



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

**VALIDEZ, CORRELACIÓN Y CONCORDANCIA ENTRE  
CALORIMETRÍA INDIRECTA Y EL SISTEMA DE  
POSICIONAMIENTO GLOBAL, ACELEROMETRÍA TRIAXIAL Y  
DESGLOSE DE ACTIVIDADES PARA LA DETERMINACIÓN DEL  
GASTO CALÓRICO EN ENTRENAMIENTO DE RESISTENCIA EN  
ATLETAS DE LA MODALIDAD DE MARCHA**

**Astrid Elena Quinchia Castro**

**Universidad Nacional de Colombia**

**Facultad de Medicina**

**Maestría en Fisioterapia del Deporte y la Actividad Física**

**Bogotá D. C, Colombia**

**2018**



**VALIDEZ, CORRELACIÓN Y CONCORDANCIA ENTRE  
CALORIMETRÍA INDIRECTA Y EL SISTEMA DE  
POSICIONAMIENTO GLOBAL, ACELEROMETRÍA TRIAXIAL Y  
DESGLOSE DE ACTIVIDADES PARA LA DETERMINACIÓN DEL  
GASTO CALÓRICO EN ENTRENAMIENTO DE RESISTENCIA EN  
ATLETAS DE LA MODALIDAD DE MARCHA**

**Astrid Elena Quinchia Castro**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Fisioterapia del Deporte y la Actividad Física**

Director:

MD. Mauricio Serrato Roa

Especialista en Medicina del Deporte

Coordinador de la Especialidad de Medicina del Deporte

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina

Maestría en fisioterapia del deporte y la actividad física

Bogotá D. C, Colombia

2018



# **Dedicatoria**

*A Dios por su infinita grandeza y amor.*

*A mi esposo Jorge Mauricio Ramos y a mi hijo Nicolás, por su gran paciencia, y ser mi gran motivación para no desfallecer y seguir a adelante.*

*A mis hermanos Marcela, Daniel y Manuelle, por su gran sentido de superación, que me motiva a hacer cada día mejor.*

*A mi madre Blanca, la mujer guerrera, amorosa, trabajadora que ha sido un ejemplo a seguir.*

*A mi padre Héctor, por forjar mi carácter con su disciplina.*

*... a ellos muchas gracias por ser incondicionales y estar siempre a mi lado...*

## Agradecimientos

Un agradecimiento especial a mis atletas de la selección Colombia de marcha por su valiosa colaboración para sacar adelante mi investigación, al igual que a sus entrenadores Marcelino Pastrana y Sandra Zapata. A mis asesores la Nutricionista Mercedes Mora Plazas, Magister en Fisiología y docente de la Pontificia Universidad Javeriana, por su asesoría en la determinación del gasto calórico por desglose de actividades en entrenamiento, al Dr. Camilo Ernesto Poveda Combariza, Especialista de Medicina del Deporte y Medico del Deporte de la Fundación Cardio - Infantil por su asesoría y préstamo de los equipos de acelerometría, al Dr. Oscar Humberto Ortiz Magister en Fisiología del ejercicio, Especialista de Medicina del Deporte del GIT de Investigación de Coldeportes y Dr. Carlos Albero Suarez Forero, Especialista de Medicina del Deporte del GIT del Centro de Ciencias del Deporte (CCD) de Coldeportes, por el apoyo en la medición en campo, a Dr. Juan Carlos Quiceno Noguera , Coordinador del CCD y Especialista de Medicina del Deporte del GIT del CCD por facilitar los equipos de calorimetría y permitir el desarrollo de la investigación, a Danny Alexander Pineda Magister en Ciencias y Tecnología, por la asesoría y préstamo del equipo GPS, Sandra Milena Moreno Lemus, Magister en ciencias Biológicas con énfasis en Bioquímica y Bacterióloga del CCD de Coldeportes por el procesamiento y toma de las muestras de sangre y Manuel Javier Tunjano estudiante de pregrado de estadística de la Universidad San Tomas, por el apoyo en el procesamiento de datos.

## Resumen

**OBJETIVO:** Establecer la validez, correlación y concordancia entre la calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global (GPS), la acelerometría triaxial y el desglose de actividades, para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en los atletas en la modalidad de marcha.

**MÉTODO:** El estudio corresponde a un estudio observacional- descriptivo, analítico y transversal, se midieron las variables definidas en el estudio por los diferentes métodos planteados para el cálculo del gasto calórico y se estableció el grado de consistencia y conformidad estadística entre la calorimetría indirecta (*Gold estándar*) y tres métodos para la determinación del gasto calórico en campo en atletas de marcha.

**RESULTADOS:** Al comparar la calorimetría indirecta con cada uno de los métodos o equipos encontramos: La acelerometría triaxial refleja un gasto calórico menor en 2,5 kcal/min cuya diferencia no es estadísticamente significativa p-valor de  $0.1209 > 0.05$ ; El GPS refleja un gasto calórico mayor en 1,3 kcal/min cuya diferencia no es estadísticamente significativa, un p-valor de  $0.6163 > 0.05$  y ecuación de Cunningham (MLG Ross & Kerr) es mayor en 1,5 kcal/min cuya diferencia no estadísticamente significativa, un p-valor de  $0.4894 > 0.05$ . Por lo tanto, estos tres métodos tienen una confianza del 95%, lo que los propone como métodos intercambiables para la medición del gasto calórico en la actividad de marcha atlética. Caso contrario, ocurrió al comparar con la calorimetría indirecta con la ecuación de Cunningham (MLG Yuhasz) y ecuación Harris y Benedict (MET Corregido), los cuales obtuvieron un p-valor de  $0.0255 < 0.05$  y p-valor de  $0.0073 < 0.05$  respectivamente.

Adicionalmente el análisis de Correlación de los métodos con la carga externa determinada por la velocidad real de los marchistas durante la prueba, como forma de medir la validez externa de los diferentes métodos. La correlación de Spearman del “*Gold Estándar*” calorimetría indirecta fue muy buena siendo 0,89, mostrando que la calorimetría es un método adecuado para realizar las comparaciones.

