	2431,2	162,08	2.593,28
Media							2.799,56
Desviación Estándar							152,01

# ANEXO 4:

## **Energía total consumida**

#### Anexo 4: Energía total consumida:

Mujeres:

Individuo	Peso (kg)	Tasa metabólica – TBM (W/kg)	Tiempo rutina (s)	Energía consumida (J)	Energía consumida (Kcal)
M1	66	2,4	1800	285120	68,21
M2	69	2,4	1800	298080	71,31
M3	65	2,4	1800	280800	67,18
M4	66	2,4	1800	285120	68,21
M5	53	2,4	1800	228960	54,78
M6	51	2,4	1800	220320	52,71
M7	59	2,4	1800	254880	60,98
M8	66	2,4	1800	285120	68,21
M9	59	2,4	1800	254880	60,98
M10	47	2,4	1800	203040	48,57
M11	70	2,4	1800	302400	72,34
M12	69	2,4	1800	298080	71,31
M13	61	2,4	1800	263520	63,04
M14	67	2,4	1800	289440	69,24
M15	65	2,4	1800	280800	67,18
M16	62	2,4	1800	267840	64,08
M17	51	2,4	1800	220320	52,71
M18	52	2,4	1800	224640	53,74
M19	65	2,4	1800	280800	67,18
M20	59	2,4	1800	254880	60,98
M21	73	2,4	1800	315360	75,44
M22	62	2,4	1800	267840	64,08
M23	61	2,4	1800	263520	63,04
M24	52	2,4	1800	224640	53,74
M25	70	2,4	1800	302400	72,34
M26	77	2,4	1800	332640	79,58
M27	54	2,4	1800	233280	55,81
M28	49	2,4	1800	211680	50,64
M29	57	2,4	1800	246240	58,91
M30	61	2,4	1800	263520	63,04
M31	60	2,4	1800	259200	62,01
M32	68	2,4	1800	293760	70,28
M33	55	2,4	1800	237600	56,84
M34	54	2,4	1800	233280	55,81
M35	60	2,4	1800	259200	62,01
M36	50	2,4	1800	216000	51,67

M37	59	2,4	1800	254880	60,98
M38	55	2,4	1800	237600	56,84
M39	49	2,4	1800	211680	50,64
M40	65	2,4	1800	280800	67,18
M41	55	2,4	1800	237600	56,84
M42	55	2,4	1800	237600	56,84
M43	50	2,4	1800	216000	51,67
M45	54	2,4	1800	233280	55,81
M46	68	2,4	1800	293760	70,28
M47	70	2,4	1800	302400	72,34
M48	52	2,4	1800	224640	53,74
M49	52	2,4	1800	224640	53,74
M50	55	2,4	1800	237600	56,84
M51	57	2,4	1800	246240	58,91
M52	65	2,4	1800	280800	67,18
M53	58	2,4	1800	250560	59,94
M55	66	2,4	1800	285120	68,21
M56	54	2,4	1800	233280	55,81
M57	60	2,4	1800	259200	62,01
M58	58	2,4	1800	250560	59,94
M59	55	2,4	1800	237600	56,84
M60	63	2,4	1800	272160	65,11
		Media		257710,34	61,65
		Desviación Estándar		30175,53	7,22

Hombres:

