

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LOS MIEMBROS INFERIORES DEL CUERPO, PARA EL ESTUDIO DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA HUMANA EN ENERGÍA ELÉCTRICA, EN EL PEDALEO ELÍPTICO.

AUTORES:

**LEBIS GABRIEL RECALDE SALAZAR
NELSON ENRIQUE VILLAGRÁN TUFÍÑO**

DIRECTOR:

FABIO EDUARDO OBANDO HERRERA

Quito, mayo de 2015

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico ha sido realizado en su totalidad por los señores Lebis Gabriel Recalde Salazar y Nelson Enrique Villagrán Tufiño.

Los conceptos desarrollados, análisis, cálculos realizados, conclusiones y recomendaciones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Ing. Fabio Eduardo Obando Herrera

DIRECTOR DE TESIS

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros Lebis Gabriel Recalde Salazar y Nelson Enrique Villagrán Tufiño autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaramos que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Lebis Gabriel Recalde Salazar

1714640354

Nelson Enrique Villagrán Tufiño

1717439358

DEDICATORIA

Dedico a mi padre Dios por darme la fuerza y sabiduría para culminar con esta etapa de mi vida y por sostenerme con su mano en todo momento.

A mi padre Edwin Villagrán que se encuentra en el cielo y se estaría muy orgulloso por esto.

A mi madre Myrian Tufiño quien me enseñó el verdadero valor de la vida, una mujer luchadora, generosa, fiel al amor de sus hijos y que sobre todo me enseñó que el temor a Dios es el principio de la sabiduría. Ya que siempre estuvo impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera.

A mis hermanos Lorena, Diana y Santiago por su insuperable apoyo mil gracias, porque creyeron en mí y me motivaron a seguir adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta.

A la mujer que amo Andrea, le dedico este logro por su paciencia, por su comprensión, por su fuerza, por su amor, siendo mi apoyo en todo momento depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba.

De manera especial agradezco a mi tío y jefe Guillermo Tufiño por su apoyo incondicional que durante este camino me ha brindado, quien me enseñó el valor de un buen trabajo cuando se lo hace con responsabilidad, paciencia, profesionalismo, y con el amor que se siente por la profesión que uno eligió, gracias por todo.

A mis seres queridos y amigos por recordarme constantemente el terminar mi carrera.

Nelson Enrique Villagrán Tufiño.

DEDICATORIA

Dedico a Dios por darme la oportunidad de vida para realizar mis sueños, fuerza y sabiduría para terminar etapas importantes en mi vida.

A mi madre Celia Salazar quien me enseñó el esfuerzo la perseverancia y la constancia, una mujer maravillosa, fiel al amor de sus hijos. La voz que siempre estuvo dándome aliento en los momentos más difíciles.

A mi hija quien es motor de mi vida, la razón y el sentido de terminar mis metas.

A mis hermanas, Alejandra y Estefanía por su apoyo incondicional, porque me motivaron a seguir adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, por esas promesas que de niños nos hicimos, hoy puedo ver alcanzada mi meta.

De manera especial agradezco a todas las personas que me dieron su apoyo incondicional que durante este camino me han brindado, no solo en el camino universitario, quiero agradecer aquellos que me hicieron conocer este mundo de la ingeniería industrial.

A mis seres queridos y amigos por creer en mí y en especial a esa persona que Dios puso en mi camino para darme fuerzas.

Lebis Gabriel Recalde Salazar.

AGRADECIMIENTO

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos este grupo de trabajo. Por esto agradezco a nuestro director de tesis, Ing. Fabio Obando, profesor a lo largo de nuestra carrera y hoy quien nos encamina hasta la cúspide de la meta por alcanzar.

Finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien a todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

Nelson Enrique Villagrán Tufiño.

AGRADECIMIENTO

Esta tesis es el buen resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos este grupo de trabajo. Por esto agradezco a nuestro director de tesis, Ing. Fabio Obando, profesor a lo largo de nuestra carrera y hoy quien nos encamina hasta la cúspide de la meta por alcanzar.

De manera especial doy gracias al ing. Milton Jami quien sido un apoyo incondicional a lo largo de mi carrera.

Finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien a todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

Lebis Gabriel Recalde Salazar.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
MARCO TEÓRICO	2
1.1. Posición anatómica.....	2
1.1.2. Planos y secciones del cuerpo	2
1.2. El sistema esquelético.....	3
1.3. Funciones de los huesos	4
1.4. Columna vertebral	5
1.5. Articulaciones.....	6
1.5.1. Resumen de las clases de articulaciones	8
1.6. Músculos de las extremidades inferiores.....	8
1.6.1. Los músculos que causan movimientos en la articulación de la cadera.....	9
1.6.2. Músculos que provocan movimiento en la articulación de la rodilla.....	11
1.6.3. Músculos que provocan el movimiento en el tobillo el pie.....	12
1.7. Aparato locomotor de la extremidad inferior	13
1.7.1. Huesos	14
1.8. Tasa metabólica	16
1.8.1. Medición de la tasa metabólica de todo el organismo.....	17
1.8.2. Requerimientos energéticos globales para las actividades diarias	17
1.8.3. Tasa metabólica basal.....	18
1.8.4. Energía empleada para la actividad física	20
1.8.5. Deportistas varones y mujeres.....	21
1.9. Los músculos en el ejercicio.....	22
1.9.1. Fuerza, potencia y resistencia de los músculos	22
1.10. Descriptores anatómicos del movimiento	23
1.10.1. Planos de movimiento.....	25
1.10.2. Grados de libertad de las articulaciones.....	26
1.10.3. Terminología para describir el movimiento de los segmentos:	28
1.10.4. Estructuración y análisis del movimiento	30
1.10.5. Características del movimiento:.....	32
CAPÍTULO II	34
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE INVESTIGACIÓN	34
2.1. Determinación del individuo óptimo para el análisis	34

2.2.	Potencia Teórica Generada.....	41
2.3.	Análisis máquina de ejercicios Orbitrek.....	42
2.3.1.	Diferencia entre bicicleta estática y bicicleta elíptica.....	42
2.3.2.	Análisis del sistema motor.....	42
2.3.3.	Descripción del movimiento:	45
	CAPÍTULO III.....	50
	ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA PIERNA	50
3.1.	Determinación de la velocidad angular de la trayectoria del pie.....	50
3.2.	Determinación de ángulos del movimiento de la pierna.	50
3.2.1.	Medición de los ángulos de la pierna:	52
3.3.	Simulación de los elementos de la pierna:	55
3.4.	Potencia real generada.....	59
	CAPÍTULO IV	62
	ANÁLISIS DE ENERGÍA	62
4.1.	Análisis energético del cuerpo humano.....	62
4.1.1.	Estimación de requerimientos energéticos	62
4.1.2.	Cálculo del gasto energético diario durante el reposo.....	62
4.1.3.	Cálculo de la actividad física (AF)	64
4.1.4.	Cálculo del gasto de energía por efecto termo-génico de los alimentos	65
4.1.5.	Cálculo del gasto energético por estrés fisiológico	65
4.2.	Cálculo del gasto total energético.....	66
4.3.	Músculos usados en el ejercicio	67
4.3.1.	Músculos de piernas usados	67
	CONCLUSIONES.....	72
	RECOMENDACIONES.....	73
	LISTA DE REFERENCIAS	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Términos de regiones nombres de las áreas corporales específicas	2
Figura 1.2: Posiciones y planos anatómicos del cuerpo (medio, frontal y transversal)	3
Figura 1.3: Clasificación de los huesos según su forma.	5
Figura 1.4: Columna vertebral	6
Figura 1.5: Tipos de articulaciones.	7
Figura 1.6: Tipos de articulaciones sinoviales	8
Figura 1.7: Músculos pélvicos de la cadera y de la parte derecha del cuerpo.	10
Figura 1.8: Vista anterior de los músculos de la cadera y el muslo	11
Figura 1.9: Músculos superficiales de la pierna derecha	13
Figura 1.10: Fémur vista anterior.....	14
Figura 1.11: Rótula	15
Figura 1.12: Tibia y peroné, vista anterior.....	15
Figura 1.13: Huesos del pie, visión lateral.....	16
Figura 1.14: Componentes del gasto energético	19
Figura 1.15: Tasas metabólicas basales normales para las diferentes edades y sexos	20
Figura 1.16: Términos anatómicos utilizados para descubrir una dirección o posición relativa.....	24
Figura 1.17: Movimientos en el plano sagital.....	25
Figura 1.18: Movimientos en el plano frontal.	25
Figura 1.19: El movimiento de golpeo en fútbol ocurre como la mayoría de los gestos deportivos en tres planos del espacio.	26
Figura 1.20: Movimientos de los diferentes segmentos del cuerpo.....	27
Figura 1.21: Movimientos de flexión y extensión en el plano sagital	29
Figura 1.22: Movimientos de abducción y aducción en el plano frontal.....	29
Figura 1.23: Movimientos de rotación en el plano transversal	30
Figura 1.24: Movimientos especiales	30
Figura 1.25: Desarrollo del modelo técnico para la identificación de los fallos y su posterior jerarquización en la transmisión de información al deportista.	32
Figura 1.26: Características cualitativas y cuantitativas del movimiento.....	33
Figura 2.1: Peso promedio	39
Figura 2.2: Estatura promedio.....	40
Figura 2.3: Orbitrek	42

Figura 2.4: Partes del sistema motor Orbitrek	43
Figura 2.5: Lista de partes orbitrek	43
Figura 2.6: Simulación de la transmisión	44
Figura 2.7: Sistema motor orbitrek	44
Figura 2.8: Movimiento 1	45
Figura 2.9: Movimiento 2	45
Figura 2.10: Movimiento 4	46
Figura 2.11: Movimiento 3	46
Figura 2.12: Movimiento 5	47
Figura 2.13: Trayectoria.....	47
Figura 2.14: Distancia brazo del pedal.....	48
Figura 2.15: Distancia pedal	48
Figura 2.16: Trayectoria Autocad Mechanical	49
Figura 3.1: Posición 1	51
Figura 3.2: Posición 2	51
Figura 3.3: Posición 3	52
Figura 3.4: Longitudes segmentos	53
Figura 3.5: Dirección segmentos	54
Figura 3.6: Proceso 1	56
Figura 3.7: Proceso 2	56
Figura 3.8: Proceso 3	57
Figura 3.9: Proceso 1	58
Figura 3.10: Proceso 2	58
Figura 3.11: Proceso 3	59
Figura 4.1: Cálculo gasto energético.....	63
Figura 4.2: Clasificación de las actividades.....	64
Figura 4.3: Factor de actividad física.....	64
Figura 4.4: Rutina de ejercicio.....	67
Figura 4.5: Músculos usados 1.....	67
Figura 4.6: Músculos usados 2.....	68
Figura 4.7: Primera interacción.....	69
Figura 4.8: Segunda interacción.....	69
Figura 4.9: Tercera interacción	70
Figura 4.10: Resorte.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Tipos de articulaciones sinoviales	8
Tabla 1.2: Energía consumida por un hombre de 70 kg de peso en diferentes actividades.....	21
Tabla 1.3: Máxima potencia que se puede alcanzar por todos los músculos del cuerpo en un deportista altamente entrenado.....	23
Tabla 1.4: Movimientos articulares especiales	28
Tabla 1.5: Movimientos y GDL de los segmentos.....	28
Tabla 2.1: Muestra mujeres E1	34
Tabla 2.2: Muestra mujeres E2	35
Tabla 2.3: Muestra hombres E1	36
Tabla 2.4: Muestra hombres E2	37
Tabla 2.5: Promedios del muestreo.....	39
Tabla 2.6: Individuo óptimo	40
Tabla 2.7: Resumen, Tabla resultados obtenidos en potencia (Sàez, 2010)	41
Tabla 2.8: Interpolación potencia.....	41
Tabla 3.1: Velocidad Angular	50
Tabla 3.2: Ángulos de la pierna	52
Tabla 3.3: Modelo biomecánico de la pierna.....	53
Tabla 3.4: Dimensiones de la pierna (simulación).....	55
Tabla 3.5: Resultado Coord. Muslo	57
Tabla 3.6: Resultado Coord. Pantorrilla.....	59
Tabla 3.7: Energía cinética Pie	60
Tabla 3.8: Energía cinética Muslo	60
Tabla 3.9: Energía cinética total	60
Tabla 3.10: Potencia generada	60
Tabla 4.1: Gasto energético total	62
Tabla 4.2: Individuo óptimo	63
Tabla 4.3: Cálculo del gasto total energético.....	66
Tabla 4.4: Tiempo-potencia	71

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad investigar la transformación de la energía que posee el cuerpo humano en energía eléctrica mediante la utilización de una máquina conocida como elíptica poniendo en práctica la biomecánica en las extremidades inferiores (piernas) del cuerpo humano.

La Biomecánica es una disciplina científica que tiene por objeto el estudio de las estructuras de carácter mecánico que existen en los seres vivos, fundamentalmente del cuerpo humano. Esta área de conocimiento se apoya en diversas ciencias biomédicas, utilizando los conocimientos de la mecánica, la ingeniería, la anatomía, la fisiología y otras disciplinas, para estudiar el comportamiento del cuerpo humano y resolver los problemas derivados de las diversas condiciones a las que puede verse sometido.

Nuestro estudio se basará en un individuo del género masculino, con una edad comprendida entre 20 – 30 años, en el que se tienen características fisiológicas óptimas para nuestro análisis.

De esta manera se puede demostrar mediante el análisis y modelos matemáticos que se puede transformar hasta cierto porcentaje de energía humana a energía eléctrica.

ABSTRACT

This project aims to investigate the transformation of the energy possessed by the human body into electrical energy using a known as elliptical implementing the biomechanics of the lower extremities (legs) of the human body machine.

Biomechanics is a scientific discipline that aims to study the structures of mechanical character that exist in living organisms, primarily the human body. This knowledge area is supported by various biomedical sciences, using knowledge of mechanics, engineering, anatomy, physiology and other disciplines to study the behavior of the human body and solve the problems arising from the various conditions that can be subjected.

Our study is based on an individual's male, with ages between 20-30 years, which have optimal physiological characteristics for our analysis. Thus it can be shown by analysis and mathematical models that can be transformed to a certain percentage of human energy to electrical energy.

INTRODUCCIÓN

Un mecanismo muy usado para realizar ejercicio es la elíptica ya que proporciona una acción cardiovascular del cuerpo completo que permite quemar calorías de forma eficiente. Hacerla funcionar sólo requiere del movimiento de las extremidades inferiores, ya que los usuarios tienen la posibilidad de soltar los brazos de la máquina y aferrarse a la barra horizontal fija para hacerla funcionar tan sólo con la parte inferior del cuerpo, manteniendo de esta forma el equilibrio y apoyo.

Los pedales van asociados a un volante de inercia que proporciona una acción de pedaleo suave, simulando el andar o correr natural. Los pedales pueden ajustarse a diferentes resistencias y se mueven hacia delante y hacia atrás. Muchas elípticas también tienen pedales ajustables para adaptarse a la altura del usuario y el ángulo de sus pies.

Cualquier movimiento o actividad corporal implica un esfuerzo físico que lleva a la utilización de energía almacenada y disponible en el cuerpo humano, esa utilización de energía se va oxidando o quemando mediante las calorías disponibles por nutrientes en especial los carbohidratos. Por lo que para mantener toda esta actividad, obtenemos nuestra energía sólo de los alimentos. De acuerdo a la cadena alimenticia, la especie humana obtiene los nutrientes y la energía a partir de plantas y animales, dicha energía va desde el alimento a nuestro cuerpo, para desarrollar diversas funciones mediante transformaciones de la energía.

Así, el organismo transforma la energía química de los alimentos en energía mecánica (movimiento), energía térmica (calor) y energía eléctrica (transmisión de impulsos nerviosos).

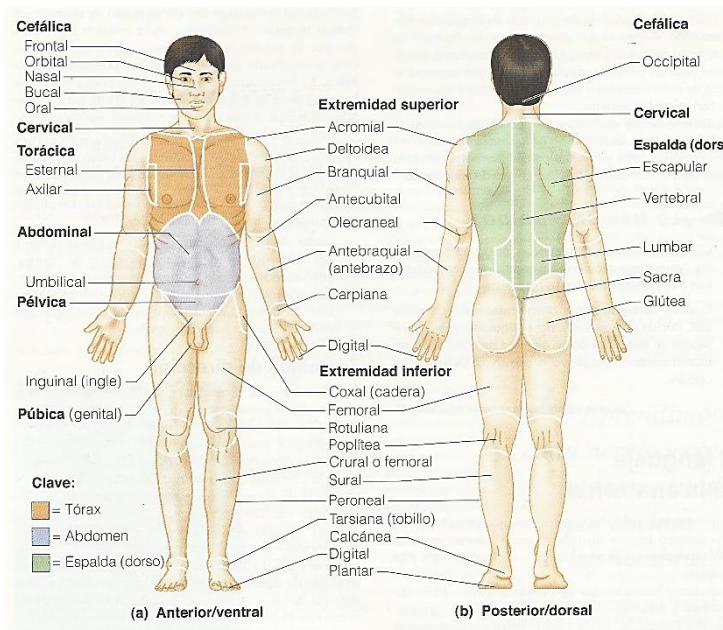
CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Posición anatómica.

Para describir con exactitud las partes del cuerpo su posición debemos disponer de un punto de referencia y utilizar términos de dirección. Para evitar la confusión, siempre se asume que el cuerpo se halla en una posición normalizada que se denomina **posición anatómica**.

Figura 1.1: Términos de regiones nombres de las áreas corporales específicas



Fuente: Marieb, 2008, p.16

1.1.2. Planos y secciones del cuerpo

Cuando se atraviesa a través de la pared corporal o de un órgano sigue una línea imaginaria que se denomina **plano**. Puesto que el cuerpo es tridimensional, podemos hacer referencia a tres tipos de planos o cortes que se forman ángulo recto entre sí (figura 1.2)

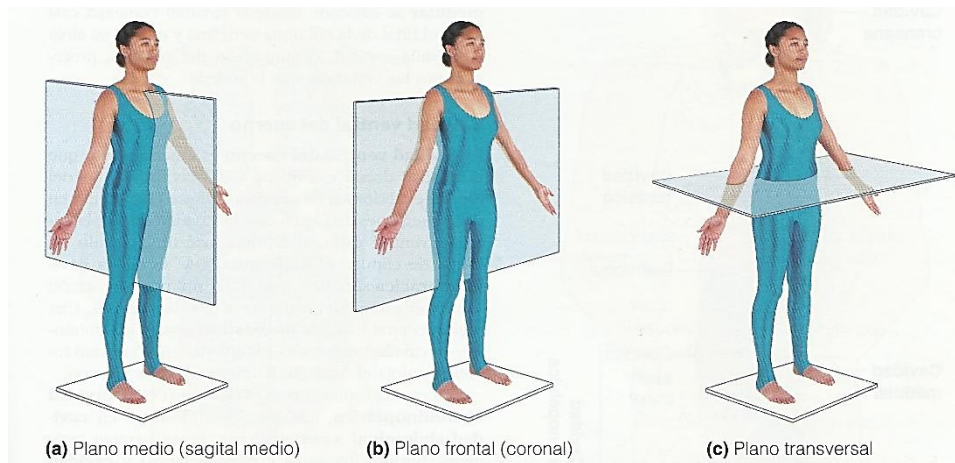
Una sección sagital es un corte a lo largo del plano longitudinal del cuerpo que lo divide así en partes derecha e izquierda.

En caso de que el corte se realice por el plano medio del cuerpo y las partes derecha e izquierda tengan igual tamaño, se denominará **sección mediana** o **sagital media**.

La sección frontal se corta en un plano longitudinal que divide el cuerpo (o un órgano) en partes anterior y posterior. También se llama sección coronal.