CONCLUSIONES: Basados en que la Calorimetría Indirecta es el “*Gold Estándar*”, se podría sugerir como valor para el cálculo de calorías para la actividad específica de Atletismo Marcha de 10,33 Kcal/mn a una velocidad promedio de 11,5 km/h. De igual forma se evidenció que los métodos para el cálculo del gasto calórico en 5 km de marcha atlética estimado por la acelerometría triaxial utilizando el equipo actiheart, el GPS fénix 3 HR y el método por desglose de actividades utilizando la ecuación de Cunningham calculando la MLG por el fraccionamiento de masa de cinco componentes Ross,W. & Kerr,D. 1991, están acordes en la misma observación de la estimación del gasto calórico, demostrando su consistencia lo que hacen que estos sean intercambiables con la calorimetría Indirecta. Por el contrario, la estimación por la ecuación de Cunningham calculando la MLG Yuhasz y la ecuación de Harris y Benedict con el “MET Corregido no demostraron esta concordancia por consistencia estadística.

PALABRAS CLAVES: Atletismo marcha, validez, correlación y concordancia.

## Abstract

**OBJECTIVE:** To establish the validity, correlation and concordance between the indirect calorimetry and the global positioning system (GPS), the triaxial accelerometry and the apportionment of activities, for the determination of the caloric expenditure in endurance training in the athletes in the walking race.

**METHOD:** corresponds to an **observational-descriptive, analytical and cross-sectional** study, the variables defined in the study were measured by the different methods proposed for the calculation of caloric expenditure and was established the degree of consistency and statistical compliance between indirect calorimetry (Gold standard) and three methods for determining caloric expenditure in the field in athletes in the walking race.

**RESULTS:** When comparing the indirect calorimetry with each one of the methods or equipment we find: The triaxial accelerometry reflects a caloric expenditure lower in 2.5 kcal / min whose difference is not statistically significant with a p-value of  $0.1209 > 0.05$ ; The GPS reflects a caloric expenditure greater than 1.3 kcal / min whose difference is not statistically significant, a p-value of  $0.6163 > 0.05$  and the Cunningham equation (fat-free mass Ross & Kerr) is higher by 1.5 kcal / min, the difference is not statistically significant, a p-value of  $0.4894 > 0.05$ . Therefore, these three methods have a confidence of 95%, which proposes them as interchangeable methods for the measurement of caloric expenditure in athletic walking activity. Otherwise, it occurred when comparing indirect calorimetry with the Cunningham equation (fat-free mass Yuhasz) and Harris and Benedict equation (MET corrected), which obtained a p-value of  $0.0255 < 0.05$  and p-value of  $0.0073 < 0.05$  respectively

Additionally, the correlation analysis of the methods with the external load determined by the actual speed of the marchers during the test, as a way to measure the external validity of the different methods. The Spearman correlation of the "Standard Gold" indirect calorimetry was very good being 0.89, showing that the calorimetry is an adequate method to make the comparisons.

**CONCLUSIONS:** Based on the fact that the Indirect Calorimetry is the "Gold Standard", it could be suggested as a value for the calculation of calories for the specific activity of walking race of 10.33 Kcal / mn at an average speed of 11.5 km / h. Likewise, it was evidenced that the methods for calculating the caloric expenditure in 5 km of athletic walking race estimated by the triaxial accelerometry using the actiheart equipment, the phoenix GPS 3 HR and the activity apportionment method using the Cunningham equation calculating the fat-free mass by the five-component mass fractionation Ross, W. & Kerr, D. 1991, are consistent in the same observation of the estimation of caloric expenditure, demonstrating its consistency which makes them interchangeable with Indirect calorimetry. On the contrary, the estimation by the Cunningham equation calculating the fat-free mass Yuhasz and the Harris and Benedict equation with the "MET Corrected" did not show this concordance for statistical consistency.

**KEY WORDS:** walking race, validity, correlation and concordance

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>V</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XI</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de Abreviaturas</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Marco Conceptual</b> .....	<b>5</b>
1.1 Antecedentes .....	5
<b>1.2 Pregunta de investigación</b> .....	<b>12</b>
<b>1.3 Delimitación del problema</b> .....	<b>12</b>
<b>2. Justificación</b> .....	<b>17</b>
<b>3. Objetivos</b> .....	<b>18</b>
3.1 Objetivo General .....	18
3.2 Objetivos Específicos.....	18
<b>4. Hipótesis</b> .....	<b>19</b>
4.1 Hipótesis Nula .....	19
4.2 Hipótesis Alterna .....	19
<b>5. Definición de términos</b> .....	<b>21</b>
<b>6. Marco teórico</b> .....	<b>25</b>
6.1 Generalidades .....	25
6.2 Componentes del Gasto Energético Total (GET).....	26
6.3 Métodos para la determinación del gasto energético .....	28
6.3.1 Método Calorimétricos .....	28
6.3.1.1 Calorimetría directa (CD).....	29
6.3.1.2 Calorimetría indirecta (CI).....	29
6.3.2 Métodos no calorímetros.....	35
6.3.2.1 Agua doblemente marcada .....	35
6.3.2.2 Análisis de bioimpedancia bioeléctrica.....	37
6.3.2.3 Sensor de calor y el movimiento. ....	38
6.3.2.4 Registros de Actividad Física .....	38
6.3.2.5 Los cuestionarios de ingesta alimentaria .....	40
6.3.2.6 Las ecuaciones de predicción. ....	40
6.3.2.7 Otros métodos para la determinación del gasto calórico.....	41
6.4 Ventajas y limitaciones de los métodos para la determinación del gasto energético.....	47
<b>7. Marco metodológico</b> .....	<b>53</b>
7.1 Tipo de estudio.....	53