<b>Individuo</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Tasa metabólica – TBM (W/kg)</b>	<b>Tiempo rutina (s)</b>	<b>Energía consumida (J)</b>	<b>Energía consumida (Kcal)</b>
H1	75	2,4	1800	324000	77,51
H2	74	2,4	1800	319680	76,48
H3	76	2,4	1800	328320	78,55
H4	86	2,4	1800	371520	88,88
H5	70	2,4	1800	302400	72,34
H6	72	2,4	1800	311040	74,41
H7	84	2,4	1800	362880	86,81
H9	75	2,4	1800	324000	77,51
H10	72	2,4	1800	311040	74,41
H11	74	2,4	1800	319680	76,48
H12	69	2,4	1800	298080	71,31
H13	70	2,4	1800	302400	72,34
H14	65	2,4	1800	280800	67,18
H15	73	2,4	1800	315360	75,44
H16	87	2,4	1800	375840	89,91
H17	70	2,4	1800	302400	72,34
H18	75	2,4	1800	324000	77,51
H19	79	2,4	1800	341280	81,65
H20	70	2,4	1800	302400	72,34
H21	70	2,4	1800	302400	72,34
H22	74	2,4	1800	319680	76,48
H23	75	2,4	1800	324000	77,51
H24	83	2,4	1800	358560	85,78
H25	80	2,4	1800	345600	82,68
H26	77	2,4	1800	332640	79,58
H27	81	2,4	1800	349920	83,71
H30	79	2,4	1800	341280	81,65
H31	76	2,4	1800	328320	78,55
H33	71	2,4	1800	306720	73,38
H34	78	2,4	1800	336960	80,61
H35	70	2,4	1800	302400	72,34
H36	83	2,4	1800	358560	85,78
H37	72	2,4	1800	311040	74,41
H38	81	2,4	1800	349920	83,71
H39	60	2,4	1800	259200	62,01
H40	71	2,4	1800	306720	73,38
H41	72	2,4	1800	311040	74,41

H42	71	2,4	1800	306720	73,38
H43	68	2,4	1800	293760	70,28
H44	71	2,4	1800	306720	73,38
H46	72	2,4	1800	311040	74,41
H47	78	2,4	1800	336960	80,61
H48	73	2,4	1800	315360	75,44
H49	81	2,4	1800	349920	83,71
H50	71	2,4	1800	306720	73,38
H51	81	2,4	1800	349920	83,71
H52	77	2,4	1800	332640	79,58
H53	70	2,4	1800	302400	72,34
H54	72	2,4	1800	311040	74,41
H55	78	2,4	1800	336960	80,61
H56	71	2,4	1800	306720	73,38
H57	80	2,4	1800	345600	82,68
H58	74	2,4	1800	319680	76,48
H59	85	2,4	1800	367200	87,85
H60	71	2,4	1800	306720	73,38
Media				323057,45	77,29
Desviación Estándar				23495,85	5,62

# **ANEXO 5:**

## **Mediciones antropométricas piernas**

## Anexo 5: Mediciones antropométricas piernas:

Mujeres:

<b>Individuo</b>	<b>Largo nalga - rodilla (cm)</b>	<b>altura rodilla - pie (cm)</b>	<b>Largo pierna (trabajo) (cm)</b>
M1	45	40	85
M2	46	41	87
M3	45	40	85
M4	46	41	86
M5	48	41	89
M6	49	42	91
M7	49	42	91
M8	46	41	88
M9	49	44	93
M10	45	41	86
M11	49	45	94
M12	48	43	91
M13	47	42	88
M14	50	44	94
M15	49	43	92
M16	47	42	89
M17	48	43	92
M18	41	38	79
M19	45	40	84
M20	48	43	91
M21	49	44	93
M22	49	44	93
M23	48	42	90
M24	46	41	87
M25	49	44	93
M26	48	43	92
M27	46	41	87
M28	41	39	80
M29	49	44	93
M30	48	43	92
M31	48	43	91
M32	45	40	84
M33	43	38	82
M34	49	44	93

M35	44	39	83
M36	44	39	84
M37	45	40	85
M38	49	44	93
M39	46	41	88
M40	48	43	92
M41	47	42	88
M42	44	39	83
M43	46	41	86
M45	43	38	82
M46	45	40	85
M47	48	43	92
M48	46	41	86
M49	49	44	93
M50	44	39	84
M51	49	43	92
M52	49	43	92
M53	47	42	89
M55	49	45	94
M56	43	39	82
M57	46	41	87
M58	45	40	85
M59	42	39	81
M60	46	41	87
Media	46,63	41,57	88,11
Desv Est	2,31	1,86	4,11