Una sección transversal es un corte que sigue un plano horizontal y divide con ello el cuerpo o el órgano en partes superior e inferior. (Marieb, 2008, p. 15-19)

Figura 1.2: Posiciones y planos anatómicos del cuerpo (medio, frontal y transversal)



Fuente: Marieb, 2008, p.19

1.2. El sistema esquelético

La palabra esqueleto viene de la palabra griega que significa “cuerpo seco”, fuerte aunque ligero, está perfectamente adaptado a las funciones de protección y movimiento del cuerpo. De hecho, el esqueleto es una torre de huesos organizada de modo que podamos mantenernos rectos y equilibrados por nosotros mismos.

El esqueleto se divide en dos partes: el **esqueleto axial**, los huesos que forman el eje longitudinal del cuerpo, y el **esqueleto apendicular**, los huesos de los miembros y las cinturas. Además de los huesos, el sistema esquelético incluye las articulaciones, los cartílagos y los ligamentos (cuerdas fibrosas que unen los huesos a las articulaciones). Las articulaciones proporcionan flexibilidad al cuerpo y permiten que se produzca el movimiento.

1.3. Funciones de los huesos

Soporte Forman la estructura interna que soporta el cuerpo y aloja los órganos blandos. Los huesos de las piernas sirven de pilares para soportar el tronco corporal cuando estamos de pie y el tórax soporta la pared torácica.

Protección Los huesos protegen los órganos **corporales blandos**.

Movimiento Los músculos esqueléticos, unidos a los huesos por los tendones, utilizan los huesos a modo de palancas para mover el cuerpo y sus partes.

Almacenamiento La grasa se almacena en las cavidades óseas internas. El hueso por sí mismo sirve de almacén de minerales, entre los que destacan el calcio y el fósforo por su importancia.

Formación de células sanguíneas La formación de células sanguíneas (o hematopoyesis) se produce dentro de las cavidades del tuétano de determinados huesos.

Clasificación de los huesos

El esqueleto adulto consta de 206 huesos. Existen dos tipos básicos de tejido óseo (o huesos): el **hueso compacto** es denso y tiene un aspecto más suave y homogéneo. El **hueso esponjoso** consta de pequeñas partes de hueso con forma de alfiler y muchos espacios abiertos.

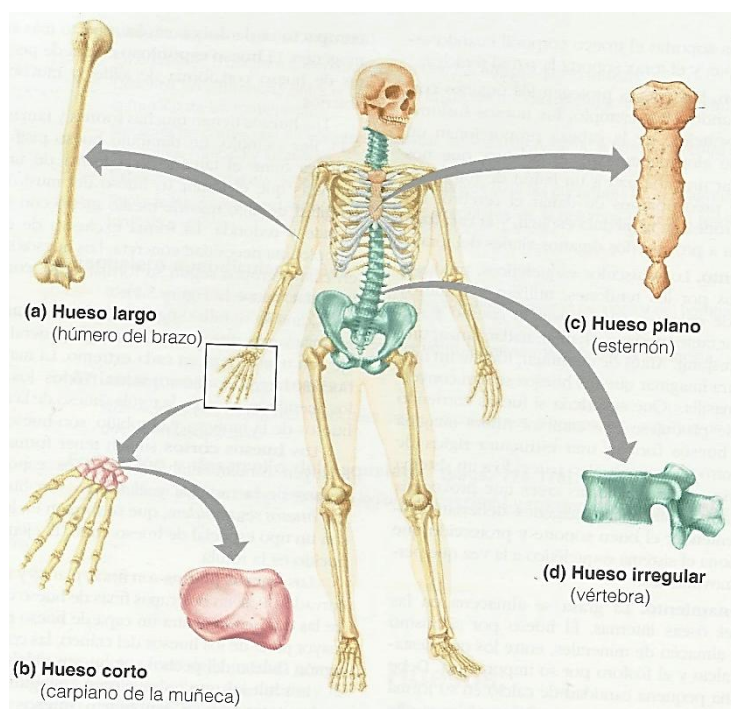
Los huesos largos suelen ser más largos que anchos. Por regla general, poseen un eje con una cabeza en cada extremo.

Los huesos cortos suelen tener forma de cubo e incluyen fundamentalmente en cada extremo.

Los huesos planos son finos, planos y normalmente curvados.

Los huesos que no se ajustan a ninguna de las categorías anteriores se denominan **huesos irregulares**.

Figura 1.3: Clasificación de los huesos según su forma.



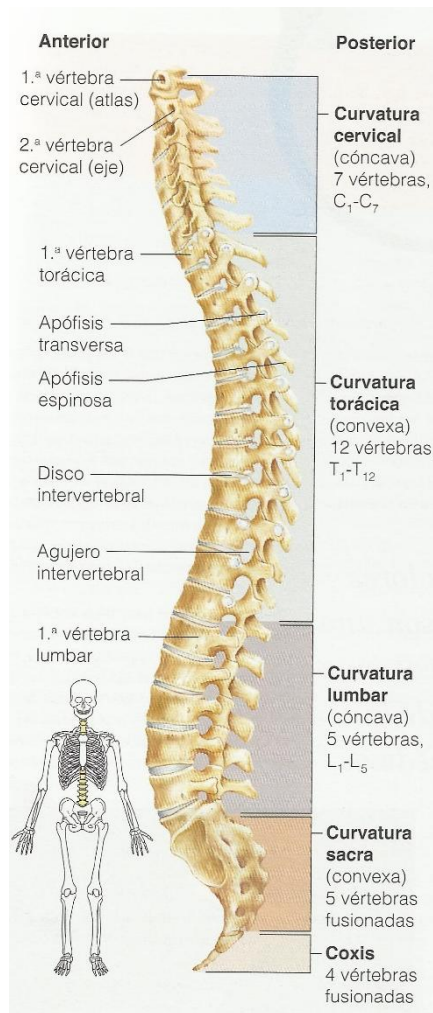
Fuente: Marieb, 2008, p.136

1.4. Columna vertebral (espina dorsal)

Como apoyo axial del cuerpo, la columna vertebral o espina dorsal abarca desde el cráneo, al que apoya hasta la pelvis, donde transmite el peso corporal a los miembros inferiores.

La espina dorsal está formada por 26 huesos irregulares conectados y reforzados por ligamentos de modo que el resultado es una estructura curva flexible (figura 1.4). Recorriendo la cavidad central de la columna vertebral encontramos la delicada médula espinal, que está rodeada y protegida por la columna vertebral.

Figura 1.4: Columna vertebral



Fuente: Marieb, 2008, p.151

Las vértebras individuales están separadas por almohadillas de fibrocartílago flexible (**discos intervertebrales**) que amortiguan las vértebras y absorben los golpes a la vez que aportan flexibilidad a la espina dorsal. (Marieb, 2008, p. 134-151)

1.5. Articulaciones

Con una excepción (el hueso hioides del cuello), todos los huesos del cuerpo forman una articulación al menos con otro hueso. Las articulaciones tienen dos funciones: mantienen los huesos juntos firmemente, pero también proporcionan movilidad al rígido esqueleto.

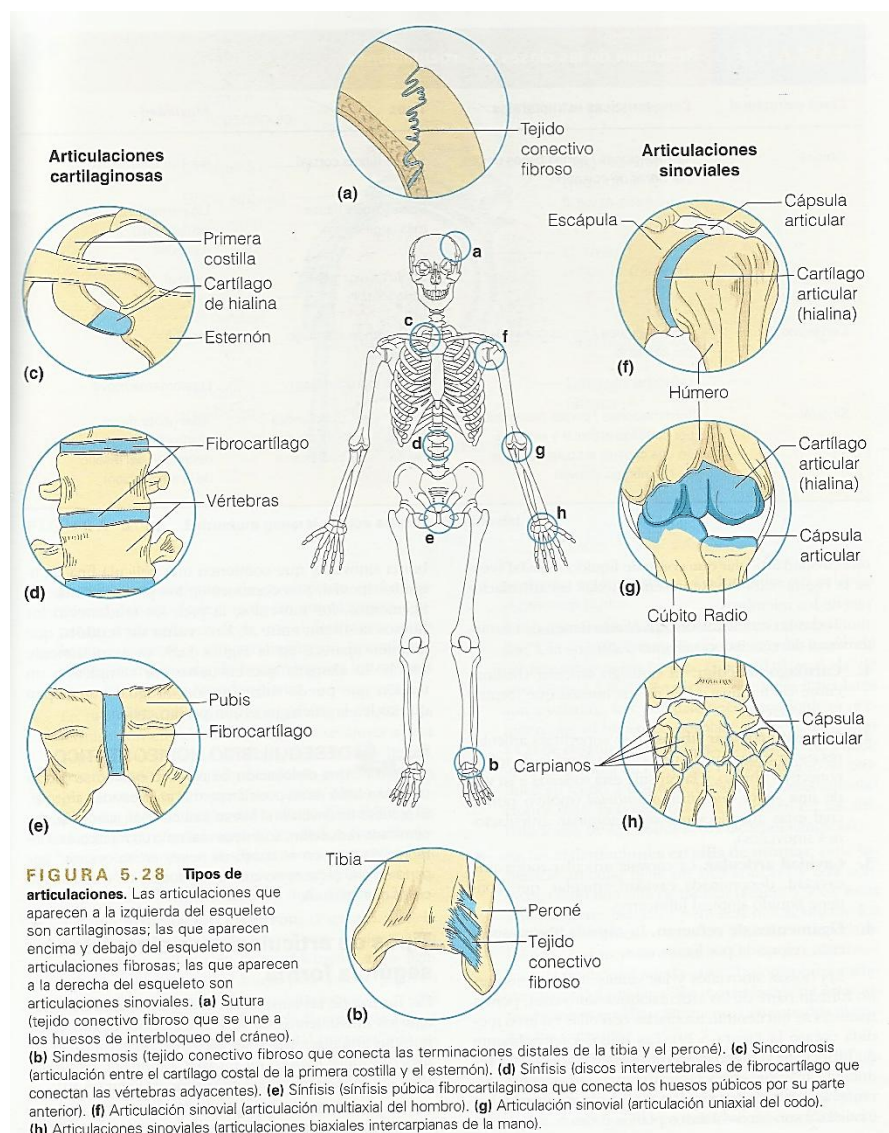
Las articulaciones se clasifican de dos formas: funcionalmente y estructuralmente. La clasificación funcional se centra en la cantidad de movimiento que permiten las

articulaciones. Según esto, hay **sinartrosis** (o articulaciones rígidas); **anfiartrosis** (o articulaciones ligeramente móviles) y **diartrosis** (o articulaciones totalmente móviles).

Estructuralmente hay articulaciones fibrosas, cartilagosas y sinoviales.

Por regla general, las articulaciones fibrosas son inmóviles, y las articulaciones sinoviales pueden moverse libremente. Aunque las articulaciones cartilagosas poseen ejemplos inmóviles y ligeramente móviles, la mayoría son anfiartrosis. (Marieb, 2008, p. 166-173)

Figura 1.5: Tipos de articulaciones.



Fuente: Marieb, 2008, p.169

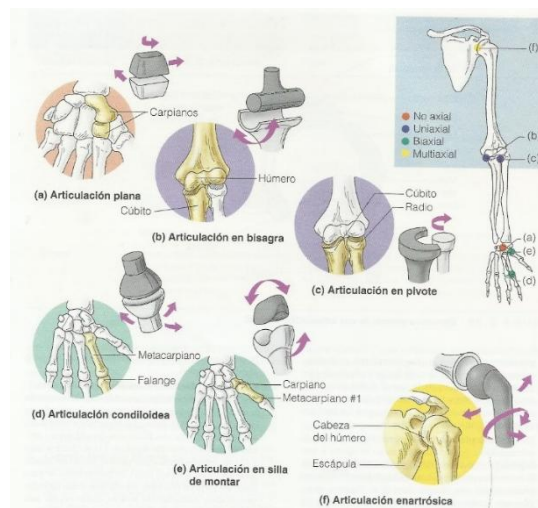
1.5.1. Resumen de las clases de articulaciones

Tabla 1.1: Tipos de articulaciones sinoviales

Clase estructural	Características estructurales	Tipos	Movilidad
Fibrosa	Terminaciones/partes óseas unidas por fibras de colágeno	Sutura (fibras cortas) Sindesmosis (fibras más largas) Gonfosis (ligamento periodontal)	Inmóvil (sinartrosis) Ligeramente móvil (anfiartrosis e inmóvil) Inmóvil
Cartilaginosa	Terminación/ partes óseas unidas por cartílago	Sincondrosis (cartílago de hialina) Sinfisis (fibrocartílago)	Inmóvil Ligeramente móvil
Sinovial	Terminaciones/partes óseas cubiertas por cartílago articular y alojadas en una cápsula articular rodeada de membrana sinovial	Plana Condiloidea Bisagra Silla de montar Pivote Enartrosica	Totalmente móvil (diartrosis; los movimientos dependen del diseño de la articulación)

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 1.6: Tipos de articulaciones sinoviales



Fuente: Marieb, 2008, p.172

1.6. Músculos de las extremidades inferiores

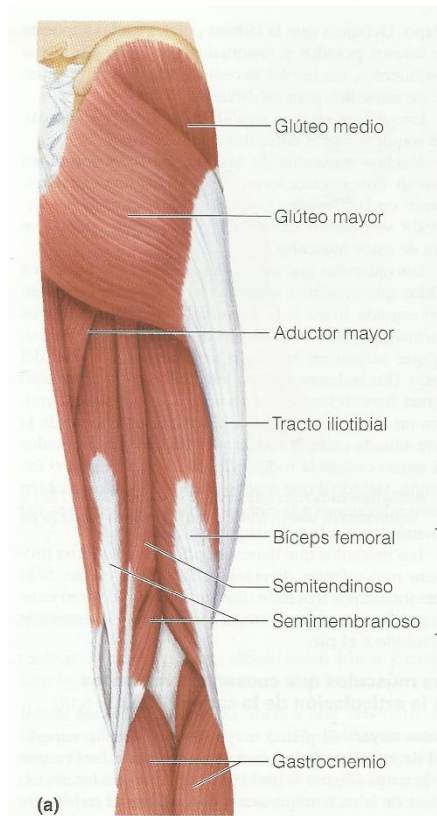
Los músculos que actúan en las extremidades inferiores provocan movimientos en las articulaciones de la cadera, las rodillas y los pies. Se encuentran entre los músculos más grandes y más fuertes del organismo y están especializados en hacernos caminar y en equilibrar el cuerpo.

1.6.1. Los músculos que causan movimientos en la articulación de la cadera

Glúteo mayor El glúteo mayor es un musculo superficial de la cadera que forma la mayor parte de la carne de la nalga (Figura 1.7). Se trata de un poderoso extensor de la cadera que actúa para alinear el muslo con la pelvis. Aunque no resulta muy importante a la hora de caminar, es probablemente el músculo más importante para extender la cadera cuando se requiere potencia, como cuando subimos las escaleras o saltamos.

Glúteo medio El glúteo medio se extiende desde el ilion hasta el fémur, por debajo del glúteo mayor en casi toda su longitud. El glúteo medio es un músculo aductor de la cadera y resulta importante a la hora de estabilizar la pelvis mientras caminamos.

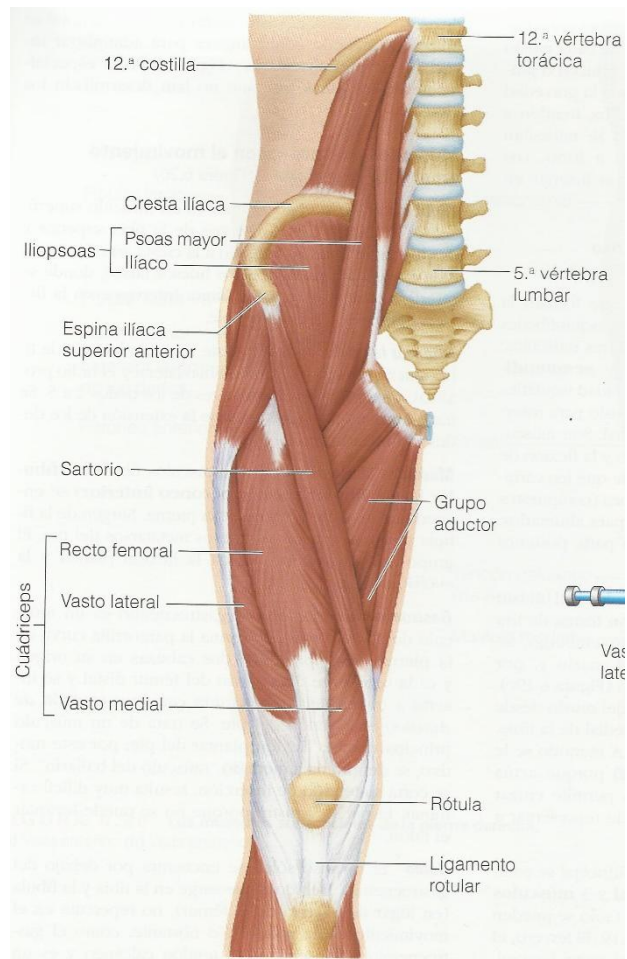
Figura 1.7: Músculos pélvicos de la cadera y de la parte derecha del cuerpo.



Fuente: Marieb, 2008, p.212

Iliopsoas: El iliopsoas es un musculo fusionado compuesto por dos músculos: el ilíaco y el psoas mayor (Figura 1.8). Se trata de un músculo principal de la flexión de la cadera. Así mismo, evita que el tronco superior se caiga hacia atrás cuando estamos de pie.

Figura 1.8: Vista anterior de los músculos de la cadera y el muslo



Fuente: Marieb, 2008, p.213

Músculos aductores Los músculos aductores constituyen la masa muscular en la parte medial de cada muslo (figura 1.8). Como su nombre indica, aducen o juntan los muslos.

1.6.2. Músculos que provocan movimiento en la articulación de la rodilla.

Músculos isquiotibiales Los músculos que forman la masa muscular del muslo posterior son los isquiotibiales (figura 1.8). El grupo se compone de tres músculos **bíceps femoral, semimembranoso y semitendinoso**. Son músculos principales de la extensión del muslo y la flexión de la rodilla.

Sartorio El fino sartorio con forma de tira no resulta demasiado importante. Sin embargo, se trata del músculo más superficial del muslo y por tanto, resulta bastante difícil no notarlo (figura 8). (Marieb, 2008, p. 211-215)

Se trata de un débil flexor del muslo. A menudo se le conoce como “el músculo del sastre) porque actúa como un músculo sinérgico que nos permite cruzar las rodillas.

Grupo de los cuádriceps El grupo de los cuádriceps se compone de 4 músculos (el **recto femoral** y 3 **músculos vastos**. figura 1.8)

El grupo actúa en su conjunto para extender la rodilla con potencia.

1.6.3. Músculos que provocan el movimiento en el tobillo el pie

Tibial anterior. El tibial anterior es un músculo superficial de la pierna anterior, interviene en la flexión dorsal y la inversión el pie.

Extensor largo Se trata de un músculo principal de la extensión de los dedos y un flexor dorsal del pie.

Músculos fibulares Los tres músculos fibulares (**fibular largo, fibular corto y peroneo anterior**) se encuentran en la parte lateral de la pierna.

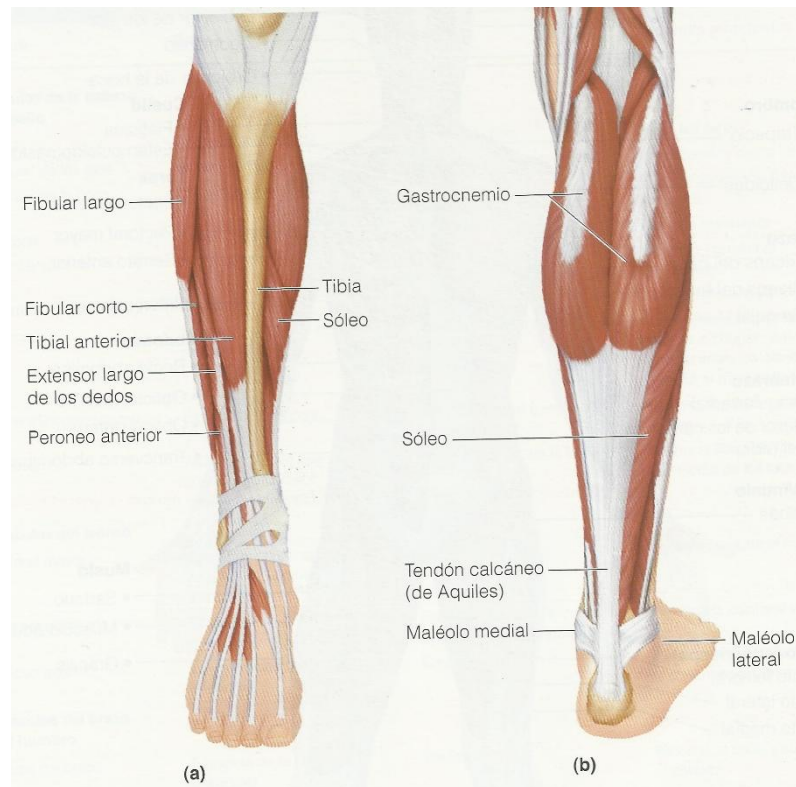
El grupo en su conjunto realiza la flexión plantar y la eversión del pie.