- X Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha
- 

7.2	Población blanco .....	53
7.3	Población de estudio.....	54
7.3.1	Criterios de Inclusión .....	54
7.3.2	Criterios de Exclusión.....	55
7.4	Diseño Muestral .....	55
7.5	Diseño del estudio.....	56
7.6	Categorización de Variables .....	58
7.7	Instrumento de recolección de información.....	60
7.8	Aspectos éticos .....	60
7.9	Análisis estadístico.....	61
<b>8.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>65</b>
8.1	Procedimientos.....	65
8.1.1	Evaluación médica .....	65
8.1.2	Evaluación Antropométrica. ....	65
8.1.3	Mediciones del gasto energético durante el entrenamiento.....	67
8.1.3.1	Medición del gasto energético con el COSMED K4 b2. ....	68
8.1.3.2	Medición del gasto energético con el Actiheart.....	69
8.1.3.3	Medición del gasto energético con el GPS. ....	71
8.1.3.4	Medición del gasto energético por desglose de actividades. ....	73
<b>9.</b>	<b>Recursos y costos .....</b>	<b>79</b>
<b>10.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>81</b>
<b>11.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>99</b>
11.1	Conclusiones.....	99
11.2	Recomendaciones.....	100
<b>12.</b>	<b>Discusión.....</b>	<b>101</b>
<b>13.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>105</b>
<b>14.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>113</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1-1 Modelo conceptual de la investigación.....	15
Figura 6-1 Componentes del gasto energético total.....	28
Figura 6-2 Diagramas de calorímetros de circuito abierto.....	32
Figura 6-3 Fisiología de Cinética del $VO_2$ .....	34
Figura 6-4 Eliminación de los isótopos marcados.....	36
Figura 7-1 Diseño de estudio.....	58
Figura 8-1 Medición del $VO_2$ (ml/min) y cinética del $VO_2$ .....	69
Figura 8-2 Modelo ramificado de Actiheart para calcular el gasto energético.....	70
Figura 8-3 Descripción de los datos obtenidos por el Garmin Fénix 3 HR .....	72
Figura 8-4 Regresión lineal para el cálculo del MET para la actividad de caminata .....	75
Figura 10-1 Distribución del gasto calórico por diferentes métodos.....	84
Figura 10-2 Supuesto de normalidad Test de Shapiro –Wilk para los datos obtenidos.....	85
Figura 10-3 Supuesto de varianza test de Bartlett’s para los datos obtenidos.....	86
Figura 10-4 Supuesto de Independencia test de Box-Ljung de los datos obtenidos .....	87
Figura 10-5 Correlación entre la Calorimetría indirecta ( $VO_2$ ) y la velocidad en $km/h^{-1}$ .	91

XII Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

---

Figura 10-6	Correlación entre GPS y la velocidad en $\text{km/h}^{-1}$ .....	90
Figura 10-7	Correlación entre el acelerómetro Actiheart y la velocidad en $\text{km/h}^{-1}$ .....	91
Figura 10-8	Correlación entre el método usando MLG con Ross Kerr y la velocidad en $\text{km/h}^{-1}$ .....	92
Figura 10-9	Correlación entre el método usando MLG con Yuhasz y la velocidad en $\text{km/h}^{-1}$ .....	92
Figura 10-10	Correlación entre el método usando MLG con Harris & Benedict y la velocidad en $\text{km/h}^{-1}$ .	93
Figura 21	Potencia de la prueba para definir tamaño de la muestra.....	95

## Lista de tablas

		<b>Pág.</b>
Tabla 6-1	Ventajas y limitaciones de los métodos de evaluación del gasto calórico.....	48
Tabla 7-1	Categorización de variables.....	58
Tabla 8-1	Valores del MET para la actividad de caminar compendio 2011.....	74
Tabla 8-2	Valores del MET calculadas para la actividad de caminar compendio....	73
Tabla 9-1	Recursos y costos.....	79
Tabla 10-1	Datos generales antropométricos.....	81
Tabla 10-2	Datos generales composición corporal.....	80
Tabla 10-3	Promedio del gasto calórico estimado por los diferentes métodos o equipos.....	83
Tabla 10-4	Estimación de efectos en el modelo para cada equipo.....	88
Tabla 10-5	Análisis de varianza para el modelo planteado.....	88
Tabla 10-6	Concordancia entre los diferentes métodos para evaluar gasto calórico comparado con la calorimetría Indirecta.....	89
Tabla 10-7	Comportamiento de la potencia de la muestra.....	96

# Lista de Abreviaturas

## Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<i>AF</i>	Actividad física
<i>ATP</i>	Adenosin Tri fosfato
<i>BIA</i>	Bioimpedancia bioelectrica
<i>CD</i>	Calorimetria Directa
<i>CI</i>	Calorimetria Indirecta
<i>CO<sub>2</sub></i>	Dioxido de carbono
<i>DLW</i>	Agua doblemente marcada
<i>ETA</i>	Efecto termico de los alimentos
<i>Fmax</i>	Frecuencia cardiaca máxima
<i>FM2C</i>	Fraccionamiento de masas de dos componentes
<i>FM5C</i>	Fraccionamiento de masas de cinco componentes
<i>FRMR</i>	Factor de la tasa metabólica en reposo
<i>GE</i>	Gasto energético
<i>GEB</i>	Gasto Energetico Basal
<i>GER</i>	Gasto Energético en Reposo
<i>GET</i>	Gasto Energético Total
<i>GPS</i>	Sistema de Posicionamiento Global
<i>H<sub>2</sub></i>	Deuterio
<i>H<sub>2</sub>O</i>	Agua
<i>HR</i>	Frecuencia cardiaca
<i>HZ</i>	Hertz
<i>Kcal</i>	Kilocalorias
<i>Kg</i>	Kilogramos
<i>L</i>	Litro
<i>máx</i>	máxima
<i>MET</i>	Equivalente metabólico
<i>min</i>	minutos
<i>MLG</i>	Masa Libre de Grasa
<i>ml</i>	mililitros
<i>O<sub>2</sub></i>	Oxigeno
<i>RMR</i>	Tasa metabólica en reposo
<i>RQ</i>	Coeficiente respiratorio
<i>VO<sub>2</sub></i>	Consumo de oxigeno

# Introducción

La medición del gasto calórico es de particular importancia en el deporte de alto rendimiento, debido a que este valor determina el requerimiento diario de calorías del atleta, lo que conlleva a un equilibrio energético y de esta forma lograr brindar un óptimo desempeño deportivo, dentro de una estrategia nutricional.