Hombres:

<b>Individuo</b>	<b>Largo nalga - rodilla (cm)</b>	<b>altura rodilla- pie (cm)</b>	<b>Largo pierna (cm)</b>
H1	53	51	104
H2	52	50	103
H3	55	52	107
H4	54	52	105
H5	50	49	99
H6	52	50	102
H7	52	50	102
H9	53	51	104
H10	54	52	105
H11	53	51	104
H12	52	50	102
H13	54	52	106
H14	51	49	100
H15	53	51	104
H16	54	52	105
H17	52	50	102
H18	53	51	104
H19	49	49	98
H20	48	47	95
H21	52	50	101
H22	52	50	103
H23	54	52	105
H24	53	51	104
H25	53	51	105
H26	54	52	105
H27	45	44	89
H30	53	51	105
H31	51	49	99
H33	54	52	106
H34	51	49	100
H35	52	50	102
H36	52	50	101
H37	52	50	102
H38	56	54	110
H39	52	48	100
H40	52	49	100

H41	52	49	101
H42	52	50	102
H43	51	51	102
H44	53	50	103
H46	52	50	102
H47	51	49	100
H48	54	52	105
H49	55	52	107
H50	50	49	99
H51	53	51	104
H52	52	50	101
H53	48	47	95
H54	54	52	106
H55	45	44	89
H56	53	51	103
H57	52	50	102
H58	51	49	100
H59	48	47	95
H60	50	50	100
Media	51,95	50,04	101,88
Desv Est	2,14	1,83	3,92

# ANEXO 6:

## **Velocidades experimentales**

## Anexo 6: Velocidades experimentales

Mujeres:

Ind.	Evento 1		Evento 2		Evento 3		Evento 4		Evento 5	
	alta	baja								
1	53	37	55	30	46	40	40	40	55	42
2	50	43	39	32	48	31	48	43	56	38
3	49	37	49	43	49	41	58	38	40	31
4	49	30	42	31	43	34	42	43	46	35
5	47	36	47	38	53	40	44	32	48	40
6	44	43	57	37	40	45	41	41	47	44
7	45	37	55	44	40	34	57	37	49	40
8	50	46	56	40	55	45	41	36	52	31
9	43	41	46	45	44	46	49	45	45	37
10	54	45	45	37	39	45	38	36	57	39
11	45	30	49	35	40	44	52	35	52	32
12	46	38	48	42	38	31	44	40	55	37
13	40	40	42	37	57	44	52	38	39	34
14	38	30	45	34	55	44	54	31	55	41
15	49	33	41	39	51	35	58	40	51	40
16	44	45	52	30	47	43	58	45	50	45
17	46	30	40	30	45	46	56	42	54	44
18	44	35	50	41	54	39	58	39	46	37
19	58	45	55	32	53	35	50	43	54	42
20	47	43	43	37	47	32	47	42	52	41
21	56	38	40	38	38	35	48	38	41	45
22	46	31	48	40	48	44	44	39	52	31
23	49	34	50	32	55	34	38	37	51	34
24	58	39	40	35	38	39	47	40	38	43
25	50	35	49	30	40	34	50	34	46	30
26	52	42	49	41	50	32	46	36	47	37
27	56	43	44	46	48	36	48	33	56	38
28	51	41	42	39	40	38	47	39	55	44
29	58	30	49	43	54	30	53	35	55	33
30	52	44	43	32	40	45	49	33	46	40
31	48	46	43	32	42	41	45	38	48	46
32	39	39	55	32	41	31	56	40	46	37
33	42	35	47	43	41	34	45	36	38	43
34	53	44	52	42	40	44	47	30	55	34
35	42	40	55	46	53	45	50	38	56	46