Gastrocnemio El músculo gastrocnemio es un músculo de dos vientres que forma la pantorrilla curva de la pierna posterior.

Se trata de un músculo principal para la flexión plantar del pie; por este motivo, se denomina a menudo “músculo del bailarín). Si se corta su tendón de inserción, resulta muy difícil caminar.

Sóleo El carnoso sóleo se encuentra por debajo del gastrocnemio, no repercute en el movimiento de la rodilla. No obstante, como el gastrocnemio, se inserta en el tendón calcáneo y es un fuerte flexor plantar de pie.

Figura 1.9: Músculos superficiales de la pierna derecha



Fuente: Marieb, 2008, p.215

1.7. Aparato locomotor de la extremidad inferior.

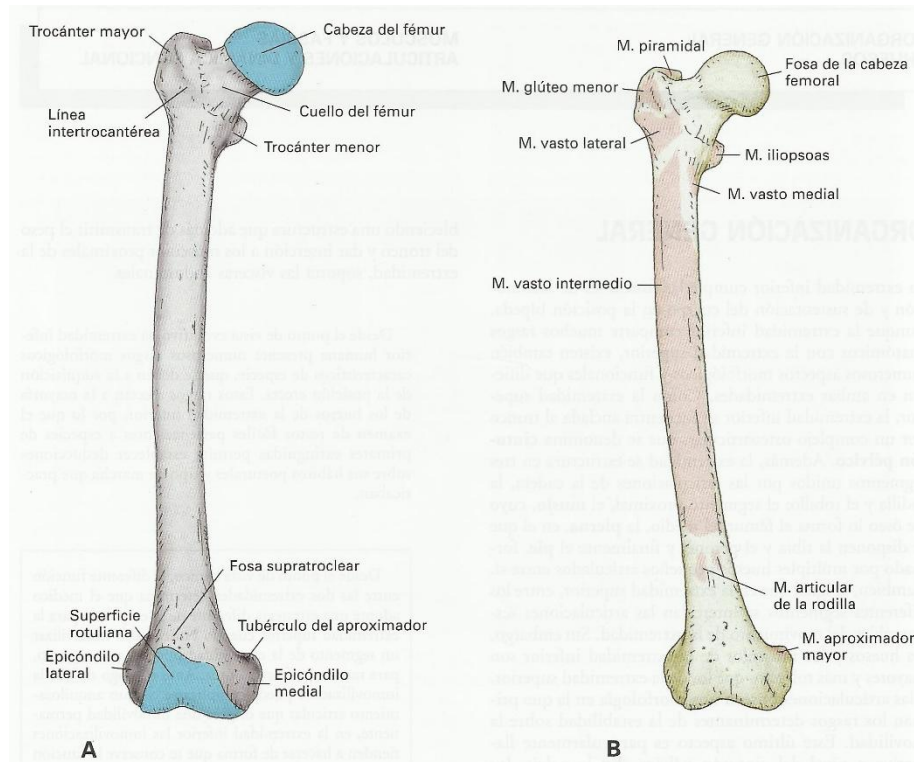
La extremidad inferior cumple las funciones de locomoción y de sustentación del cuerpo en la posición bípeda.

La extremidad se estructura en tres segmentos unidos por las articulaciones de la cadera, la rodilla y el tobillo: el segmento proximal, el **muslo**, cuyo eje óseo lo forma el fémur, el medio, la **pierna**, en el que se disponen la tibia y el peroné y finalmente el **pie**.

1.7.1. Huesos

Fémur

Figura 1.10: Fémur vista anterior



Fuente: García & Hurlè, 2005, p.246

Forma el esqueleto del muslo y es el hueso más largo y más robusto del cuerpo. Su tamaño oscila entre 34 y 54 cm.

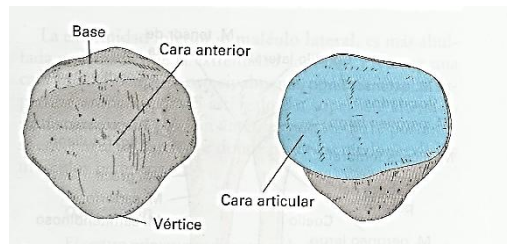
La disposición general del hueso no es rectilínea sino que presenta una curvatura de concavidad posterior que lo hace más apto para soportar el peso.

Cuerpo

El cuerpo es prácticamente cilíndrico y presta inserción a los músculos del muslo.

Rotula

Figura 1.11: Rótula



Fuente: García & Hurlè, 2005, p.249

La rótula (patella) es un hueso sesamoideo situado en el plano anterior de la articulación de la rodilla, engastada en el tendón de los cuádriceps. Es aplanada, de forma triangular con vértice inferior, y su eje mayor mide unos 5cm.

Tibia

Figura 1.12: Tibia y peroné, vista anterior

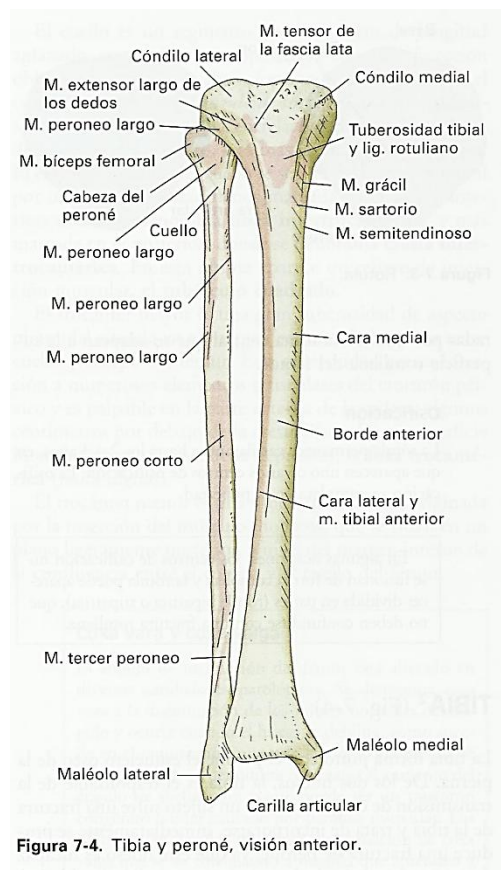


Figura 7-4. Tibia y peroné, visión anterior.

Fuente: García & Hurlè, 2005, p.250

La tibia junto con el peroné el esqueleto óseo de la pierna. De los dos huesos, la tibia es el responsable de la transmisión de cargas.

Cuerpo

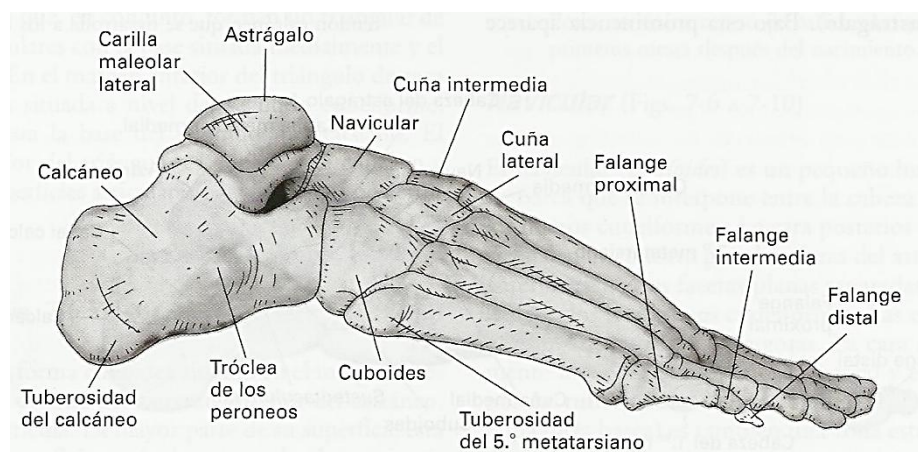
Es más voluminoso en sus extremos que en el centro y consta de tres caras (medial, lateral y posterior) separadas por bordes agudos.

Fíbula o peroné

Es un hueso alargado y fino cuya función, más que la de soporte, es aportar superficie ósea para las inserciones musculares y contribuir a formar la articulación del tobillo. (García & Hurlè, 2005, p. 246-253)

Huesos del pie

Figura 1.13: Huesos del pie, visión lateral



Fuente: García & Hurlè, 2005, p.253

1.8. Tasa metabólica

El metabolismo corporal se refiere a todas las reacciones químicas que suceden en las células y la tasa metabólica suele expresarse como la tasa de liberación de calor durante estas reacciones.

El calor es el producto terminal de casi toda la energía liberada en el organismo.

No toda la energía de los alimentos se transfiere al ATP (*adenosine triphosphate: es un nucleótido fundamental en la obtención de energía celular*), sino que una gran parte se convierte en calor. Por término medio, el 35% de la energía contenida en los alimentos se convierte en calor al transferirse del ATP a los sistemas funcionales celulares; por eso, aun en condiciones ideales, no más del 27% de toda la energía alimentaria es consumida, al final, por los sistemas funcionales.

Toda la energía consumida por el organismo se acaba transformando en calor. La única excepción de interés a esta norma se observa cuando el músculo ejecuta parte de su trabajo fuera del cuerpo. Por ejemplo, cuando se levanta un objeto hasta una altura o se suben escaleras, se crea una energía potencial al elevar una masa contra la gravedad. Pero si no existe procesos metabólicos se acaba convirtiendo en calor corporal.

La caloría Para exponer la tasa metabólica corporal y los temas relacionados de una manera cuantitativa, es necesario emplear alguna unidad que exprese la cantidad de energía liberada por los distintos alimentos o consumida por los diversos procesos funcionales del organismo. En general, la caloría es la unidad utilizada para este fin.

Por eso en metabolismo, caloría se corresponde con kilocaloría, que equivale a 1.000 calorías, y representa la unidad con la que se mide el metabolismo energético.

1.8.1. Medición de la tasa metabólica de todo el organismo

La cantidad de energía liberada por litro de oxígeno consumido por el cuerpo representa 4825 calorías por término medio, si se parte de una dieta convencional. Esta cifra se conoce como equivalente energético del oxígeno y si se aplica este equivalente, es posible calcular con bastante precisión la tasa de liberación de calor del organismo a partir de la cantidad de oxígeno consumida en un determinado período.

1.8.2. Requerimientos energéticos globales para las actividades diarias

Un hombre sano, que pesa 70kg y que permanece todo el día en la cama, consume alrededor de 1650 calorías. El proceso de la alimentación y la digestión aumenta la

cantidad de energía consumida cada día del orden de 200 calorías, de manera que si este hombre permanece en la cama e ingiere una dieta razonable requiere un aporte de alimentos equivalente a 1850 calorías, diarias.

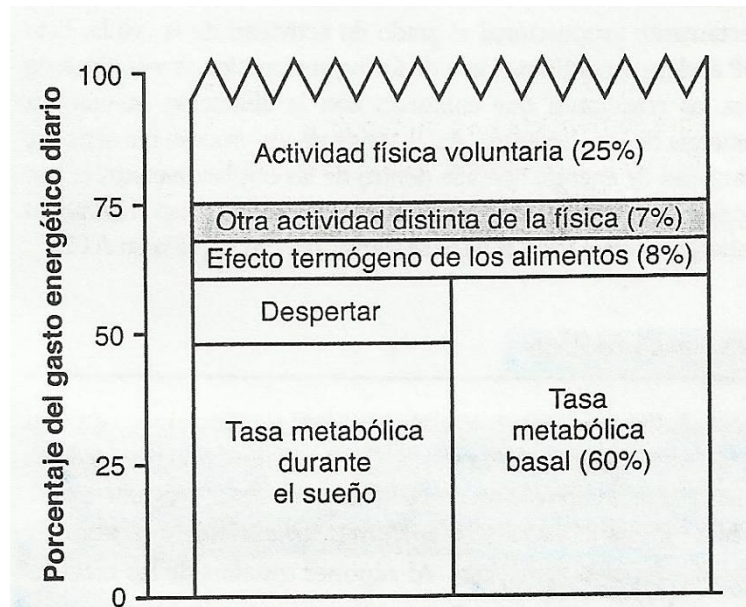
Si estuviera sentado en una silla todo el día sin hacer ejercicio, el requerimiento energético diario global subiría a 2000-2250 calorías. En consecuencia, los requerimientos energéticos diarios de un hombre con vida preferentemente sedentaria, que solo ejecuta las funciones esenciales, ascienden aproximadamente a 2000 calorías.

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. Por ejemplo, subir escaleras exige casi 17 veces más energía que dormir en la cama. De ordinario, una persona que realice trabajos pesados puede alcanzar una tasa máxima de utilización energética de hasta 6000 a 7000 calorías durante las 24h, es decir casi tres veces y media más que la energía consumida en condiciones de reposo.

1.8.3. Tasa metabólica basal (TMB) o gasto energético mínimo para la supervivencia

Una persona, aunque permanece en reposo completo, consume mucha energía para todas las reacciones químicas del organismo. Este valor mínimo de energía necesario para subsistir, se conoce como tasa metabólica (o metabolismo) basal (TMB) y representa del 50 al 70% del gasto energético diario de la mayoría de las personas sedentarias.

Figura 1.14: Componentes del gasto energético

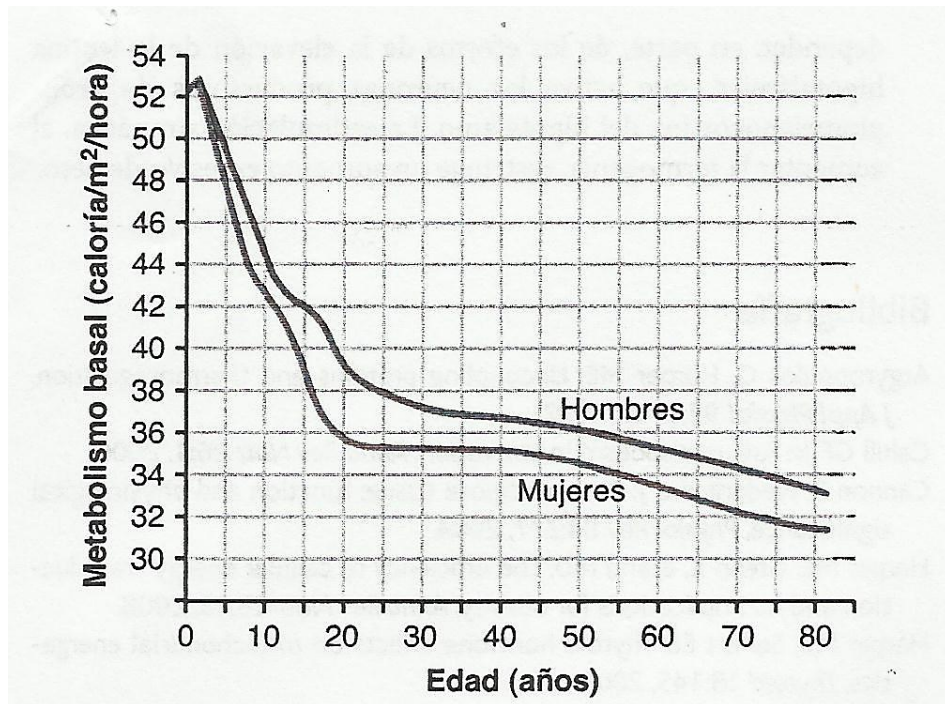


Fuente: Guyton & Hall, 2011, p.863

La TMB suele representar de 65 a 75 calorías por hora para un varón normal de 70kg. Gran parte de la TMB obedece a las actividades esenciales del sistema nervioso central, corazón, riñones y otros órganos, pero las variaciones entre las distintas personas dependen en un principio, de las diferencias en la cantidad de músculo esquelético y de la constitución física.

El músculo esquelético aún en reposo representa un 20 al 30% de la TMB. Por esta razón, la TMB suele corregirse según las diferencias de constitución y se expresa como calorías por hora y metro cuadrado de superficie corporal, estimada a partir del peso y de la talla.

Figura 1.15: Tasas metabólicas basales normales para las diferentes edades y sexos



Fuente: Guyton & Hall, 2011, p.864

1.8.4. Energía empleada para la actividad física

El factor que aumenta la tasa metabólica es el ejercicio intenso. Los brotes cortos de contracción muscular máxima de un solo músculo pueden liberar en muy pocos segundos hasta 100 veces la cantidad habitual de calor generada en reposo. El ejercicio muscular máximo de todo el cuerpo aumenta la producción de calor del organismo durante unos segundos hasta 50 veces el valor normal o hasta 20 veces, si se trata de un ejercicio más pausado y lo ejecuta una persona entrenada.

La tabla ofrece el gasto energético para distintos tipos de actividad física realizada por un hombre de 70 kg.

Tabla 1.2: Energía consumida por un hombre de 70 kg de peso en diferentes actividades

Tipo de actividad	Calorías por hora
Sueño	65
Reposo tumbado	77
Reposo sentado	100
Reposo de pie	105
Vestirse y desvestirse	118
Escribir a máquina con rapidez	140
Paseo tranquilo (4 km/h)	200
Labores de carpintería, metalurgia, Pintura industrial	240
Serrar madera	480
Nadar	500
Correr (8 km/h)	570
Subir escaleras deprisa	1.100

Fuente: Guyton & Hall, 2011, p.864

No obstante incluso las personas sedentarias que realizan muy poco o ningún ejercicio físico o trabajo físico diario, invierten mucha energía en la actividad física espontánea que se necesita para mantener el tono muscular y la postura corporal y en otras actividades como “la agitación nerviosa”. En conjunto, estas actividades de tipo no físico justifican un 7% del gasto energético diario de una persona. (Guyton & Hall, 2011, p. 862-865)

1.8.5. Deportistas varones y mujeres.

En general, la mayoría de los valores cuantitativos para las mujeres, como la fuerza muscular, la ventilación pulmonar y el gasto cardíaco, los cuales están todos ellos relacionados fundamentalmente con la masa muscular, varían entre dos tercios y tres cuartos de los valores registrados en los varones.

Cuando se mide en términos de fuerza por centímetro cuadrado de superficie transversal, el músculo femenino puede conseguir casi exactamente la misma fuerza máxima de contracción que la de los varones entre 3 y 4 kg/cm.

Por tanto, la mayor parte de las diferencias en el rendimiento muscular total se deben al porcentaje extra del cuerpo masculino de músculo, provocado a su vez por diferencias endocrinas que se abordarán más adelante.

1.9. Los músculos en el ejercicio

1.9.1. Fuerza, potencia y resistencia de los músculos

La fuerza de un músculo queda determinada principalmente por su tamaño, con una fuerza contráctil máxima de entre unos 3 y 4 kg/cm de la superficie transversal el músculo.

La fuerza excéntrica de los músculos es aproximadamente un 40% mayor que la fuerza contráctil. Es decir, si un músculo se encuentra ya contraído y una fuerza intenta estirarlo como ocurre al caer al suelo después de un salto, es necesaria una fuerza un 40% mayor que la que se puede conseguir durante una contracción concéntrica.