El gasto calórico en el ser humano está dado principalmente por las calorías necesarias para cumplir las funciones vitales básicas, la actividad física, el efecto termogénico de los alimentos y en los atletas jóvenes para el crecimiento. Los atletas o deportistas tienen un gasto energético más altos por entrenamiento que el común de las personas, volviéndose el componente más variable del gasto calórico total, esto debido a que realizan un plan de entrenamiento estructurado donde el entrenador planifica de acuerdo al macro ciclo variaciones de duración, frecuencia e intensidad para mejorar su rendimiento deportivo.

Sabiendo que la energía producida para realizar las diferentes actividades termina produciendo calor, su medición directa se realiza con la cuantificación de calor liberado en *kilocalorías* y el método de referencia es la *Calorimetría Directa*. El gasto energético está relacionado directamente con el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) requerido para producir esta energía. La medición de gasto energético en relación con el  $VO_2$  se denomina *Calorimetría Indirecta*.

En la actualidad existen equipos que son usados en campo y que miden o predicen el gasto energético total o de una actividad física específica, utilizando diferentes métodos o sensores combinados que varían entre sí; como lo son los sistemas de posicionamiento

satelital GPS, acelerometría triaxial o frecuencia cardíaca, estos tendrán posiblemente menor precisión que la *calorimetría indirecta*, dado que no pueden medir directamente el  $VO_2$ , o la carga interna pero son más asequibles y prácticos de utilizar en la práctica diaria del entrenamiento. Es tradicional, en el quehacer de la nutricionista utilizar el método de desglose de actividades utilizando el compendio de actividades físicas de Ainsworth, B. et al. 2011, para tratar de calcular de manera doblemente indirecta el gasto energético. Este método presenta limitaciones, debido que este reporte el atleta lo hace de forma retrospectiva y se pueden presentar dificultades de recordación y subjetividad de la interpretación de los tiempos, volúmenes e intensidades realizadas. De hecho, cada semana del plan de entrenamiento varía, por lo que la estimación de una fracción de tiempo no puede ser generalizada a todas las actividades del atleta.

Las investigaciones realizadas para determinar el gasto calórico por actividades físicas, definen a la *calorimetría indirecta* como un método que muestra el metabolismo energético, “in vivo” a partir de las mediciones de intercambio de gases. Esta técnica proporciona información única, no es invasiva, y se puede combinar ventajosamente con otros métodos experimentales para investigar numerosos aspectos como la energética de ejercicio físico.

La importancia de establecer si existe una *validez, correlación y concordancia* entre la *calorimetría Indirecta* que se considera un “*Gold standard*” y compararlo con métodos de determinación del gasto calórico de campo como *GPS (Sistema de Posicionamiento Global)*, la *Acelerometría triaxial* y el tradicional *desglose de actividades* para determinar el gasto calórico por entrenamiento, surge de la necesidad de poder utilizar un método menos costoso y más práctico para el manejo nutricional diario de los atletas. Adicionalmente, que al utilizar un método de tecnología emergente que tenga la consistencia y conformidad para la intercambiabilidad de métodos de campo en relación con el método indirecto resulta muy útil en el alto rendimiento, en donde las limitaciones de los métodos subjetivos producen errores muy grandes.

Por lo tanto, el propósito del presente estudio es determinar el nivel de concordancia entre los diferentes métodos para estimar el gasto energético de la actividad de entrenamiento en atletas de marcha atlética.



# 1. Marco Conceptual

## 1.1 Antecedentes

Para brindar sustento al proyecto planteado se revisaron los estudios existentes o relacionados sobre ***“La validez, la correlación y la concordancia entre la calorimetría indirecta y el GPS, la acelerometría triaxial y el desglose de actividades para la determinación del gasto calórico por entrenamiento de resistencia en los atletas de la modalidad marcha”***. Se realizó una búsqueda en las bases de datos Science Direct, Pubmed, Scielo, Medline y Bireme entre 1990 y 2017, utilizando los términos Accelerometry triaxial, Global Positioning System, energy metabolism, energy expenditure, indirect calorimetry, race walking, concordance y statics as topic.

En gran parte las publicaciones encontradas sobre las metodologías utilizadas para la determinación gasto calórico, hacen mayor énfasis en la determinación del Gasto Energético Total (GET) o en algunos de sus componentes como son el Gasto Energético en Reposo (GER) o el Gasto Energético Basal (GEB). Los métodos propuestos por los investigadores fueron comparados con calorimetría indirecta (CI) o Agua doblemente marcada (DLW) y la población objetivo de dichas investigaciones se enfocan en su mayoría en niños, personas con sobrepeso u obesidad o personas con limitaciones físicas y de manera emergente reciente aparecen nuevos estudios en atletas de alto rendimiento, pero ninguno en marcha atlética.

La medición in situ del consumo de oxígeno se ha basado casi exclusivamente en el uso de ergoespirómetros de circuito abierto. La recolección de los datos se ha facilitado en gran medida debido a que el análisis del gas ha sido suplantado por métodos electrónicos, y los flujos de gas han sido determinados por caudalímetro de turbina o neumotacógrafo.

La miniaturización de los equipos ahora permite la recopilación de datos respiración por respiración en el campo. Un error en la medición de quizá el 5% no es muy serio a la hora de clasificar los patrones de actividad física. (Sherphard, J. y Yukitoshi A., 2012).

Las mediciones de campo de consumo de oxígeno también pueden ser útiles para el epidemiólogo en cuanto al estudio de poblaciones relativamente pequeñas. Sin embargo, existe desacuerdo en cuanto a los datos estándares de fiabilidad y validez que se requieren para investigación fisiológica. (Sherphard, J. y Yukitoshi A., 2012). En el caso de la presente investigación se hace énfasis en las publicaciones que hacen referencia a estudios de validación entre las diferentes métodos no calorimétricos existentes para la medición del gasto calórico basados en determinaciones fisiológicas o diferentes registros de interés y la calorimetría indirecta, puede dar cuenta del gasto energético realizado en un entrenamiento específico por: La acelerometría triaxial y la tecnología GPS (Sistema de Posicionamiento Global) y el desglose de actividades.