36	41	43	57	30	43	43	41	41	54	45
37	42	36	42	43	56	39	43	39	41	36
38	40	38	55	42	39	32	48	36	46	43
39	52	41	46	33	55	38	49	30	46	34
40	48	38	52	42	41	31	58	36	38	35
41	50	36	43	45	43	40	52	41	50	32
42	48	41	54	30	42	42	48	31	52	31
43	53	36	45	40	43	34	58	37	38	41
44	58	32	53	37	55	42	48	33	56	41
45	41	33	46	42	44	44	55	31	55	40
46	40	42	56	37	48	41	49	32	47	31
47	55	30	58	38	46	38	56	42	45	41
48	49	45	49	33	38	35	48	40	45	39
49	52	45	47	43	41	43	53	36	42	41
50	40	30	40	34	44	33	52	31	55	39
Media	48,04	38,22	48,1	37,48	45,8	38,62	49,16	37,36	48,86	38,4
Desv Est	5,59	5,13	5,52	5,03	5,98	5,05	5,65	4,02	5,79	4,64

Hombres

Ind.	Evento 1		Evento 2		Evento 3		Evento 4		Evento 5	
	alta	baja								
1	50	39	58	41	55	37	52	39	53	34
2	50	55	46	57	54	51	53	55	59	59
3	56	50	59	56	46	51	55	49	47	47
4	50	58	48	52	55	46	50	48	51	60
5	58	47	53	58	52	46	59	50	56	50
6	59	55	46	59	58	53	57	59	59	58
7	48	52	60	49	54	55	60	49	48	48
8	56	50	50	57	60	50	47	58	48	58
9	46	54	59	52	59	52	48	56	60	49
10	52	58	56	49	49	60	53	49	48	47
11	59	47	52	57	48	55	54	57	51	59
12	60	56	49	47	47	55	51	49	50	52
13	49	47	54	57	49	59	52	55	50	52
14	50	50	54	55	52	56	52	53	59	49
15	51	58	48	57	50	48	53	57	52	50
16	57	51	58	54	57	53	48	57	60	60
17	47	54	51	52	56	47	51	51	55	60
18	57	57	58	52	59	51	47	49	52	49
19	51	54	46	54	54	52	47	60	54	60
20	46	48	55	48	52	55	46	56	58	57
21	58	59	48	49	53	50	56	55	46	52
22	58	48	53	49	59	53	52	49	50	59
23	54	48	51	48	48	55	56	49	53	47
24	52	53	52	55	59	60	46	58	46	56
25	48	54	56	49	52	57	55	53	52	51
26	51	49	58	51	49	57	55	52	56	54
27	53	57	49	54	49	56	47	60	57	47
28	57	46	57	52	47	57	52	53	47	50
29	46	53	57	59	47	58	55	51	53	49
30	56	48	54	54	51	51	48	56	60	60
31	54	46	54	59	52	59	56	51	47	51
32	53	57	60	56	56	52	55	52	51	48
33	48	46	47	49	49	55	60	49	49	52
34	53	53	58	49	50	53	54	56	57	55
35	54	53	52	49	58	56	57	58	55	47
36	49	52	49	46	60	50	46	58	49	48
37	55	52	50	60	53	50	50	49	51	53

38	48	47	58	56	55	46	59	58	49	60
39	50	48	53	49	56	55	47	51	50	50
40	49	48	52	55	59	50	52	52	48	59
41	60	59	60	55	52	60	58	58	48	48
42	57	53	50	49	53	51	52	57	58	55
43	54	50	52	53	55	58	51	50	53	46
44	50	54	57	59	48	47	57	54	53	52
45	48	55	59	49	56	52	54	51	52	48
46	59	58	58	52	49	57	57	56	49	50
47	49	55	50	48	58	51	46	54	56	51
48	52	60	47	52	49	59	55	52	53	59
49	56	50	49	59	59	57	58	51	53	48
50	60	47	55	54	54	60	56	52	58	58
Media	52,86	51,96	53,3	52,82	53,22	53,28	52,74	53,22	52,58	52,42
Desv Est	4,23	4,49	4,31	4,22	4,12	4,65	4,12	4,08	4,14	5,41