El trabajo mecánico realizado por un músculo es la cantidad de fuerza aplicada por músculo multiplicado por la distancia a la cual se aplica la fuerza. La potencia de la contracción muscular es diferente de la fuerza muscular, ya que la potencia es una medida de la cantidad total de trabajo que el músculo realiza en una unidad de tiempo.

Por tanto, la potencia queda determinada no solo por la fuerza de la contracción muscular sino también por la distancia de contracción y el número de veces que se contrae cada minuto.

La potencia muscular se mide normalmente en kilogramo metros (kg-m) en un minuto. Es decir, un músculo que puede levantar 1kg de peso a una altura de 1m o que puede mover un objeto lateralmente contra una fuerza de 1kg una distancia de 1m en 1min se dice que tiene una potencia de 1kg-m/min.

La máxima potencia que se puede alcanzar por todos los músculos del cuerpo en un deportista altamente entrenado con todos los músculos trabajando a la vez es aproximadamente la siguiente:

Tabla 1.3: Máxima potencia que se puede alcanzar por todos los músculos del cuerpo en un deportista altamente entrenado

Periodo de tiempo	Kg-m/min
Primeros 8 a 10 s	7.000
Siguiente minuto	4.000
Siguientes 30 min	1.700

Fuente: Guyton & Hall, 2011, p.132

Otro parámetro del rendimiento muscular es la resistencia. Esto depende en gran parte del aporte nutritivo al músculo más que de ningún otro factor, de la cantidad de glucógeno que se ha almacenado en el músculo antes de la realización del ejercicio. Una persona con una dieta rica en hidratos de carbono almacena mucho más glucógeno en los músculos que una persona con una dieta mixta o rica en grasas, por tanto la resistencia mejora enormemente con una dieta rica en hidratos de carbono. (Guyton & Hall, 2011, p. 1031-1032)

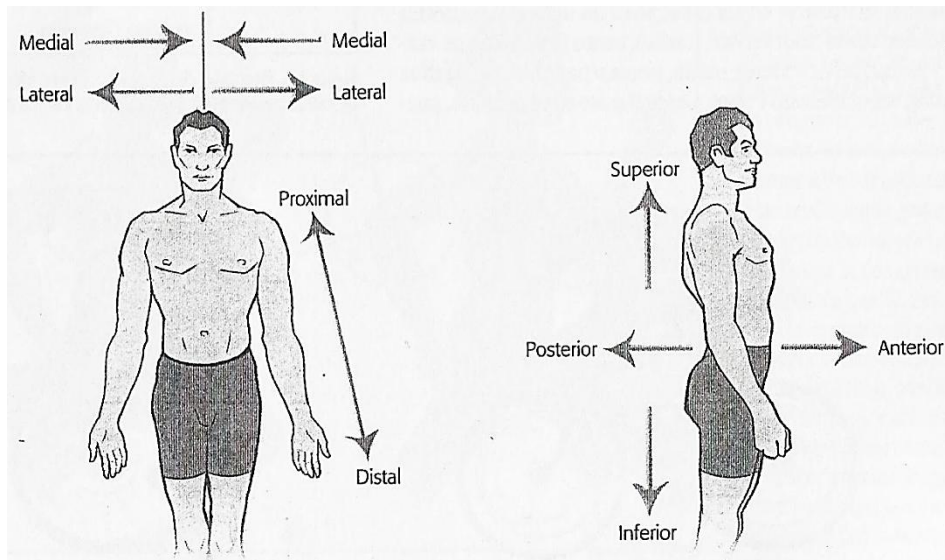
1.10. Descriptores anatómicos del movimiento.

El término “medial” se refiere a una posición anatómica relativamente más cercana a la línea media del cuerpo u objeto o a un cambio de posición en dirección a la línea media del cuerpo.

Por el contrario, el término “lateral” describe una posición relativamente más alejada de esta línea media. Por ejemplo, los dedos meñiques y el pulgar están en una posición lateral, ya que se colocan en la posición más alejada de la línea media de la mano y del pie.

Los términos proximal y distal se utilizan para describir la posición relativa respecto a un punto de referencia. El término “proximal” se refiere a la posición más cercana al punto de referencia y “distal” a la posición más lejana. Por ejemplo, el codo es proximal y la muñeca es distal en relación a la articulación del hombro.

Figura 1.16: Términos anatómicos utilizados para descubrir una dirección o posición relativa



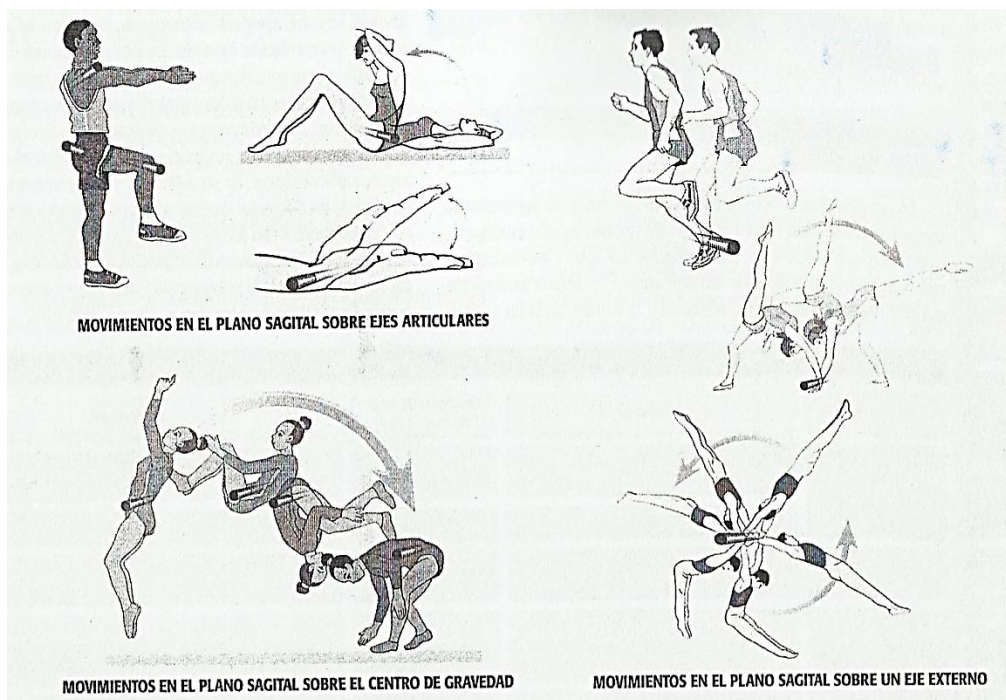
Fuente: Izquierdo, 2008, p.22

La localización de un objeto o movimiento relativo al frente o a la espalda se denomina “anterior y posterior”.

Cuando se describe una localización en el cuerpo humano, término “anterior” también es sinónimo de “ventral” mientras que “posterior” se relaciona con la parte “dorsal”.

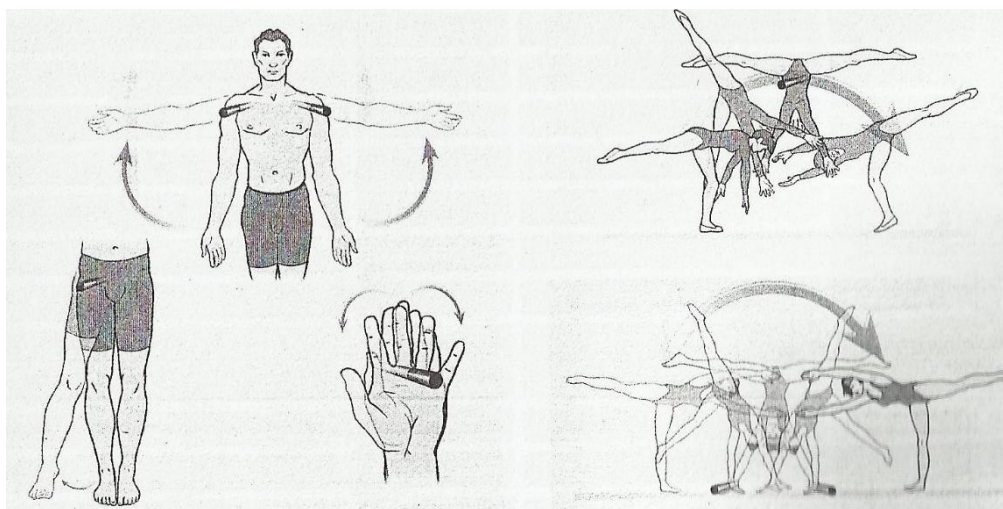
1.10.1. Planos de movimiento

Figura 1.17: Movimientos en el plano sagital



Fuente: Izquierdo, 2008, p.24

Figura 1.18: Movimientos en el plano frontal.



Fuente: Izquierdo, 2008, p.24

La mayoría de los movimientos que se producen durante la práctica de actividad física y deporte tienen lugar en dos o más planos de movimientos sobre varias articulaciones y casi nunca se producen aisladamente sobre uno de los tres planos principales.

Figura 1.19: El movimiento de golpeo en fútbol ocurre como la mayoría de los gestos deportivos en tres planos del espacio.



Fuente: Izquierdo, 2008, p.25

1.10.2. Grados de libertad de las articulaciones

El cambio de posición en un plano también puede describirse como único grado de libertad (de movilidad). Esta terminología se utiliza con frecuencia para describir el tipo y la cantidad de movilidad que permite la estructura de las articulaciones anatómicas. Una articulación con un grado de libertad indica que la articulación permite movimientos en un solo plano de movimiento.

De manera general las articulaciones tienen uno, dos o tres grados de libertad, lo que permite movimientos uniaxiales, biaxiales o triaxiales respectivamente.

Figura 1.20: Movimientos de los diferentes segmentos del cuerpo.

Plano sagital/ eje frontal		Plano frontal/eje sagital		Plano Transversal/eje vertical	
Tipo	Definición	Tipo	Definición	Tipo	Definición
Flexión	Disminución del ángulo de la articulación	Abducción	Movimiento lateral fuera de la línea media del cuerpo	Rotación de izquierda a derecha	Movimiento de tal forma que el aspecto anterior gire hacia la izquierda o la derecha
Extensión	Flexión más allá de una línea vertical	Aducción	Movimiento lateral hacia la línea media del cuerpo	Rotación lateral o externa	El aspecto anterior de un segmento gira fuera de la línea media del cuerpo
Hiperflexión	Flexión mas allá de una línea vertical	Flexión lateral	Acción de doblar lateralmente cabeza o tronco	Rotación medial o interna	El aspecto anterior de un segmento gira hacia la línea media del cuerpo
Hiperextensión	Extensión mas allá de una línea vertical	Híper – abducción	Abducción más allá de la línea recta vertical	Supinación	Rotación lateral sobre el eje del hueso; se vuelve hacia adelante la palma de la mano
Dorsiflexión	Movimiento del dorso del pie hacia la cara anterior	Híper – aducción	Movimiento combinado con ligera flexión: la extremidad cruza el frente del cuerpo	Pronación	Rotación medial sobre el eje del hueso; la palma se vuelve posterior
Flexión plantar	Extensión de la planta del pie hacia abajo	Reducción de la Hiperaducción	Retorno al movimiento de hiperaducción	Reducción de la rotación lateral	
		Reducción de la flexión lateral	Movimiento de retorno de la flexión lateral	Reducción de la rotación medial	
		Inversión y aducción	Movimiento de la articulación hacia la línea media (adentro)	Reducción de la supinación	
		Eversión y abducción	Movimiento de la articulación hacia afuera de la línea media	Reducción de la pronación	

Fuente: Izquierdo, 2008, p.26

1.10.3. Terminología para describir el movimiento de los segmentos:

Tabla 1.4: Movimientos articulares especiales

Movimientos en un plano oblicuo y alrededor de un plano oblicuo	Otros movimientos articulares especiales	
Definición	Tipo	Definición
Movimientos en planos intermedios oblicuos o diagonales, por ejemplo entre planos sagital y frontal; sagital y transversal; frontal y transversal	Protracción	Movimiento de una parte del cuerpo hacia adelante en un plano transversal y alrededor de un eje sagital horizontal
	Retracción	Movimiento de una parte del cuerpo hacia atrás, en un plano transversal y alrededor de un eje sagital horizontal
	Deslizamiento	Movimiento que resulta cuando una superficie resbala sobre otra sin que posea eje o plano particular

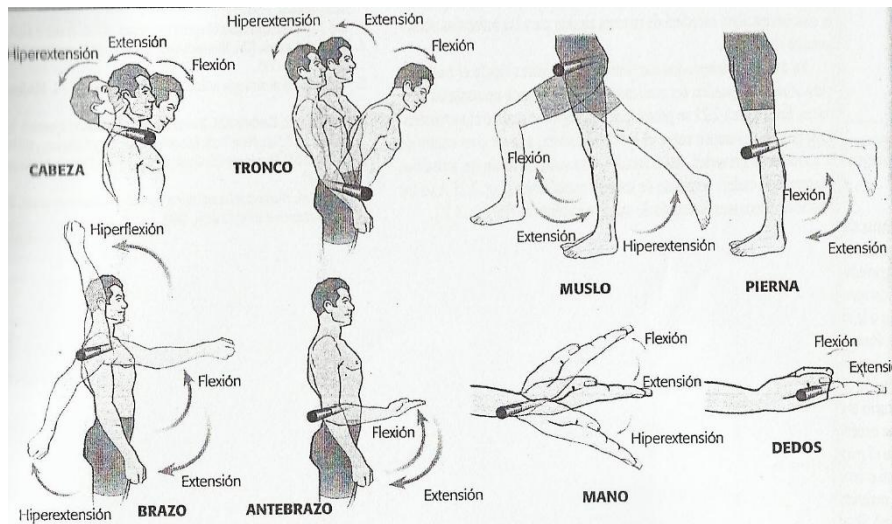
Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Tabla 1.5: Movimientos y GDL de los segmentos

Segmento	Articulación	Grados de libertad de movimiento	Movimientos
Muslo	Cadera	3	Flexión, extensión, hiperextensión, abducción, aducción (horizontal y vertical), hiperaducción, rotación lateral y circunducción
Pantorrilla/pierna	Rodilla	2	Flexión, extensión, hiperextensión y rotación lateral
Retropié	Tobillo	1	Flexión plantar y flexión dorsal
	Sub-astragalina	3	Inversión y eversión
Ante pie	Metatarso falángica	2	Flexión, extensión, abducción, aducción y circunducción
	Interfalángica	1	Flexión y extensión

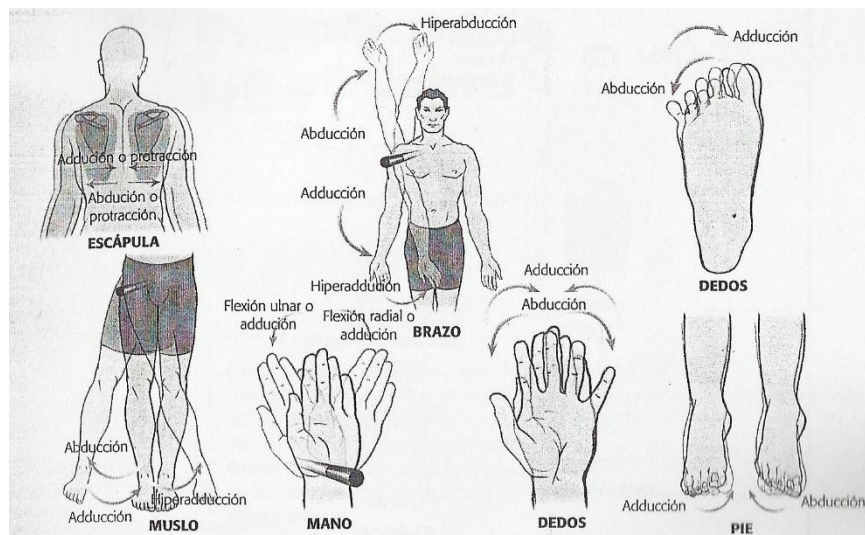
Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 1.21: Movimientos de flexión y extensión en el plano sagital



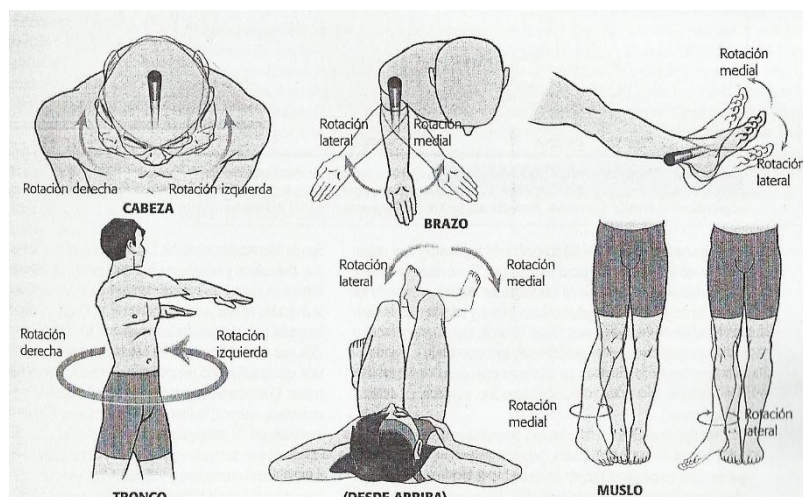
Fuente: Izquierdo, 2008, p.28

Figura 1.22: Movimientos de abducción y aducción en el plano frontal



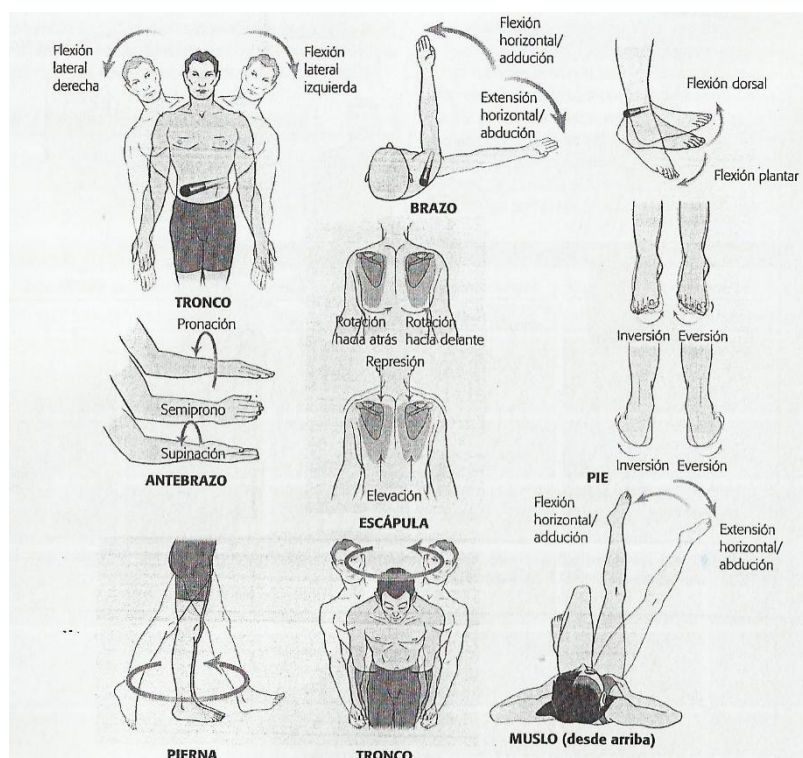
Fuente: Izquierdo, 2008, p.29

Figura 1.23: Movimientos de rotación en el plano transversal



Fuente: Izquierdo, 2008, p.29

Figura 1.24: Movimientos especiales



Fuente: Izquierdo, 2008, p.30

1.10.4. Estructuración y análisis del movimiento.

La ejecución de habilidades motrices está constantemente sometida a un proceso de observación y análisis por parte de los profesionales en el ámbito de la actividad física y el deporte (por ejemplo, entrenadores, médicos rehabilitadores,

fisioterapeutas o ingenieros). Estos procesos se realizan con el propósito de corregir, perfeccionar y optimizar el rendimiento o con la intención de prevenir las posibles lesiones músculo esqueléticas.