Dentro de los métodos para el cálculo del gasto calórico se encuentra el desglose de actividades y para esto se utilizan los compendios publicados por Ainsworth B.E et al, 2011. Uno de los primeros estudios donde este autor organiza actividades físicas específicas fue realizado en 1993, donde se originó un “Compendio de actividades físicas” que se creó a partir de una necesidad de proporcionar coherencia en la asignación de niveles de intensidad de actividad física (AF) obtenidos de los cuestionarios utilizados en estudios epidemiológicos. La idea de un Compendio fue aportada por del Dr. William Haskell y se desarrolló durante National Heart, Lung, and Blood Institute–supported apoyados por estudios multi- céntricos otorgadas al Dr. Arthur S. León, el Dr. David R. Jacobs Jr., el Dr. James Sallis, Dr. Henry Montoye, y el Dr. William Haskell 1.987-1989. (Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett Jr, D. R., Tudor-Locke, C.,& Leon, A. S., 2011).

En la publicación de 1993, se identificaron menos de 15 citas que fueron el soporte para la asignación del MET. En el 2000, el Compendio se actualizó para incluir dos partidas adicionales importantes (voluntarios y actividades religiosas) y 129 códigos para actividades adicionales. Además, se realizó la actualización de algunos valores de MET. (Ainsworth, B., et. al, 2011). En el 2011, se publica un compendio más actualizado gracias a los avances en la disponibilidad de sistemas de medición metabólica portátiles, facilitado la medición directa del costo de oxígeno y, por tanto, el gasto de energía lo que implica un creciente número de actividades físicas, y la complementación con referencias que hablan sobre el valor del MET, incluyendo actividades y deportes emergentes y actividades de acondicionamiento físico. (Ainsworth, B., et. al, 2011).

En un estudio que compara el Gasto Calórico Total (GET) obtenido a partir del desglose de actividades y agua doblemente marcada (DLW), publicado por Conway et al. 2002 (citado por Volp, A. P., et al. 2011) en 24 hombres adultos con índice de masa corporal (IMC) de  $25,1 \pm 0,5 \text{ kg /m}^2$ , quienes realizaron actividades físicas durante 7 días con registro y luego 7 días por recordación. Los hallazgos encontrados brindaron una buena correlación entre los registros de actividad física y el DLW, mientras que las actividades físicas por recordación tuvieron una aplicación limitada en la estimación de la energía diaria debido a su sobreestimación de 30,6%. (Volp, A. P., et al. 2011) La recordación es uno de los principales problemas que actualmente se encuentran a la hora de la consulta nutricional con los atletas.

Adicionalmente, Conway et al. 2002 (citado por Volp, A. P., et al. 2011) destaca que otra limitación importante es que el gasto energético (GE) estimado a través del método del desglose de actividades, no tiene en cuenta las diferencias entre los individuos que pueden influir en el costo de la energía del movimiento. Por lo tanto, sería necesario realizar ajustes individuales teniendo en cuenta el género, la edad, estado fisiológico, la composición corporal, y otros, que no tienen todavía un factor de corrección. (Volp, A. P., et al. 2011). Existen varios monitores que están disponibles para medir la actividad física o el gasto calórico de diferentes actividades físicas. La selección de la herramienta de evaluación depende del componente de la actividad física de interés, los objetivos del estudio, las características de la población objetivo, y la viabilidad en términos de costo y logística. Los monitores de actividad física se han utilizado en los estudios para la prevención de la

obesidad y su tratamiento, el desempeño en diferentes deportes, el entrenamiento deportivo y algunos aspectos relacionados con la salud (osteoporosis), trastornos del sueño, y la rehabilitación que implica marcha y la locomoción. (Butte, N., Ekelund, U., Westerterp, K., 2012).

Uno de los tipos de monitores son los acelerómetros; estos dispositivos triaxiales han demostrado tener una mayor correlación con actividad física medida en adultos y niños mejor que con los acelerómetros uniaxiales. La mayoría de los acelerómetros piezoeléctricos sólo pueden detectar con fiabilidad eventos dinámicos, no estáticos. Los acelerómetros también se han utilizado para cuantificar la cantidad de tiempo empleado en conductas sedentarias de menos de 1,5 METs. (Butte, N., Ekelund, U., Westerterp, K., 2012).

Los acelerómetros triaxiales incluyen un algoritmo para evaluar la manera de andar y la postura. Sin embargo, la generalidad de estos algoritmos no está demostrada, y la interpretación de los datos triaxiales es demasiado compleja para los propósitos clínicos, o de hecho, para la mayoría de los estudios epidemiológicos (Sherphard, J. y Yukitoshi A., 2012). Adicionalmente no se pueden comparar los diferentes equipos. Butte, N., Ekelund, U and Westerterp, K., (2012) han descrito estudios de validez que han determinado una moderada a fuerte correlación ( $r = 0,45$  a  $0,93$ ) entre el acelerómetro y el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) en la medición de niveles de actividad física en adultos y en niños ( $r = 0,53$  a  $0,92$ ). La amplia variación se debe, en gran medida, al tipo de protocolo de medición. Una comparación de los instrumentos realizado por Sherphard, J. y Yukitoshi A., (2012) con acelerómetros uni y triaxiales encontró diferencias de puntuación incluso durante la marcha. Los dispositivos uniaxiales tendían a subestimar el recuento de pasos y / o equivalentes metabólicos durante la marcha lenta (55 m / min frente a 75 y 95 m / min). (Sherphard, J. y Yukitoshi A., 2012). Igualmente Butte, N., Ekelund, U., Westerterp, K.,(2012), refieren que al comparar los sensores uniaxiales con acelerómetros triaxiales;

Estos últimos proporcionan teóricamente una ventaja para una evaluación más amplia de los movimientos del cuerpo.