# **ANEXO 7:**

## **Antropométricas perímetros piernas**

## Anexo 7: Antropométricas perímetros piernas

Mujeres:

Individuo	Perímetro muslo superior (cm)	Perímetro muslo inferior (cm)	Perímetro pantorrilla superior (cm)	Perímetro pantorrilla inferior (cm)
M1	72	51	48	29
M2	75	51	46	30
M3	73	49	46	28
M4	69	51	47	28
M5	76	51	48	32
M6	73	49	46	32
M7	70	52	50	30
M8	72	52	51	31
M9	73	54	49	29
M10	71	53	49	32
M11	73	52	48	30
M12	73	53	48	31
M13	75	50	51	32
M14	70	54	48	29
M15	74	49	47	31
M16	69	53	49	29
M17	70	50	51	29
M18	73	50	49	31
M19	73	50	50	30
M20	70	49	48	31
M21	72	54	50	28
M22	75	50	48	29
M23	76	52	50	28
M24	76	49	48	29
M25	69	54	50	28
M26	74	52	47	30
M27	73	50	51	29
M28	69	51	50	31
M29	69	52	49	29
M30	72	49	51	30
M31	70	54	47	30
M32	74	49	49	30
M33	73	51	48	29
M34	75	51	47	29
M35	71	54	51	32
M36	75	49	51	29
M37	71	51	47	32
M38	71	54	51	28
M39	72	52	46	32
M40	69	49	48	32
M41	72	51	48	32
M42	72	52	49	28
M43	71	54	50	31
M45	70	52	47	31
M46	71	54	46	32
M47	71	53	49	32

M48	72	51	50	31
M49	76	49	51	32
M50	74	50	49	30
M51	75	52	46	31
M52	76	52	49	30
M53	70	52	48	29
M55	74	54	51	31
M56	73	50	47	29
M57	71	51	48	32
M58	73	52	50	28
M59	71	49	46	32
M60	71	54	50	28
Media	72,29	51,41	48,66	30,12
Desv Est	2,10	1,73	1,63	1,43

Hombres:

Individuo	Perímetro muslo superior (cm)	Perímetro muslo inferior (cm)	Perímetro pantorrilla superior (cm)	Perímetro pantorrilla inferior (cm)
H1	65	45	43	25
H2	67	44	42	25
H3	67	47	45	25
H4	64	44	42	25
H5	68	45	43	26
H6	68	44	43	26
H7	68	45	44	24
H9	65	44	42	26
H10	65	46	42	26
H11	64	44	42	24
H12	67	45	45	26
H13	64	44	43	24
H14	66	45	44	26
H15	66	44	42	24
H16	66	47	45	25
H17	65	45	45	24
H18	65	47	45	26
H19	64	45	44	24
H20	64	44	42	26
H21	65	45	44	26
H22	66	44	43	24
H23	66	46	42	26
H24	64	45	43	24
H25	67	46	45	26
H26	64	44	42	25
H27	68	47	44	26
H30	68	47	43	24
H31	64	44	43	26
H33	64	46	44	24
H34	64	46	43	25
H35	66	47	42	25
H36	68	45	45	25
H37	65	44	42	24
H38	66	47	45	26
H39	67	45	42	25
H40	65	44	42	26
H41	66	45	45	24
H42	65	45	43	24
H43	65	47	44	26
H44	66	45	43	26
H46	68	44	42	24
H47	67	47	45	26
H48	65	47	44	26
H49	64	44	43	25
H50	66	44	44	26
H51	66	46	44	26
H52	65	44	42	26
H53	68	47	44	25

H54	66	47	45	25
H55	64	46	45	24
H56	68	44	43	24
H57	68	44	43	25
H58	68	44	43	26
H59	68	46	43	24
H60	64	44	43	25
Media	65,85	45,20	43,36	25,11
Des. Est	1,47	1,18	1,11	0,85