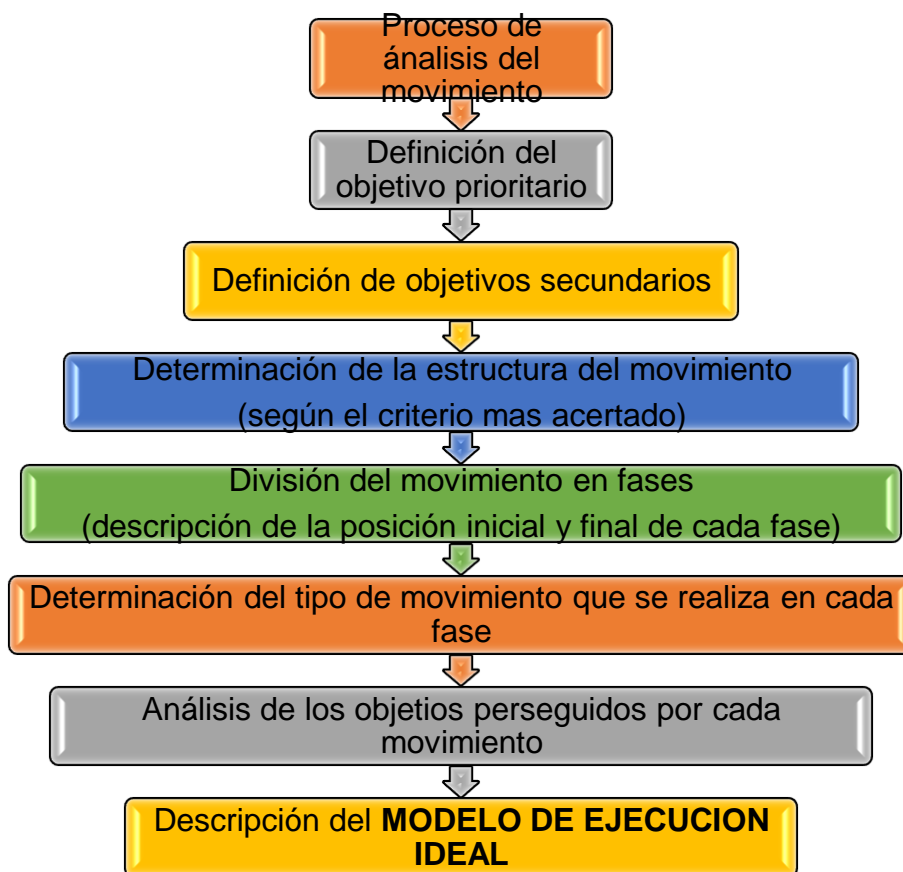
Como requisito previo a una observación estructurada y sistematizada del movimiento, es necesario conocer el modelo de ejecución técnica de la habilidad motriz que se realiza (por ejemplo, un salto, un regate o un peso desde el suelo).

El desarrollo del modelo para el análisis del movimiento (por ejemplo análisis técnico de los gestos deportivos o análisis de las actividades de la vida diaria) implica conocer la estructura del movimiento en sus dos dimensiones.

Una vez que se han identificado los objetivos generales del movimiento (OGR) y se han dividido las habilidades en diferentes fases en las que se pueden diferenciar el inicio y el final, la evaluación a nivel técnico de un deportista debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Identificar el propósito mecánico (PM) de cada fase del movimiento.
- Enumerar los objetivos biomecánico (OB) parciales que funcionan con la consecución de procesos mecánicos.
- Identificar los principios biomecánico (PB) que relacionan los objetivos biomecánico con un rendimiento óptimo.
- Enumerar la relación de las características críticas (CC) de parte que puedan ser ejecutadas para satisfacerlos PB y que los que observa el entrenador en la pista de entrenamiento de la competición.

Figura 1.25: Desarrollo del modelo técnico para la identificación de los fallos y su posterior jerarquización en la transmisión de información al deportista.



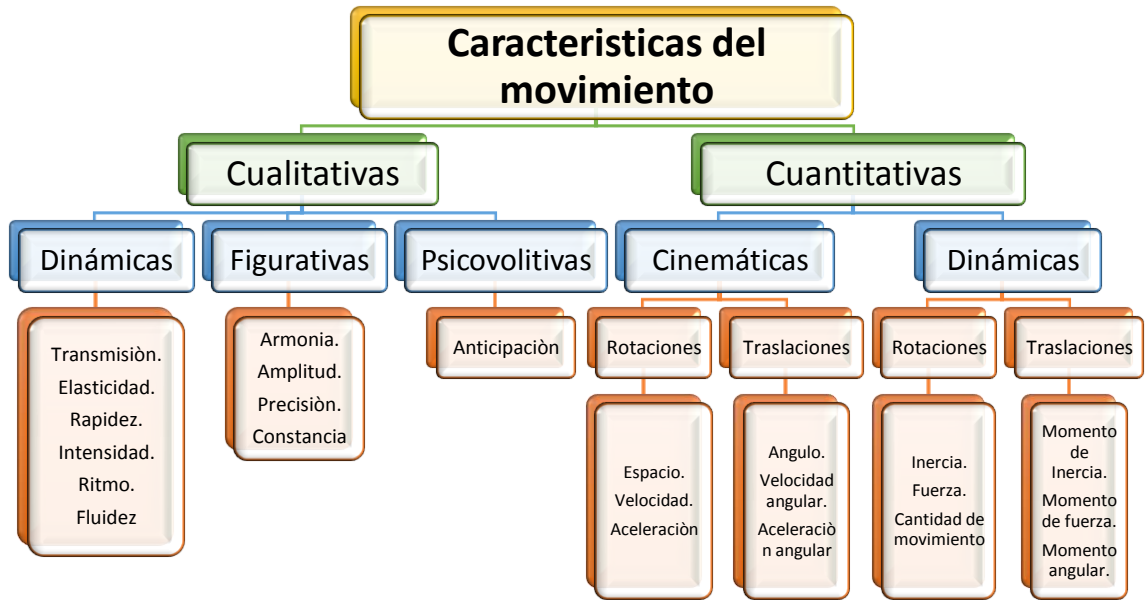
Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

1.10.5. Características del movimiento:

Engloban todos aquellos parámetros cualitativos y cuantitativos que se utilizan tanto para definir el modelo técnico deportivo como para realizar y evaluar una ejecución técnica.

(Izquierdo, 2008, p. 22-30)

Figura 1.26: Características cualitativas y cuantitativas del movimiento



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE INVESTIGACIÓN

2.1. Determinación del individuo óptimo para el análisis

Para el presente análisis se trabajó con una muestra de 60 personas, 30 hombres y 30 mujeres, con edades comprendidas entre 20 y 40 años.

Se separó en dos grupos de años E1: 20 a 30 años y E2: 31 a 40 años

Tabla 2.1: Muestra mujeres E1

Mujeres - Edad 20 - 30										
Medición	Individuo	Estatura (cm)	Peso (kg)	perímetro cadera (cm)	perímetro muslo sup (cm)	perímetro muslo medio (cm)	Perímetro pantorrilla (cm)	Perímetro tobillo (cm)	Largo nalga - rodilla (cm)	altura rodilla-pie (cm)
1	M1	152	74	95	49	46	30	21	57	50
2	M2	153	74	87	67	53	38	21	58	49
3	M3	152	76	91	49	53	36	20	56	50
4	M4	154	73	104	60	53	35	19	52	49
5	M5	157	53	105	64	45	34	19	53	49
6	M6	159	51	109	53	46	38	20	58	47
7	M7	160	59	104	67	55	33	21	56	44
8	M8	157	66	102	63	48	38	18	52	47
9	M9	167	59	98	50	54	32	20	54	48
10	M10	152	47	105	64	50	34	20	57	49
11	M11	169	71	87	52	49	36	22	57	46
12	M12	163	69	95	66	53	38	18	54	48
13	M13	158	61	92	67	48	33	21	54	47
14	M14	168	67	91	65	50	36	21	53	49
15	M15	165	75	96	66	55	32	19	57	47
16	M16	160	70	98	54	48	30	18	54	45
17	M17	164	46	92	57	54	34	19	52	50
18	M18	150	52	105	56	52	38	22	54	49
19	M19	151	65	92	66	54	33	21	52	50
20	M20	163	59	106	50	49	36	20	55	49
21	M21	167	73	108	63	46	37	18	55	49
22	M22	166	56	103	62	46	36	18	52	47
23	M23	161	61	91	52	50	36	19	54	47
24	M24	155	52	90	56	53	38	20	58	49
25	M25	167	49	97	65	49	33	20	57	50
26	M26	164	77	91	55	49	30	19	58	45
27	M27	155	54	108	64	45	32	19	56	46
28	M28	147	47	108	63	53	31	19	58	47

29	M29	167	57	104	55	46	30	18	55	49
30	M30	164	61	91	65	53	30	20	53	48
Promedio		160	62	98	60	50	34	20	55	48

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Tabla 2.2: Muestra mujeres E2

Mujeres - Edad 31 - 40										
Medición	Individuo	Estatura (cm)	Peso (kg)	perímetro cadera (cm)	perímetro muslo sup (cm)	perímetro muslo medio (cm)	Perímetro pantorrilla (cm)	Perímetro tobillo (cm)	Largo nalga - rodilla (cm)	altura rodilla - pie (cm)
1	M31	163	60	107	58	56	34	21	54	45
2	M32	151	76	92	65	54	37	22	54	50
3	M33	146	55	100	58	46	32	21	53	47
4	M34	166	54	90	61	57	39	20	54	50
5	M35	149	60	95	64	47	36	23	57	45
6	M36	150	69	92	56	46	38	21	58	47
7	M37	153	59	93	66	54	32	21	54	48
8	M38	166	55	94	64	46	33	19	56	48
9	M39	157	49	94	60	50	33	19	58	49
10	M40	164	65	87	69	58	40	19	52	46
11	M41	158	55	90	58	52	40	21	53	44
12	M42	148	55	110	64	58	33	23	59	49
13	M43	154	50	106	57	47	34	21	54	50
14	M44	169	51	99	70	62	37	23	57	46
15	M45	146	54	104	63	63	37	22	59	50
16	M46	152	68	96	56	52	38	19	54	46
17	M47	164	77	110	62	46	34	21	54	47
18	M48	154	52	110	58	56	39	22	59	50
19	M49	166	52	93	63	61	38	21	59	44
20	M50	150	55	110	62	46	36	21	56	50
21	M51	162	57	102	56	51	34	21	53	49
22	M52	162	65	101	60	60	34	23	52	47
23	M53	159	58	92	70	55	35	23	54	48
24	M54	166	49	106	69	48	38	20	55	47
25	M55	167	73	101	70	61	37	21	55	46
26	M56	147	59	89	67	59	36	19	52	47
27	M57	155	75	107	65	48	40	20	52	46
28	M58	154	74	110	61	50	35	22	56	47

29	M59	149	65	92	70	62	40	23	52	47
30	M60	159	63	100	68	61	39	21	56	44
Promedio		157	60	99	63	54	36	21	55	47

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Tabla 2.3: Muestra hombres E1

Hombres - Edad 20 - 30										
Medición	Individuo	Estatura (cm)	Peso (kg)	perímetro cadera (cm)	perímetro muslo sup (cm)	perímetro muslo medio (cm)	Perímetro pantorrilla (cm)	Perímetro tobillo (cm)	Largo nalga - rodilla (cm)	altura rodilla - pie (cm)
1	H1	167	77	92	60	47	37	24	56	50
2	H2	164	73	97	54	54	38	23	56	53
3	H3	170	66	93	62	49	34	25	61	54
4	H4	169	54	84	59	45	34	20	54	55
5	H5	164	57	99	62	59	38	20	57	49
6	H6	167	87	104	62	58	35	22	64	53
7	H7	164	84	102	58	48	34	20	64	54
8	H8	171	77	89	59	49	42	23	57	52
9	H9	170	73	88	49	45	40	22	54	52
10	H10	167	76	95	63	57	33	20	59	53
11	H11	164	56	93	55	57	32	25	56	55
12	H12	169	75	91	64	60	35	22	58	52
13	H13	166	68	102	56	49	37	21	59	53
14	H14	166	75	95	53	48	40	20	65	50
15	H15	168	81	104	63	56	38	21	58	51
16	H16	171	82	95	49	60	42	21	63	55
17	H17	166	57	87	48	54	37	22	64	56
18	H18	166	55	95	63	56	42	21	61	48
19	H19	171	69	90	58	46	41	22	60	54
20	H20	171	53	102	48	54	42	25	64	50
21	H21	166	73	95	54	47	34	22	60	50
22	H22	171	76	93	60	60	35	23	56	48
23	H23	167	64	89	61	59	32	25	64	51
24	H24	166	68	90	64	47	42	20	57	54
25	H25	165	63	85	57	46	36	24	61	56
26	H26	171	85	101	64	52	38	22	57	50
27	H27	165	81	104	57	47	36	23	57	49
28	H28	164	82	104	57	57	40	22	63	53

29	H29	171	84	96	50	47	37	24	60	52
30	H30	166	62	88	48	56	39	23	62	48
Promedio		167	71	95	57	52	37	22	60	52

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Tabla 2.4: Muestra hombres E2

Hombres - Edad 31 - 40										
Medición	Individuo	Estatura (cm)	Peso (kg)	perímetro cadera (cm)	perímetro muslo sup (cm)	perímetro muslo medio (cm)	Perímetro pantorrilla (cm)	Perímetro tobillo (cm)	Largo nalga - rodilla (cm)	altura rodilla - pie (cm)
1	H31	167	69	92	54	58	42	21	60	51
2	H32	173	82	102	58	46	43	23	60	50
3	H33	172	77	102	50	55	33	23	55	49
4	H34	158	72	91	51	57	32	23	53	55
5	H35	163	77	91	55	46	36	21	60	53
6	H36	171	78	95	63	52	40	23	53	50
7	H37	171	69	89	60	52	32	21	56	53
8	H38	162	71	87	56	52	38	23	60	54
9	H39	172	64	92	63	55	36	25	53	53
10	H40	172	60	100	57	59	40	22	59	53
11	H41	169	85	88	51	47	37	24	56	52
12	H42	159	74	102	62	58	35	22	59	48
13	H43	165	73	85	50	44	40	25	53	53
14	H44	173	86	99	52	49	32	24	53	48
15	H45	172	57	90	52	56	38	24	59	56
16	H46	164	59	100	49	47	36	23	59	55
17	H47	168	78	88	62	54	33	22	58	54
18	H48	162	81	97	53	58	41	25	53	52
19	H49	160	75	103	55	60	34	22	59	52
20	H50	158	77	94	61	55	40	22	62	49
21	H51	169	68	99	60	55	42	24	59	52
22	H52	165	62	88	49	46	42	23	52	51
23	H53	165	67	101	52	52	32	24	52	56
24	H54	164	57	90	53	48	42	21	57	56
25	H55	165	86	95	60	54	41	22	55	49
26	H56	162	79	93	50	58	38	21	60	53
27	H57	162	59	92	52	58	34	24	62	50

28	H58	161	79	87	51	47	33	25	55	54
29	H59	167	64	96	54	48	43	21	52	53
30	H60	161	68	96	55	50	39	23	52	52
Promedio		166	72	94	55	53	37	23	57	52

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Según Martínez (1985) , la capacidad aeróbica se incrementa gradualmente después del nacimiento hasta alcanzar su máximo valor alrededor de los 20 años de edad, después de lo cual se inicia un decremento muy gradual al principio pero más acentuado a partir de los 30-35 años para hacerse muy marcado el descenso hacia la edad senil. (Martínez, 1985, p.73)

Según Millikonsky (1993), la diferencia entre sexos en la performance anaeróbica en valores absolutos varía a partir de un 10% en los más jóvenes; esta diferencia aumenta junto con la edad y puede llegar hasta un 20% a los 14 años aproximadamente, A los 24 años esta diferencia (siempre a favor de los hombres) se hace aún mayor y se mantiene en valores relativos para los músculos del tren superior e inferior. (Millikonsky, 1993, p.134)

Para Mujeres: Las características musculares, fuerza, resistencia y potencia han sido especialmente investigadas en población masculina y es sabida la superioridad de los hombres en el nivel de capacidad de trabajo, especialmente en lo relacionado al componente anaeróbico. Algunos de los factores que posiblemente traten de explicar parcialmente la diferencia de los sexos en la performance anaeróbica son:

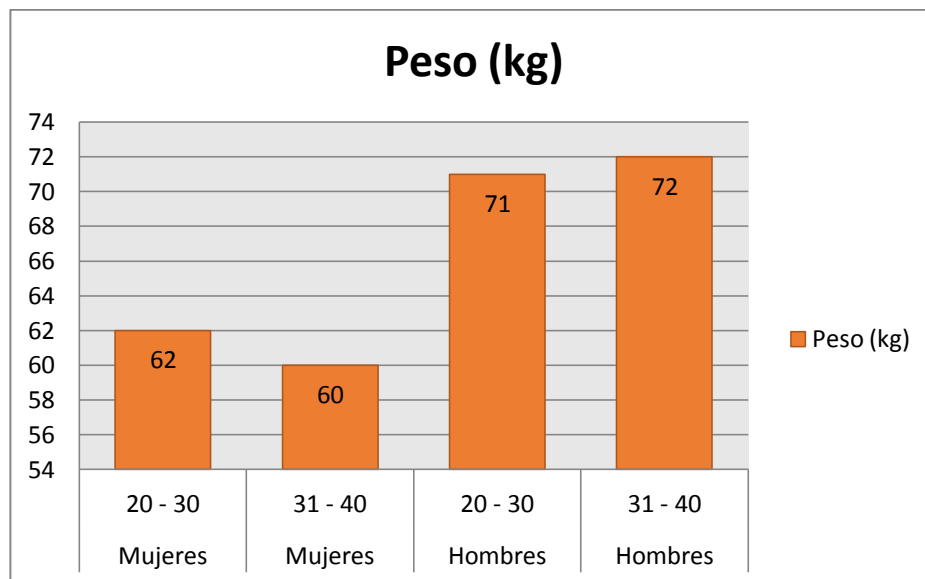
1. Una estructura ósea menos efectiva para la realización de determinados esfuerzos físicos.
2. Una marcada diferencia en masa muscular en favor del hombre.
3. Un porcentaje de grasa más alto que influye directamente sobre la masa muscular el peso corporal en la ejecución de un esfuerzo.
4. Un nivel de ácido láctico menor en la sangre y en los músculos.

Tabla 2.5: Promedios del muestreo

Genero	edad (años -promedio)	Estatura (cm)	Peso (kg)
Mujeres	20 - 30	160	62
Mujeres	31 - 40	157	60
Hombres	20 - 30	167	71
Hombres	31 - 40	166	72

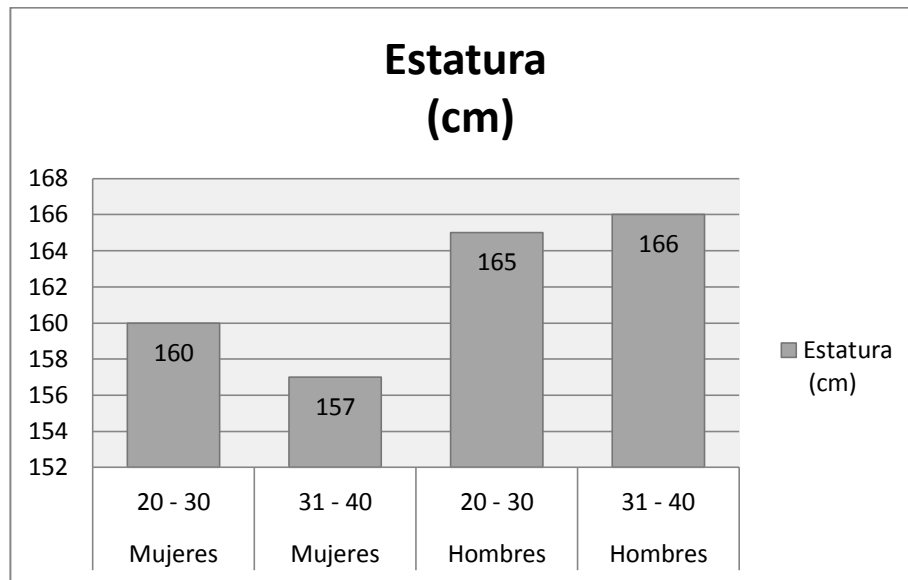
Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 2.1: Peso promedio



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 27: Estatura promedio



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Por lo que nuestro estudio se basará en un individuo del género masculino, con una edad comprendida entre 20 – 30 años, en el que se tienen características fisiológicas óptimas para nuestro estudio.