Las debilidades de los acelerómetros son la falta de estándares de la industria para la conversión de los recuentos, algoritmos propios, y la incapacidad del equipo en los diferentes tipos de actividades, especialmente las actividades sin movimiento con elevación del centro de gravedad poca inercia y estáticos, tales como el ciclismo y levantamiento de pesas. En todo el rango dinámico de sedentario a la actividad física vigorosa, se necesita un modelado más sofisticado de los vectores individuales para extraer más información de las señales de aceleración uniaxiales y triaxiales. (Butte, N., Ekelund, U., Westerterp, K., 2012)

Los acelerómetros y monitores de frecuencia cardiaca (HR), se han combinado para mejorar la exactitud y la precisión con la que gasto energético se puede predecir. Butte, N., Ekelund, U., Westerterp, K., 2012, refieren un estudio en el cual utilizaron los datos del acelerómetro para asignar un valor de HR a cada una de las regresiones lineales para HR a  $VO_2$ . Otro estudio realizado por Brage et al. y citado por Butte, N., Ekelund, U., Westerterp, K., 2012, describió la utilización de modelos ramificados de ecuaciones simultáneas de acelerometría y monitoreo de HR para mejorar la estimación de las actividades físicas. Zakeri et al. citado por Butte, N., Ekelund, U., Westerterp, K., 2012 desarrollaron modelos de series de tiempo de corte transversal para predecir gasto energético por HR y los conteos del acelerómetro utilizando el Actiheart (CamintechLtd, Cambridge, Reino Unido) para monitorear en niños y adolescentes. El error de predicción fue del  $0,9\% \pm 10,3\%$  para el gasto energético total y el  $1,5\% \pm 8,7\%$  para la tasa metabólica en reposo, con ningún sesgo sistemático por sexo, edad, o estado de peso. En conclusión, el acelerómetro en general combinado con un método de supervisión de HR tiene una mejor exactitud y precisión que cualquiera de los métodos solo. El gasto energético total, el gasto de la actividad física y la tasa metabólica en reposo fueron predichos dentro de límites aceptables desde el enfoque combinado. (Butte, N., Ekelund, U., Westerterp, K., 2012).

Otro método recientemente considerado para el seguimiento de los patrones de movimiento humano incluye el GPS de detección (Maddison y Ni Mhurchu 2009; Rolland et al. informe sin fecha) citado por Sherphard, J. y Yukitoshi A., 2012. El GPS es un Sistema de Posicionamiento Global, basado en satélites que pueden proporcionar información sobre la ubicación de una persona, el contexto del vecindario, modo de transporte, y la velocidad de locomoción. Un estudio piloto realizado por Butte, N., et al 2012, mostró una ligera ventaja de utilizar el GPS en combinación con datos del acelerómetro para clasificar el tipo de actividad física. Señales GPS también pueden acoplarse con los datos del sistema de información geográfica para la información contextual que proporciona una coincidencia espacial. La fiabilidad y la validez de GPS se han demostrado en diferentes entornos. (Butte, N., Ekelund, U., Westerterp, K., 2012)

Con el uso de un Sistemas GPS, se han encontrado evaluaciones eficaces de la posición y velocidad de los jugadores en fútbol australiano (Edgecomb y Norton 2006), fútbol (Drust et al 2007; Pino et al., 2007) y orientación (Larsson 2003). Una limitación importante, incluso los instrumentos más sofisticados, es la precisión de identificación de la posición; Sin embargo, un GPS es capaz de estimar las distancias reales cubiertas por los futbolistas con un error de  $4,8 \pm 7,2\%$  (Edgecomb y Norton 2006). Frencken et al. (2010) utilizaron un sistema de medición de la posición local de radiofrecuencia durante un partido de fútbol simulado. Las ubicaciones de los jugadores se identificaron muy de cerca (a menos de 30 mm). La distancia total recorrida se estimó en 1,6%, y se determinaron las velocidades dentro del 4%, aun cuando los sujetos realizan cambios de dirección mientras se ejecutó. (Sherphard, J. y Yukitoshi A., 2012).

Al hacer mediciones con GPS durante los deportes de equipo descrito por Barris y Button 2008; Reilly y Bowen 1984 y citado por Sherphard, J. y Yukitoshi A., 2012: las estimaciones de los correspondientes gastos de energía están limitados por las diferencias interindividuales en la masa corporal, la eficiencia mecánica de movimiento y los cambios

en la condición de la superficie de juego. Gran parte de la energía también se consume por los cambios rápidos en la dirección, la velocidad y por las colisiones.

Otra innovación reciente ha sido combinar los datos del GPS y el acelerómetro (Duncan et al 2009; Edgecomb y Norton 2006; Maddison et al 2010; Rodríguez et al 2005, Troped et al 2008) citado por Sherphard, J. y Yukitoshi A., 2012 describen que el GPS es útil en la detección de los efectos secundarios de los viajes en vehículos. Sin embargo, la calidad del dispositivo es crítica si los datos se registran sistemáticamente en las zonas urbanas con edificios altos (Krenn et al., 2011), y la señal se pierde cuando se viaja en los trenes subterráneos. Además, la tasa de muestreo es insuficiente para detectar movimientos muy rápidos. Mucho parece depender del algoritmo que se utiliza para interpretar los datos de los dispositivos y que sigue siendo un desafío para encontrar las fórmulas adecuadas para todas las materias y todas las circunstancias. (Sherphard, J. y Yukitoshi A., 2012)

Las debilidades de GPS, incluyen la carga adicional de peso al participante, además de la complejidad de la recopilación de datos, procesamiento y análisis y los costos de equipo. Una debilidad más problemática en la medición del gasto energético es que el GPS se limita a las actividades en su mayoría al aire libre. Esto limitaría la capacidad de medición posicional en muchas situaciones, como las actividades en el hogar y en el lugar de trabajo, escuela, centros comerciales, centros de acondicionamiento físico y las actividades de transporte. Las capacidades Wi-Fi de móvil permitirían la triangulación y podrían complementar GPS en estos casos. (Butte, N., Ekelund, U., Westerterp, K., 2012).