El individuo en estudio tendrá las siguientes dimensiones antropométricas:

Tabla 2.6: Individuo óptimo

Estatura (cm)	Peso (kg)	Perímetro cadera (cm)	Perímetro muslo superior (cm)	Perímetro muslo medio (cm)	Perímetro pantorrilla (cm)	Perímetro tobillo (cm)	Largo nalga - rodilla (cm)	altura rodilla-pie (cm)
167	71	95	57	52	37	22	60	52

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Mediante el test de Bosco que es un sistema de saltos (Sàez, 2010), que sirve para cuantificar las características en saltos de deportistas y se puede utilizar en cualquier disciplina deportiva, en la cual el salto tenga un papel importante. Su objetivo es

cuantificar la altura de los saltos que efectúan los deportistas junto a la potencia que desarrolla.

2.2. Potencia teórica generada

Se asume que la misma potencia se desarrolla al aplastar el pedal de la bicicleta, pero con la diferencia de que el análisis se lo realizará con una pierna, entonces la potencia total será dividida para dos.

Tabla 2.7: Resumen, Tabla resultados obtenidos en potencia (Sàez, 2010)

Peso (kg)	Potencia (W)
72	1933
70	1886
63	1728
68	1885
80	2156
70	2140

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Por medio de interpolación lineal obtendremos un valor para un peso de 71 kg:

Tabla 2.8: Interpolación potencia

Peso (kg)	Potencia (W)
72	1933
71	1910
70	1886

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Es decir que nuestro individuo de prueba puede generar una potencia de “1910 Watt” aproximadamente.

2.3. Análisis máquina de ejercicios Orbitrek

Figura 28.3: Orbitrek



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

2.3.1. Diferencia entre bicicleta estática y bicicleta elíptica:

La bicicleta elíptica tiene como característica que su movimiento es en realidad una combinación de varios gestos deportivos como pedalear, correr, marchar, esquiar, escalar, pero en realidad ¡no es ninguno de ellos!, el movimiento es parecido, pero no exacto.

Esta especificación hace que la bicicleta elíptica sea más preferida por aquellos no deportistas, cuyo principal objetivo es el descenso de peso, además, como utiliza los brazos y las piernas simultáneamente, hace que la cantidad de calorías quemadas sea mayor. (Lioi, 2010)

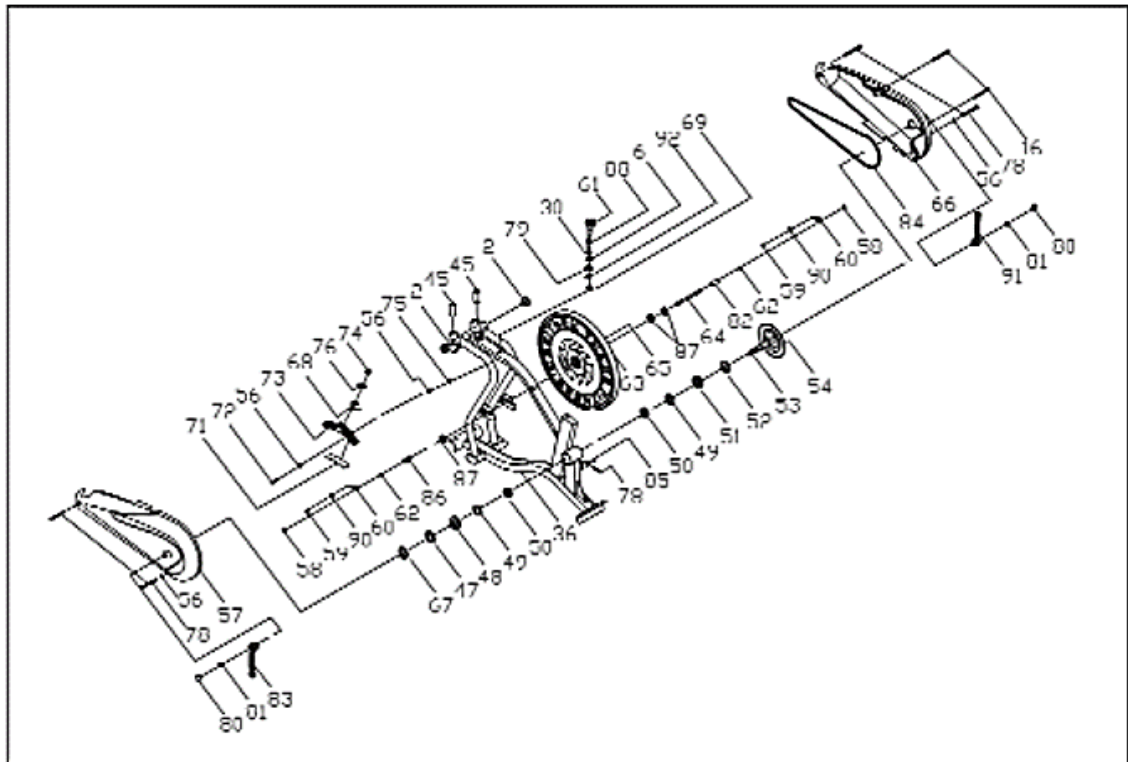
Por otro lado, al ser un movimiento dirigido por la máquina, según (Prieto, 2013), no se produce ningún impacto, lo que permite realizar el ejercicio durante un mayor tiempo.

Consumo calórico: 250 – 350 calorías/hora.

2.3.2. Análisis del sistema motor

El sistema motor del orbitrek es un sistema piñón – cadena, que mediante pedales impulsa una rueda de inercia.

Figura 2.4: Partes del sistema motor Orbitrek



Fuente: Lioi, L. (2010)

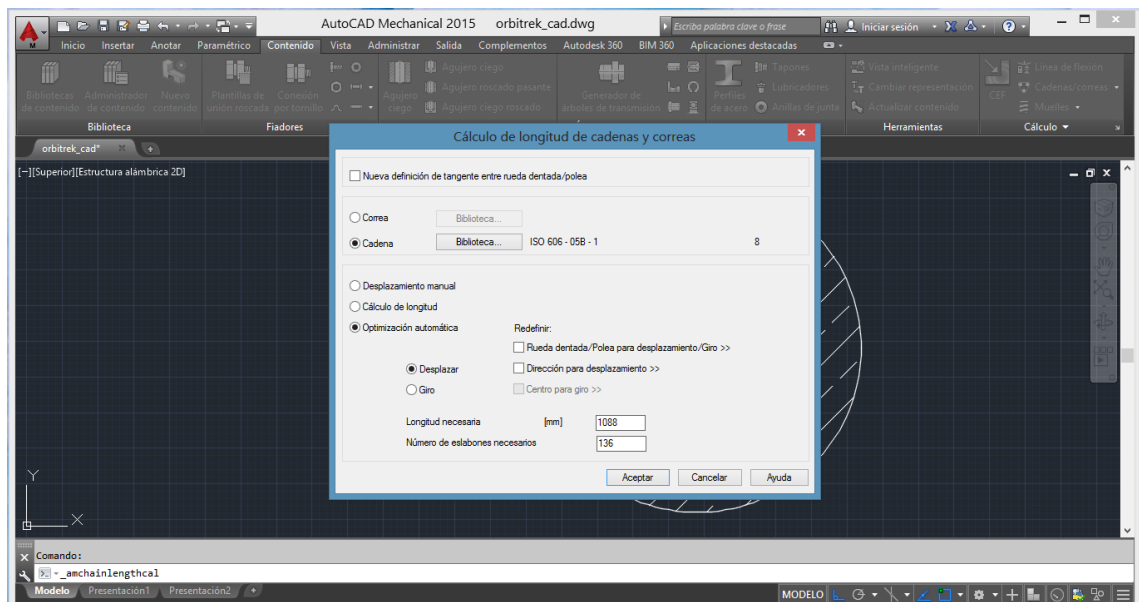
Figura 2.5: Lista de partes orbitrek

24	TUBO DE CONEXIÓN IZQUIERDO	1	
25	TOPE FRONTAL	2	50*1,5
26	PEDAL DERECHO	1	2
27	PEDAL IZQUIERDO	1	10
28	PERNO DE CABEZA HEXAGONAL	2	M6X48
29	RUEDA	2	23*Φ6,2*32
30	CONTRATUERCA	3	M6
31	TORNILLO ARTICULADO	2	3/8*20
32	ARANDELA DE RESORTE	2	Φ10
33	ARANDELA DE CALCE EN "D"	2	
34	PERILLA DE AJUSTE	2	
35	MANGUITO DE PLÁSTICO	2	
36	ESTRUCTURA PRINCIPAL	1	
37	ORDENADOR	1	
38	HUSILLO	1	
39	MANGO DE GOMA ESPUMA	2	Φ33*Φ23*310
40	BARRA DE MANO IZQUIERDA	1	
41	TOPE DE LA BARRA DE MANO	2	Φ25,4*2
42	PERNO ARTICULADO IZQUIERDO	1	1/2"
43	PROTECCIÓN DE LA BARRA DE MANO IZQUIERDA (IZQ)	1	
44	PROTECCIÓN DE LA BARRA DE MANO DERECHA (DER)	1	
45	FUNDA PLÁSTICA	2	
46	TOPE	2	30*30*1,5
47	ARANDELA DE FIJACIÓN (IZQ)	1	
48	ARANDELA	1	
49	BOLA DEL COLLARÍN	2	
50	CARCASA DEL COLLARÍN	2	
51	ARANDELA DE FIJACIÓN (DER)	1	
52	ARANDELA	1	Φ40*2,8
53	MANIVELA	1	Φ17*202
54	PINÓN	1	d=3,2, P=6,35
55	TUBO DE CONEXIÓN DERECHO	1	
56	ARANDELA PLANA	3	Ø5

Fuente: Lioi, L. (2010)

Con la ayuda del software AutoCAD Mechanical, simulamos la transmisión de cadena orbitrek:

Figura 2.6: Simulación de la transmisión



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Sistema motor orbitrek en uso: (Sprayette)

Figura 2.7: Sistema motor orbitrek



Fuente: Lioi, L. (2010)

2.3.3. Descripción del movimiento:

Figura 29: Movimiento 1



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 2.9: Movimiento 2



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 30: Movimiento 3



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 2.11: Movimiento 4



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 2.12: Movimiento 5



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 2.13: Trayectoria



Fuente: Lioi, L. (2010)

Para obtener la trayectoria seguida por el pie, se sigue el siguiente proceso:

- a. Dibujamos al brazo del pedal, en vista lateral de la máquina:

Figura 2.14: Distancia brazo del pedal



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

- b. Dibujamos el asiento del pie:

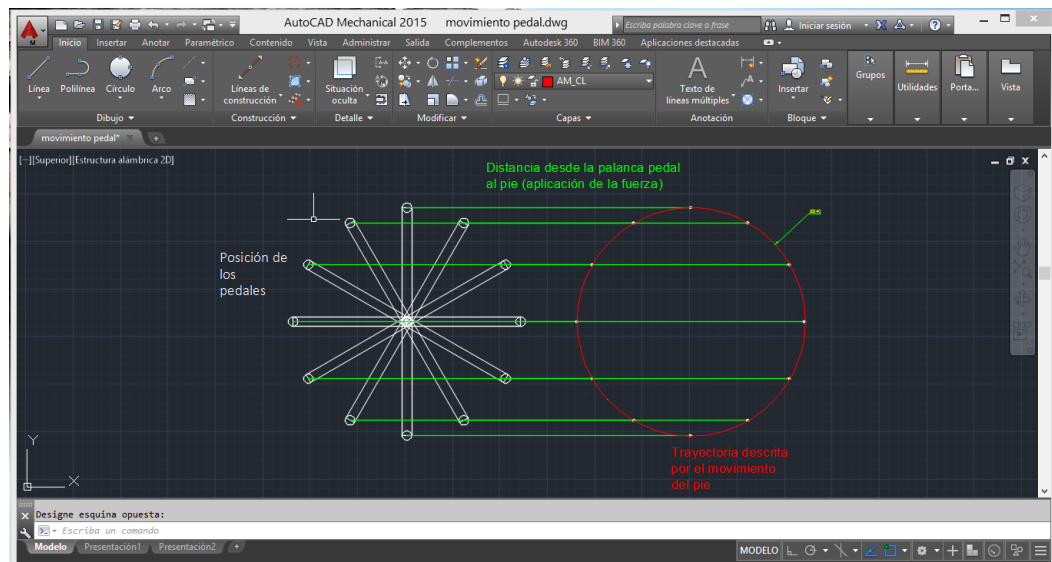
Figura 31: Distancia pedal



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

- c. Proyectamos el movimiento del pedal, y así obtenemos la trayectoria que describe el movimiento del pie:

Figura 2.16: Trayectoria Autocad Mechanical



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Observamos que la trayectoria descrita por el pie es circular con diámetro 240 mm.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA PIERNA

3.1. Determinación de la velocidad angular de la trayectoria del pie

Mediciones de velocidad angular del movimiento de la pierna

Tabla 3.1: Velocidad Angular

Nº medición	#vuelas	Tiempo	ω (rev/s)	ω (rad /s)
1	15	20	0,75	4,71
2	17	20	0,85	5,34
3	13	20	0,65	4,08
4	16	20	0,8	5,03
5	15	20	0,75	4,71
6	13	20	0,65	4,08
7	17	20	0,85	5,34
8	15	20	0,75	4,71
9	16	20	0,8	5,03
10	16	20	0,8	5,03
Promedio	15,3	20	0,77	4,81

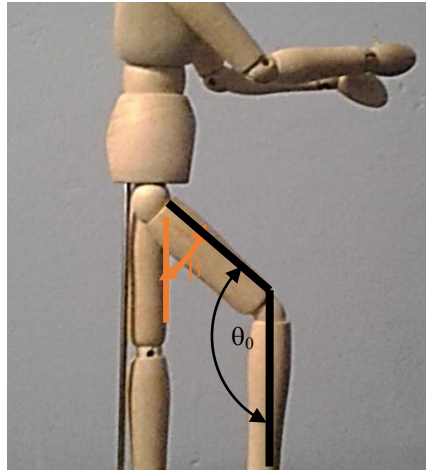
Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

De acuerdo al número de mediciones durante un tiempo establecido se trabaja con una velocidad angular promedio de $\omega = 4,8$ rad/s.

3.2. Determinación de ángulos del movimiento de la pierna.

De las mediciones hechas experimentalmente, se las traslado al modelo biomecánico

Figura 3.1: Posición 1



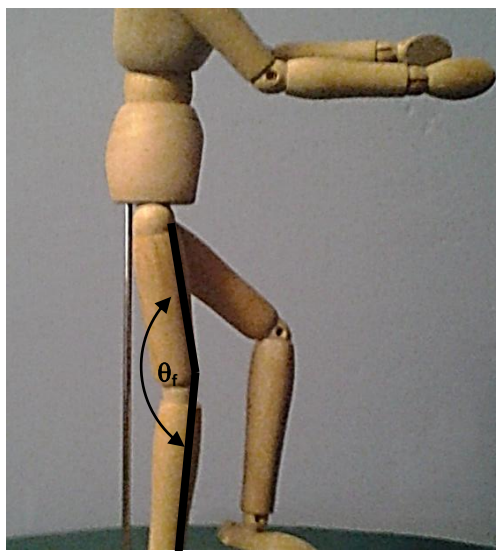
Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 3.2: Posición 2



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 3.332: Posición 3



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

3.2.1. Medición de los ángulos de la pierna:

Tabla 3.2: Ángulos de la pierna

Nº paso	$\Theta_0(^{\circ})$	$\Theta_f(^{\circ})$	$\Theta_0(\text{rad})$	$\Theta_f(\text{rad})$	$\beta(\text{rad})$
1	120	166	2,1	2,9	1,047
2	125	169	2,2	2,9	0,960
3	129	172	2,3	3,0	0,890
4	131	165	2,3	2,9	0,855
5	129	172	2,3	3,0	0,890
6	128	166	2,2	2,9	0,908
7	131	170	2,3	3,0	0,855
8	132	169	2,3	2,9	0,838
9	140	173	2,4	3,0	0,698
10	121	168	2,1	2,9	1,030
11	132	170	2,3	3,0	0,838
12	138	172	2,4	3,0	0,733
13	128	173	2,2	3,0	0,908
14	133	175	2,3	3,1	0,820
15	130	168	2,3	2,9	0,873
16	124	167	2,2	2,9	0,977
17	136	172	2,4	3,0	0,768

18	134	165	2,3	2,9	0,803
19	122	172	2,1	3,0	1,012
20	140	165	2,4	2,9	0,698
Promedio	130	169	2,27	2,96	0,87

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

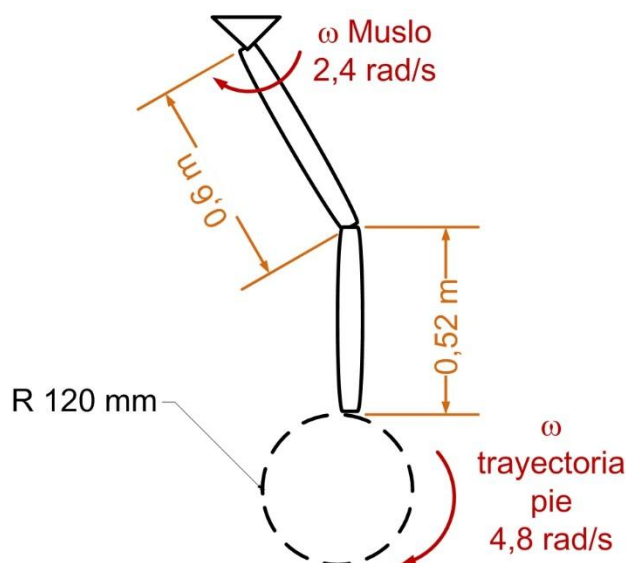
Para la velocidad angular del muslo, se usa la velocidad angular del pie, cuyo valor es de 0,77 rev/s, además sabemos que en una revolución recorre dos veces el ángulo β , por lo que un recorrido del ángulo β lo hace en media revolución, asumiendo una relación lineal entre el ángulo recorrido y la velocidad angular, se dice que la velocidad angular del muslo es la mitad de la velocidad angular del pie, es decir $0,385 \text{ rev/s} = 2,4 \text{ rad/s}$. Entonces el modelo biomecánico de una pierna para el análisis cinemático será:

Tabla 3.3: Modelo biomecánico de la pierna

Largo nalga - rodilla (m)	altura rodilla- pie (m)	$\Theta_0(^{\circ})$	$\Theta_f(^{\circ})$	$\beta(\text{rad})$	ω pie (rad /s)	ω muslo (rad /s)
0,60	0,52	2,27	2,96	0,87	4,81	2,4

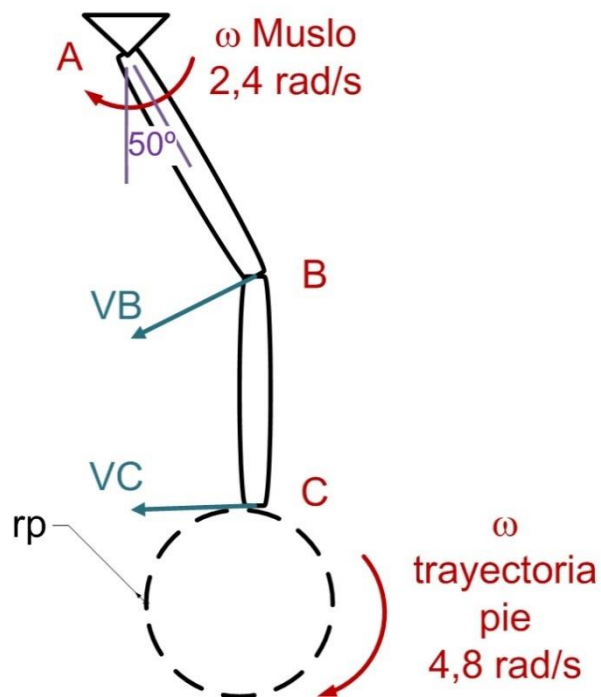
Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 3.4: Longitudes segmentos