Un estudio más reciente desarrollado por Schneller, M. B., Pedersen, M. T., Gupta, N., Aadahl, M., & Holtermann, A. (2015), para validar cinco métodos mínimamente obstructivos como los métodos Activ, PAL, ActiGraph, Actiheart, AGhip + Acti 4 y AGthigh+ Acti 4 para estimar el gasto energético de la actividad física en adultos jóvenes en entorno semi-estandarizados demostraron que la combinación de datos de un acelerómetro con especificidad en el tipo de actividad en el método AGthigh+ Acti 4 mejoró la precisión de la estimación de la actividad física en condiciones semi – estandarizadas en comparación

con los métodos comúnmente utilizados y validado que no toman en cuenta el tipo de actividad.

A partir de los antecedentes y la evidencia hasta el momento recolectada para la medición del gasto calórico, se plantea medir la correlación y la concordancia entre los métodos de campo y la calorimetría indirecta. Los antecedentes encontrados no hacen referencia particular a una investigación anterior similar realizada para determinación específicas del gasto calórico en entrenamiento en deportistas y menos de la modalidad de marcha, con las metodologías para el cálculo del gasto propuestas para esta investigación.

## **1.2 Pregunta de investigación**

¿Cuál es la validez, correlación y concordancia entre la calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global (GPS), la acelerometría triaxial y el desglose de actividades, para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en los atletas en la modalidad de marcha?

## **1.3 Delimitación del problema**

Es de vital importancia la regulación energética en un atleta, una variación en el ingreso energético de calorías producirá un inevitable cambio en las reservas energéticas corporales. Si esa alteración energética permanece por periodo de tiempo, se producirán cambios en el peso y en la composición corporal afectando la salud del individuo y el balance para el rendimiento, la adaptación y la asimilación de cargas en el atleta. Por lo tanto, para determinar las necesidades energéticas de un atleta se debe cuantificar la energía de los alimentos ingeridos y medir el gasto energético producido por las

actividades físicas realizadas (Hernández, M y Sastre, A. 1999). OMS definió “*que las necesidades energéticas de un individuo, como el nivel de ingesta de un individuo equivalente a un gasto energético*”. Es en este punto en particular es donde se ha centrado el objetivo de la investigación, a partir de la medición por diferentes métodos o equipos el componente más variable del GET que corresponde a la actividad física en este caso en particular en el entrenamiento.

Para cubrir una el requerimiento energético diario de calorías en deportistas, se requiere estimar el gasto calórico por entrenamiento utilizando los métodos disponibles, para este fin; en la consulta nutricional se realiza el desglose de actividades físicas específicas para el deporte, ya sea por la estimación de las kcal/kg/min o por valores de METs. Estas actividades incluyen las actividades físicas diarias, las actividades domésticas, cotidianas y de entrenamiento, esta descripción de actividades se realiza mediante un recordatorio de un día o varios días. Sin embargo, presenta muchas limitantes que se convierten en fuentes de error y lo vuelve inexacto a la hora de la planificación de los requerimientos calóricos como son:

- La dificultad del atleta de suministrar información clara y precisa en relación a las intensidades, modo, duración y tiempo de recuperación en una sesión de entrenamiento. La fuente de error inicial es la recordación, dado que se realiza de forma retrospectiva y queda supeditado a la memoria del atleta y a la posible pérdida de información de importantes detalles del entrenamiento lo que lleva a un error sistemático en la determinación de gasto por omitir esas variaciones diarias en el mismo (Sherphard, J. y Yukitoshi A., 2012).
- Omisión de otras variables propias del entrenamiento, que son muy difíciles de discriminar para realizar el cálculo de gasto calórico como son: la variación en los ejercicios de calentamiento, actividades técnico – tácticos y vuelta a la calma, desarrollado por uno o varios atletas del mismo deporte y no representaría el mismo gasto de energía comparado entre ellos. Además de la descripción de otras variables como son: la temperatura, humedad y la geográfica (planimetría en la que se realiza el entrenamiento), condiciones medio ambientales reales en las que se realizan las actividades deportivas, que afectan directamente el gasto calórico.

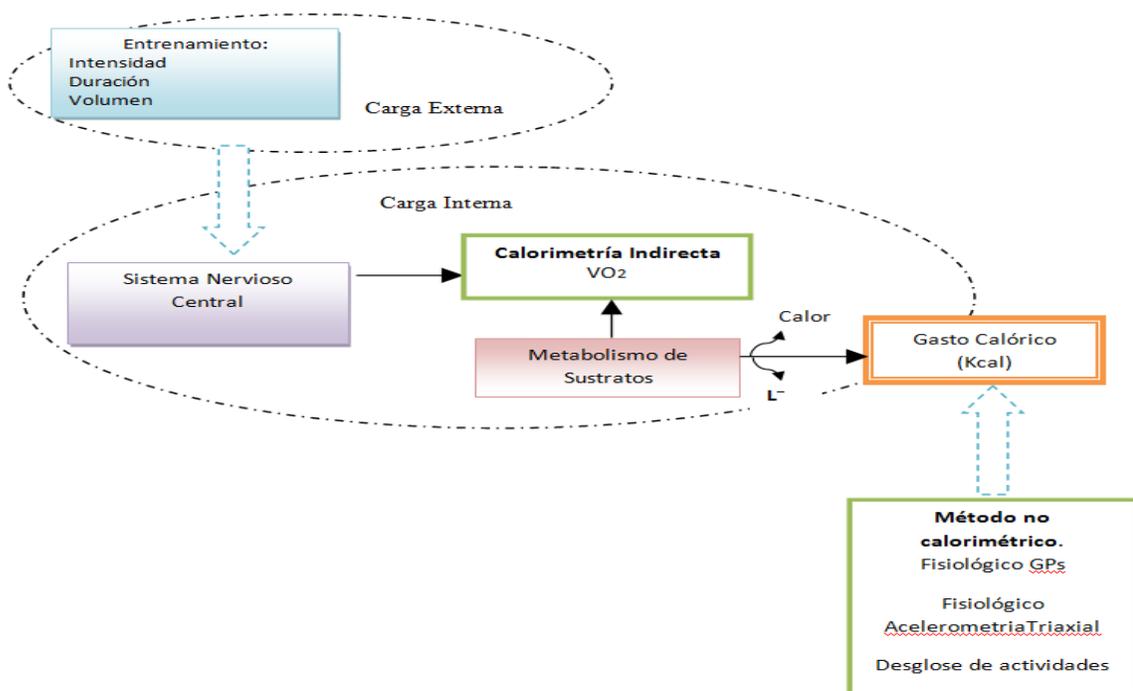
- La variación del entrenamiento entre un día a otro de acuerdo a la planificación del macrociclo puede variar en relación a la duración, intensidad, frecuencia, eficiencia mecánica del gesto deportivo de una atleta en una misma sesión de entrenamiento. (Sherphard, J. y Yukitoshi A. ,2012).
- De igual forma, se presentan dificultades y limitantes que radican en que los desgloses de actividades no estiman el costo energético de la actividad física en las personas en formas que dan cuenta de las diferencias individuales en razón a la masa corporal, la adiposidad, la edad, el género y la eficiencia del movimiento.