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 3.5: Dirección segmentos



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Para el análisis, se considera:

Ecuación de velocidad (Hibbeler, 2004) para el elemento AB muslo:

$$v = \omega \times r$$

Para el muslo, considerando que el punto A, es un eslabón con eje fijo:

$$v_B = \omega_{AB} \times r_B$$

$$v_B = (2,4) \times (0,6)$$

$$|v_B| = 1,44 \text{ m/s}$$

Para la pantorrilla, considerando movimiento plano (Hibbeler, 2004):

$$v_c = v_B + \omega_{BC} \times r_{C/B}$$

$$v_c = 1,44 + \omega_{BC}(0,52)$$

$$\omega_{BC} = \omega_{pie} \text{ (en ese instante)}$$

$$v_c = 1,44 + (4,8)(0,52)$$

$$v_c = 3,9 \text{ m/s}$$

3.3. Simulación de los elementos de la pierna:

Mediante Autodesk Inventor se simula a la pierna, con el objetivo de obtener datos de la posición del centro de masa, útil para el cálculo de la energía cinética rotacional, con las siguientes consideraciones¹:

1. Se considera a la pierna como elementos de sección circular uniforme, que solo varían en su diámetro a lo largo de su eje longitudinal.
2. Se considera a los elementos que conforman la pierna como elementos sólidos, homogéneos en todo su volumen.
3. Las dimensiones de los elementos de la pierna sean las de los promedios obtenidos en el individuo de prueba:

Tabla 3.4: Dimensiones de la pierna (simulación)

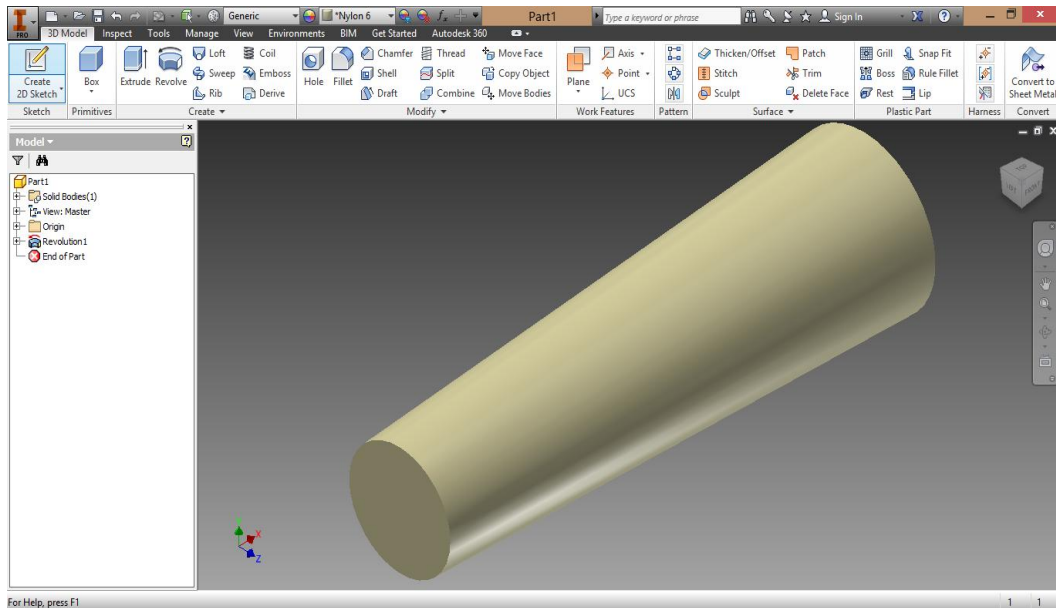
Estatura (mm)	Peso (kg)	Perímetro cadera (mm)	Perímetro muslo superior (mm)	Perímetro muslo medio (mm)	Perímetro pantorrilla (mm)	Perímetro tobillo (mm)	Largo nalga - rodilla (mm)	altura rodilla-pie (mm)
1670	71	950	570	520	370	220	600	520
		Diámetro cadera (mm)	Diámetro muslo superior (mm)	Diámetro muslo medio (mm)	Diámetro pantorrilla (mm)	Diámetro tobillo (mm)		
		302,4	181,4	165,5	117,8	70,0		

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

¹ Se asumen las consideraciones planteadas, ya que realizar una simulación con datos exactos, se necesita de instrumentos y laboratorio de biomecánica especializados.

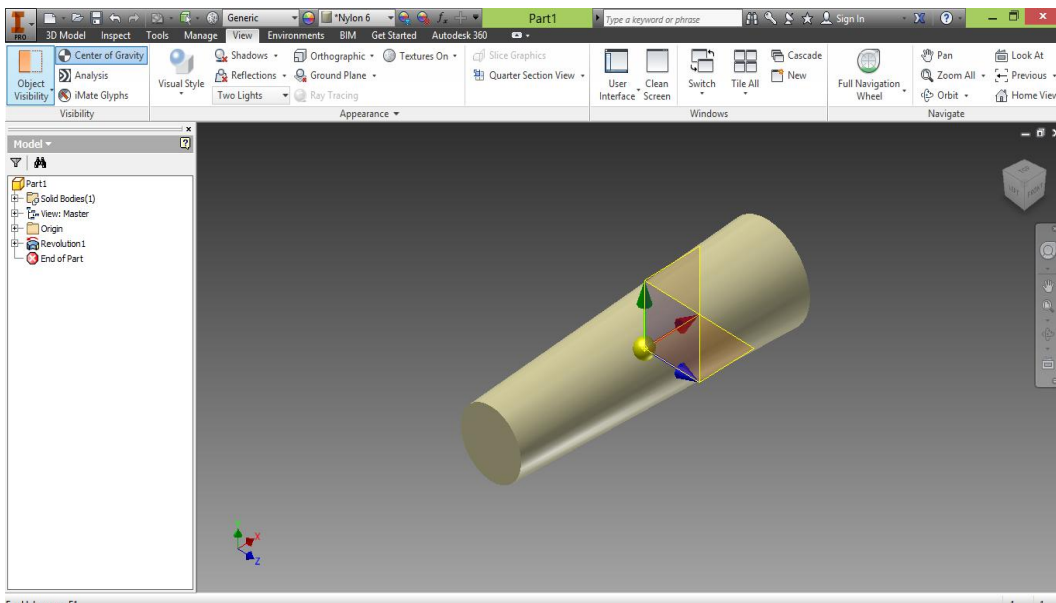
Muslo:

Figura 3.6: Proceso 1



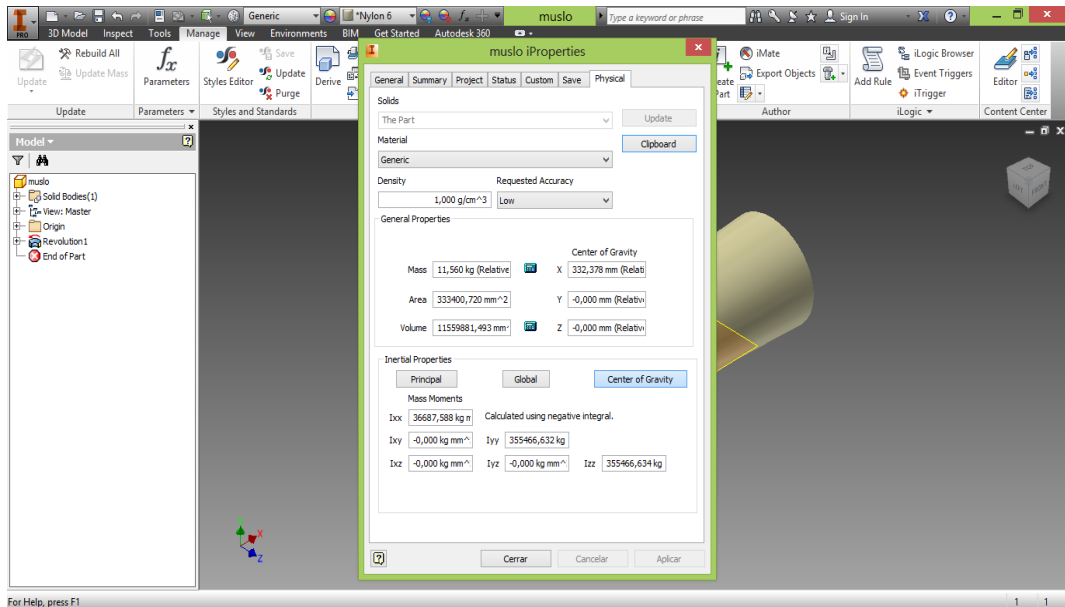
Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 3.7: Proceso 2



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 3.8: Proceso 3



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Para obtener los siguientes resultados:

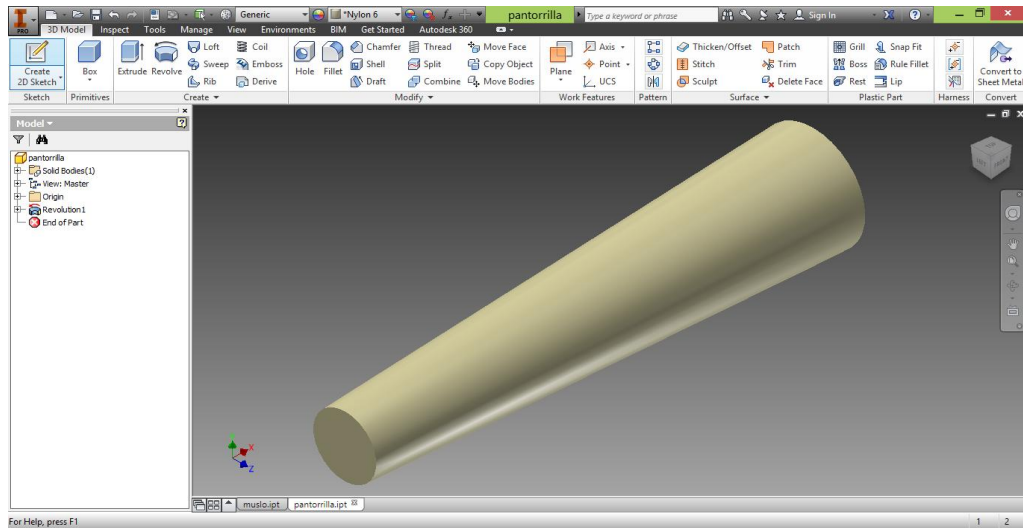
Tabla 3.5: Resultado Coord. Muslo

I_z (kg. mm)	355466,6
<i>Coordenadas centro de gravedad</i>	
X	332,38 mm
Y	0
Z	0

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

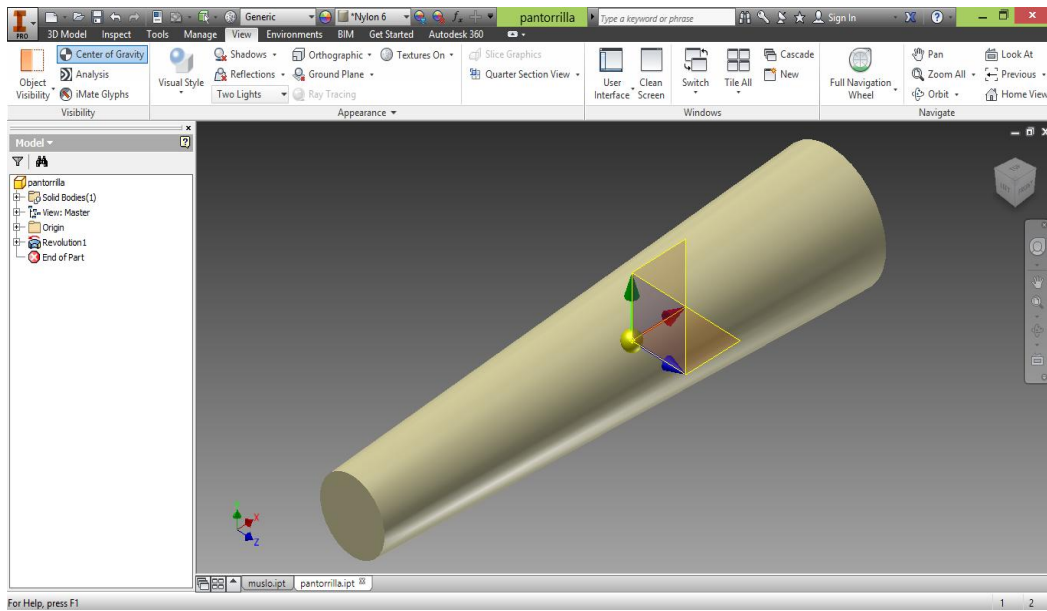
Pantorrilla:

Figura 3.9: Proceso 1



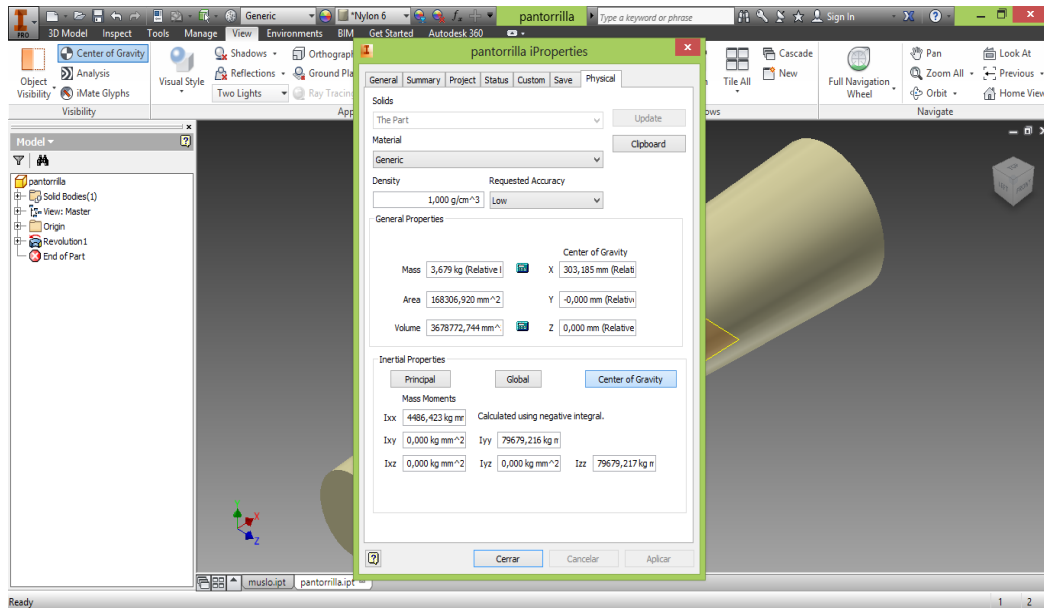
Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 3.10: Proceso 2



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Figura 3.11: Proceso 3



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Para obtener los siguientes resultados:

Tabla 3.6: Resultado Coord. Pantorrilla

I_z (kg. mm)	79679,2
<i>Coordenadas centro de gravedad</i>	
X	303,19 mm
Y	0
Z	0

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

3.4. Potencia real generada

Al calcular la energía cinética rotacional:

Para el movimiento plano general, tenemos:

$$T = \frac{1}{2}mv_G^2 + \frac{1}{2}I_G\omega^2$$

Como no existe traslación, tenemos:

$$T = \frac{1}{2}I_G\omega^2$$

Al ser I_G , el momento de inercia respecto al centro de masa.

Además, debido a que la energía es una cantidad escalar, la energía cinética total del sistema para un sistema de cuerpos rígidos “conectados”, es la suma de las energías cinéticas de todas sus partes móviles. (Hibbeler, 2004, p. 569)

Por lo se calcula la energía cinética para cada elemento y se hace la sumatoria de las mismas.

Tabla 3.7: Energía cinética Pie

ω pie (rad /s)	I_z (kg. mm)	I_z (N.m)	Ec pie (J)	E pie (cal)	E pie (kcal)
4,81	79679,2	780,86	9019,8	2157,9	2,158

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Tabla 3.8: Energía cinética Muslo

ω muslo (rad /s)	I_z (kg. mm)	I_z (N.m)	Ec muslo (J)	E muslo (cal)	E muslo (kcal)
2,4	355466,6	3483,57	10032,7	2400,2	2,40

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Tabla 3.9: Energía cinética total

E 1 pierna (J)	E 2 piernas (J)
19052,5	38105,03

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Esta energía es medida en el período de tiempo que se realizó la medición que es de 20 segundos, por lo que se puede calcular la potencia generada:

Tabla 3.10: Potencia generada

E cinética (J)	Tiempo (s)	Potencia (W)
38105,03	20	1905,25

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Al comparar este valor obtenido, con el presentado en el análisis teórico (1910 W), se llega a un valor muy cercano, lo que nos lleva a la conclusión de que el análisis realizado es correcto.

Potencia teórica generada (W)	Potencia real generada (W)
1910	1905.25

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE ENERGÍA

4.1. Análisis energético del cuerpo humano

4.1.1. Estimación de requerimientos energéticos.

La producción y el gasto de energía se encuentran determinados por el metabolismo, el cual representa a todos los procesos químicos que se realizan.

Tabla 4.1: Gasto energético total

	$GET = GEB + ETA + AF + EF$
GET	Gasto energético total
GEB	Gasto energético basal (GER, gasto energético en reposo)
ETA	Efecto termogénico de los alimentos
AF	Actividad física
EF	Estrés fisiológico

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

4.1.2. Cálculo del gasto energético diario durante el reposo (GER)

Existen varios métodos para calcular el GER, pero sea cual sea el método utilizado, el valor obtenido “*es solo una estimación*” y por tanto habrá cierto margen de error. Para obtener un valor realmente preciso sería necesaria una evaluación clínica.

La tabla ofrece un método sencillo para calcular el GER de los hombres y mujeres de varias edades. (Suverza & Hana, 2010, p. 291)

Figura 4.1: Cálculo gasto energético

Tabla 3.4 Cálculo del gasto energético diario en reposo (GER)

Edad (años)	Ecuación
Hombres	
3-9	$(22,7 \times \text{peso corporal}) + 495$
10-17	$(17,5 \times \text{peso corporal}) + 651$
18-29	$(15,3 \times \text{peso corporal}) + 679$
30-60	$(11,6 \times \text{peso corporal}) + 879$
> 60	$(13,5 \times \text{peso corporal}) + 487$
<i>Ejemplo</i>	
Hombre de 70 kg y 20 años	
$(15,3 \times 70) + 679 = 1750$	
Mujeres	
3-9	$(22,5 \times \text{peso corporal}) + 499$
10-17	$(12,2 \times \text{peso corporal}) + 746$
18-29	$(14,7 \times \text{peso corporal}) + 496$
30-60	$(8,7 \times \text{peso corporal}) + 829$
> 60	$(10,5 \times \text{peso corporal}) + 596$

Fuente: Suverza & Hana, 2010, p. 291

El estudio se basa en un individuo del género masculino, con una edad comprendida entre 20 – 30 años.

Tabla 4.2: Individuo óptimo

Estatura (cm)	Peso (kg)	Perímetro cadera (cm)	Perímetro muslo superior (cm)	Perímetro muslo medio (cm)	Perímetro pantorrilla (cm)	Perímetro tobillo (cm)	Largo nalga - rodilla (cm)	altura rodilla-pie (cm)
167	71	95	57	52	37	22	60	52

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Entonces la fórmula de cálculo será:

$$GER = 15,3 \times \text{peso corporal} + 679$$

$$GER = 15,3 \times 70 + 679 = 1765,3 \text{ Kcal}$$

4.1.3. Cálculo de la actividad física (AF)

Para el presente cálculo se tomará en cuenta una actividad ligera a moderada:

Figura 4.2: Clasificación de las actividades

Tabla 3.5 Clasificación de las actividades físicas en base al índice de gasto energético*		
Ejercicio aerobio moderado, ligero (< 7 C/min)		
Tiro al arco	Billar	Montar a caballo
Bádminton social	Bolos	Entrenamiento de peso
Baloncesto	Bailar	Nadar (18-23 m/min)
Bicicleta (8-16 km/h)	Golf	Caminar (3-6 km/h)

Fuente: Suverza & Hana, 2010, p. 293

Figura 4.3: Factor de actividad física

Tabla 3.6 Sistema de clasificación del factor actividad física	
Actividad	Múltiplo del GER
1. Descanso: dormir, estar reclinado mientras se ve la TV.	1,0
2. Muy ligero: actividades de estar sentado o de pie, como conducir, jugar a las cartas, escribir a máquina.	1,5
3. Ligero: actividades comparables a caminar muy despacio, tareas del hogar ligeras, deportes como el golf, los bolos, el tiro de arco.	2,5
4. Moderado: caminar a un paso de 5-6 km/h, jardinería activa, deportes como la bicicleta, el tenis, el baile.	5,0
5. Fuerte: caminar muy rápido, subir escaleras y cuestas, deportes más activos, como el baloncesto, el fútbol.	7,0

Fuente: Suverza & Hana, 2010, p. 293

Para el análisis:

$$AF = 5,0 \times GER$$

$$AF = 5,0 \times 1765,3 = 8826,5 \text{ Kcal}$$

4.1.4. Cálculo del gasto de energía por efecto termo-génico de los alimentos (Suverza & Hana, 2010, p. 298)

El efecto termogénico de los alimentos (ETA), es parte constitutiva de la termogénesis que determina cambios en el GEB.

El ETA es el gasto energético asociado al consumo de alimentos por cualquier vía de administración, y se incrementa después de las comidas reflejando el tamaño y composición de las mismas, aumentando a su máximo aproximadamente una hora después de las comidas y desapareciendo, virtualmente 4 horas después.

Para todos los casos de consumo de alimentos, se agrega un 10% sobre el GER cuando se consume dietas mixtas.

Por lo tanto:

$$\mathbf{ETA} = 0,1 \times GER$$

$$\mathbf{ETA} = 0,1 \times 1765,3 = 176,53 \text{ Kcal}$$

4.1.5. Cálculo del gasto energético por estrés fisiológico

Se identifica como el estrés fisiológico a cualquier condición o estímulo que rompe la homeostasis (capacidad de mantener una condición interna estable) del cuerpo, incluyendo fiebre, cirugías, traumas, infecciones, cáncer, VIH y quemaduras.

Por lo antes expuesto para la presente investigación se considera nulo este factor.

$$EF = 0$$

4.2. Cálculo del gasto total energético

Al calcular GET:

Tabla 4.3: Cálculo del gasto total energético

GER	1765,3
AF	8826,5
ETA	176,53
EF	0
GET	10768,33

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Se puede decir que el valor calculado de $GET = 10768,33$, corresponde a la cantidad de energía que requiere un hombre de 71 Kg, con una edad comprendida entre 20 y 30 años para realizar una rutina de ejercicios.

Este será el valor referencial para la transformación de energía humana en eléctrica.

La energía en el cuerpo humano se pierde en forma de calor, estudios realizados indican que del total del GET se pierde aproximadamente un 75% como calor quedando solo el 25% de esta energía es la que utiliza el cuerpo humano para poder generar movimiento, entonces la energía referencial será:

$$E_h = 0,25 \times GET$$

$$E_h = 0,25 \times 10768,33 \text{ kcal} = 2692 \text{ kcal}$$

$$E_h = 11270 \text{ kJ}$$

4.3. Músculos usados en el ejercicio (Sprayette 2.)

Figura 4.4: Rutina de ejercicio



Fuente: Sprayette, 2010.

4.3.1. Músculos de piernas usados: (Polishop)

Figura 4.5: Músculos usados 1



Fuente: Polishop, 2013.

Figura 4.6: Músculos usados 2



Fuente: Polishop, 2013.

Para realizar un análisis de fuerza de la pierna en el pedaleo elíptico, se analiza a la pierna como un sistema masa – resorte – amortiguador.

Para determinar los parámetros biomecánicos para este modelo, se toman las siguientes consideraciones:

Una de las ventajas al cuerpo que presenta el pedaleo elíptico es que permite ejercitar los músculos sin sufrir lesiones o *sentir dolor en las articulaciones*. (kioskea, 2014), con esto, el efecto amortiguador del musculo lo hace la máquina de pedaleo elíptico, por lo que nuestro modelo se reduce a un sistema masa – resorte.

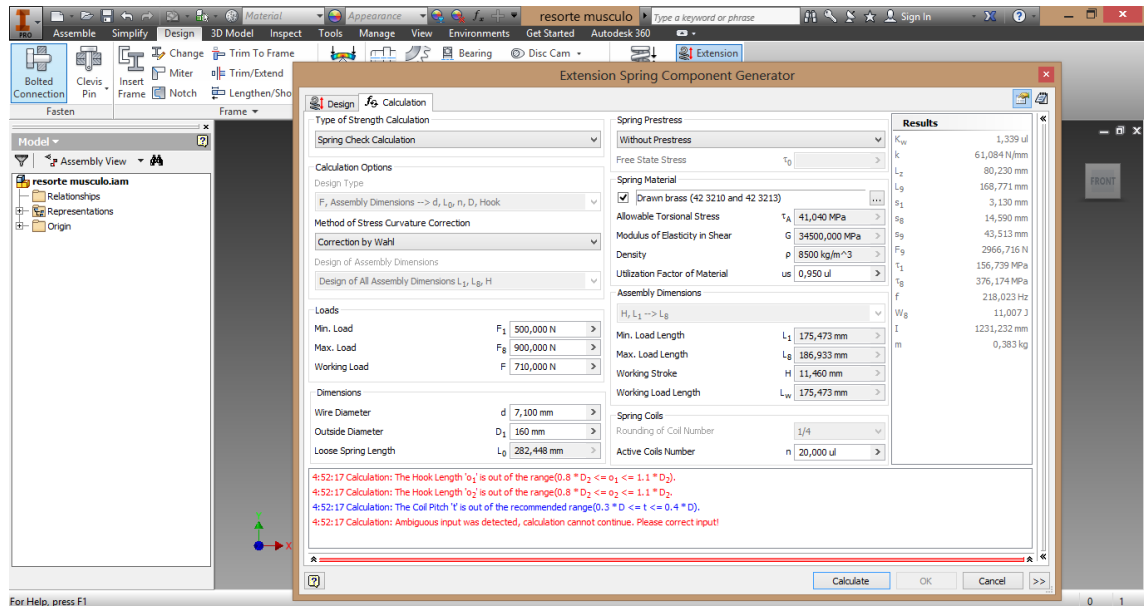
Para modelar este sistema, necesitamos el valor de la constante del resorte, se asume un valor presentado en el marco teórico de fuerza contráctil máxima de entre 3 y 4 kg/cm.

Con este valor se simulará en Inventor, un resorte con estas características, utilizando una fuerza de trabajo igual al peso del individuo de prueba ($71 \text{ kg} \approx 710 \text{ N}$).

- ✓ Se escoge el material con el más bajo valor de módulo de elasticidad en cortante, para que se asemeje más al músculo.
- ✓ Se trabajará con las dimensiones del muslo, ya que este músculo es el que realiza el mayor trabajo en el ejercicio.

Primera iteración:

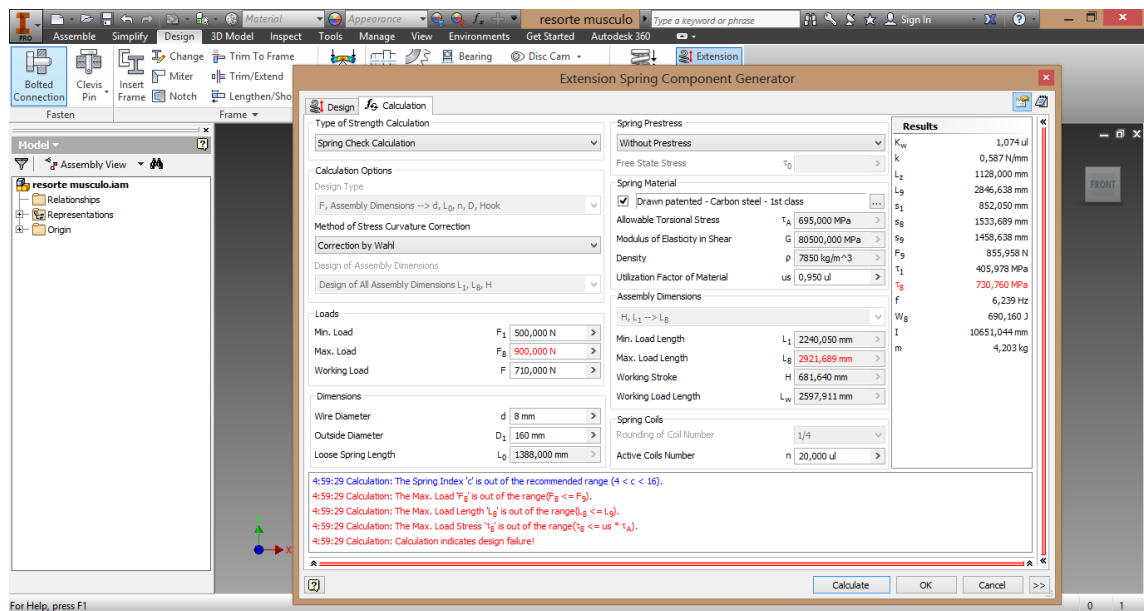
Figura 4.7: Primera iteración



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Segunda iteración:

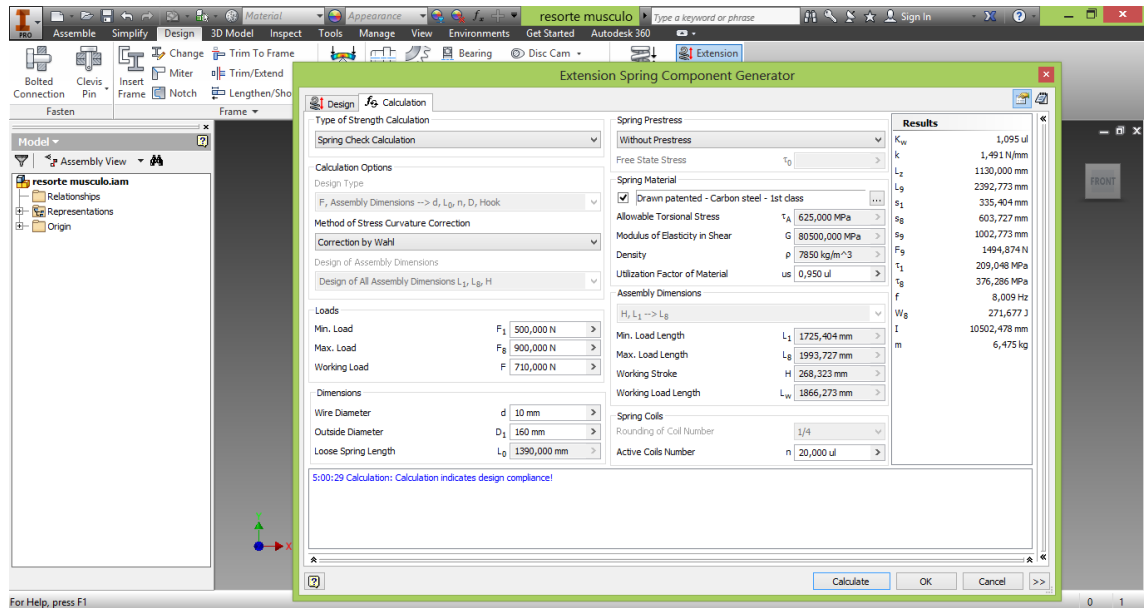
Figura 4.8: Segunda iteración



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Tercera iteración:

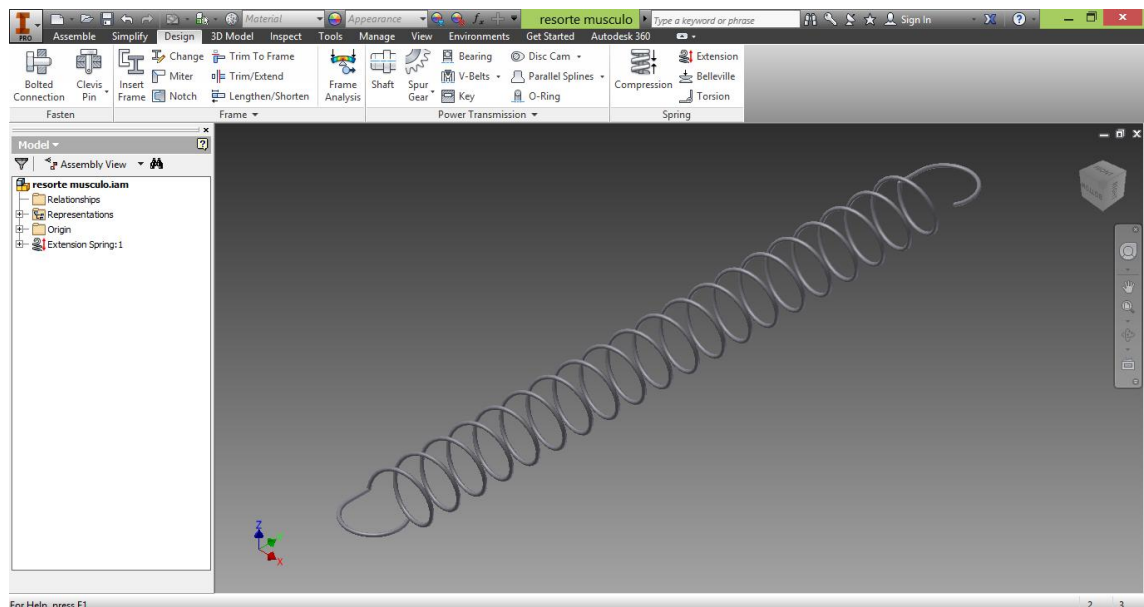
Figura 4.9: Tercera iteración



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Se obtiene un resultado correcto con los requerimientos.

Figura 4.10: Resorte



Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

De los resultados presentados por el software, se usa el valor de la constante k:

$$k = 1,49 \frac{N}{mm} = 1490 \frac{N}{m}$$

El estiramiento aproximado de una fibra muscular larga (muslo), oscila entre 1,27 a 3,6 μm (Nordin & Frankel, 2001), tomando los valores máximos de estiramiento.

Calculando una energía potencial elástica:

$$E_{elastica} = 1490 \frac{N}{m} \times (3,6 \times 10^{-6} m)^2 = 1,9 \times 10^{-8} J$$

Que sería la energía aportada por el musculo a la energía total. Lo que nos indica que el aporte de la contracción del musculo es despreciable.

Estimando la energía total del sistema considerando una rutina de 60 minutos:

Tabla 4.4: Tiempo-potencia

E cinética (J)	Tiempo (s)	Tiempo (min)	Potencia (W)
38105,00	20	0,333	1905,25
38105,00	60	1,0	5715,75
38105,00	300	5,0	28578,75
38105,00	600	10,0	57157,50
38105,00	1200	20,0	114315,00
38105,00	1800	30,0	171472,50
38105,00	2400	40,0	228630,00
38105,00	3000	50,0	285787,50
38105,00	3600	60,0	342945,00

Elaborado por: Lebis Recalde-Nelson Villagrán.

Por lo que se puede decir que en una rutina de 60 minutos se obtiene 342945 W, es decir una energía de 342945 W/h.

Pero se debe tomar en cuenta que solo el 25% de esta energía es aprovechable, por lo que la cantidad de energía que puede transformarse en energía eléctrica sería:

$$E_{aprovechable} = 0,25 \times 342945 = 85736,25 W/h$$

Además hay que considerar las pérdidas por fricción de la máquina, fricción de los elementos de generación, entonces se estima que 60% se pierde, por lo que tendríamos:

$$E_{transformable} = 0,4 \times 85736,25 = 34294,5 W/h$$

CONCLUSIONES

- Ejercitarse, en sí tiene miles de beneficios para la salud. Mejora la circulación, lo que lleva a un mejor funcionamiento del corazón, por lo que uno de los grandes atractivos de la elíptica es que pone en acción tanto la parte inferior del cuerpo, como los brazos y tronco. Como resultado se obtiene un gran desgaste de energía, el cual fue aprovechado para la generación de energía limpia (eléctrica).
- La investigación se la realizó tanto a hombres como mujeres pero de acuerdo al análisis realizado el individuo idóneo para generar mayor cantidad de energía eléctrica pertenece al género masculino, con una edad comprendida entre 20 a 30 años, ya que las características fisiológicas son las óptimas.
- El individuo en una actividad física, pierde aproximadamente un 75% de energía como calor y el 25% restante es utilizado por el cuerpo humano para poder generar movimiento, dicha energía es 2692 kcal que equivale a 11270 kJ .
- La cantidad de energía eléctrica obtenida en una rutina de 60 minutos con una persona en óptimas condiciones fisiológicas es de $34294,5 \text{ W/h}$.

RECOMENDACIONES

- Dentro del estudio biomecánico se puede hacer uso de otros miembros del cuerpo humano para la generación y obtención de energía eléctrica, sean estos los brazos o los pies por mencionar algunos de ellos.
- Se debe dar mayor énfasis a esta nueva ciencia y herramienta tecnológica como lo es la biomecánica, ya que gracias a esta se puede expandir el área de la mecánica y así ser un aporte al crecimiento de la misma.
- Este estudio puede ser realizado a personas que realicen actividades físicas constantes como atletas, deportistas, etc con el fin de obtener mejores resultados o niveles mayores de energía eléctrica debido a su preparación y cuidado.

LISTA DE REFERENCIAS

- García, & Hurlè. (2005). *Anatomía Humana*. España: McGraw Hill.
- Guyton, & Hall. (2011). *Tratado de Fisiología Médica*. España: Elsevier.
- Hibbeler, R. (2004). *Mecánica Vectorial para ingenieros*. Mexico: 2004.
- Izquierdo, M. (2008). *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte*. Argentina: Panamericana.
- kioskea. (2014). *Salud kioskea*. Recuperado el 22 de diciembre del 2014 de:
<http://salud.kioskea.net/faq/traumatologia-lesiones-deportivas-46#2370>
- Lioi, L. (2010). *A perder peso*. Recuperado el 27 de diciembre del 2014 de:
<http://www.aperderpeso.com/bicicletas/bicicletas-estaticas-o-elipticas.html>
- Marieb, E. (2008). *Anatomía y Fisiología Humana*. España: Pearson Educación.
- Martinez, E. (1985). *La capacidad aeróbica. Educación Física y Deporte*.
- Millikonsky, P. (1993). Capacidad y Potencia Anaeróbica según sexo, edad y grupos musculares. *Revista de Actualización en Ciencias del Deporte Vol. 1* .
- Nordin, & Frankel. (2001). *Biomecánica básica del sistema musculo esquelético*. España: McGraw Hill.
- Polishop. (s.f.) (2013). *Orbitrek Elite* de:
https://www.youtube.com/watch?v=QFJpgl2_AqY
- Prieto, J. (2013). *Foro Atletismo* de:
<http://www.foroatletismo.com/entrenamiento/que-maquina-cardiovascular-quema-mas-calorias/>
- Sàez, G. (2010). *Relación entre potencia física del tren inferior respecto del porcentaje de grasa corporal y la masa muscular, en deportistas masculinos de Taekwon do categorías olímpicas de la universidad del mar, sede Maipù, Santiago*. Curicò - Chile: Universidad del Mar.
- Sprayette, O. . (s.f.) (2010). *Orbitrek* de: <https://www.youtube.com/watch?v=tNx-cOPDp1Y>