Adicionalmente Sherphard, J. y Yukitoshi A.,2012, refieren que los datos publicados para la medición del gasto calórico por actividades físicas no son muy confiables en altas intensidades, dado que en algunos casos tienden a subestimar o sobre estimar el gasto calórico en entrenamiento, esto se debe a que muchos datos fueron obtenidos por supuestas premisas de “constantes fisiológicas” extrapolados para todas las poblaciones como es el caso del cálculo del gasto calórico por METs. Igualmente, muchos de estos fueron obtenidos en condiciones de laboratorio y no con métodos de campo que se aproximen a su diario quehacer en el entrenamiento teniendo en cuenta las condiciones ambientales y de terreno que son las condiciones reales a lo que someten los atletas diariamente. (Sherphard, J. y Yukitoshi A. ,2012).

El método más eficaz para la determinación del gasto energético en campo, es la calorimetría Indirecta siendo este el “Gold Estándar”, pero se requiere un equipo costoso y técnicamente difícil de manejar en ciertas modalidades deportivas e igualmente impráctico e incómodo a la hora de medir varias sesiones de entrenamiento, debido a que implica que el atleta durante la sesión de entrenamiento debe llevar un peso adicional y soportar la máscara en su rostro para la medición del intercambio de gases mientras realiza su actividad deportiva.

Por lo tanto, se requiere validar un método de campo confiable, preciso y práctico, que comparado con la calorimetría indirecta presente una consistencia y conformidad estadística, que permita la intercambiabilidad entre los métodos. Es por eso que se propone comparar la medición del gasto calórico por calorimetría indirecta que mide la carga interna del organismo, con unos métodos de tecnología emergente como la acelerometría triaxial, la tecnología GPS y el tradicional desglose de actividades que tratan de medir la carga externa para la estimación del costo energético en los atletas, a partir de la respuesta del sistema nervioso central y el aporte calórico de los sustratos energéticos. A continuación, en la Figura 1-1, se plantea el modelo conceptual, que soporta la presente investigación y plantea el modelo metodológico a evaluar y desarrollar:

**Figura 1-1:** Modelo conceptual de la investigación





## 2. Justificación

Es bien sabido que los deportes de resistencia tienen una alta demanda energética, lo que significa que sus necesidades nutricionales de calorías y nutrientes se encuentran incrementadas. El gasto además dependerá de varios factores como la condición física, la composición corporal, la etapa de entrenamiento, y las condiciones medioambientales entre otras. Para cubrir esas demandas calóricas se requiere determinar con buena exactitud el gasto calórico del atleta y así satisfacer sus necesidades energéticas requeridas, logrando de esta forma un balance energético.

El gasto energético puede ser calculado por diferentes métodos como son: los directos, indirectos o métodos de campo, siendo los métodos de campo los más prácticos para la determinación del mismo. Estos métodos han evolucionado con tecnologías emergentes de métodos no calorimétricos los cuales mediante algoritmos específicos tratan de establecer el gasto energético. Lamentablemente existen pocos estudios publicados en deportistas y en particular en la modalidad de marcha atlética que busquen validar la confiabilidad de los datos obtenidos del gasto calórico por esos métodos, comparados con un “*Gold estándar*”. El balance energético es crítico en los deportes de fondo en condiciones de tal variabilidad entre los métodos puede confundir e incluso llevar a errores del entrenamiento que pueden sub o sobre estimar las mediciones llevando a problemas de la forma deportiva o de sobre entrenamiento por un mal manejo y adecuación nutricional. Siendo el gasto calórico por entrenamiento el componente más variable del gasto calórico total es un factor crítico para un adecuado manejo nutricional.

Es importante establecer, por los motivos anteriormente expuestos, si existe un método no calorimétrico que pueda estimar con buena validez, consistencia y conformidad con el método de la calorimetría indirecta (“*Gold standard*”) con los métodos de campo, para estimar el gasto calórico, teniendo en cuenta las condiciones reales de entrenamiento como son la planimetría, cambios de intensidades y las condiciones medioambientales.

- 18 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha
- 

## **3. Objetivos**

### **3.1 Objetivo General**

Establecer la validez, correlación y concordancia entre la calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global (GPS), la acelerometría triaxial y el desglose de actividades, para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en los atletas en la modalidad de marcha.

### **3.2 Objetivos Específicos**

Determinar el gasto calórico durante el entrenamiento en atletas de marcha que entrenan a 26000 m de altura a nivel del mar, por los métodos de calorimetría indirecta, por GPS, acelerometría triaxial y desglose de actividades en el entrenamiento.

Establecer la validez, la consistencia y la conformidad de los métodos para la medición del gasto calórico en campo comparados con la calorimetría indirecta (*“Gold standard”*) en atletas de marcha que entrenan a 2600 m de altura.

Evaluar el grado de intercambiabilidad del método de calorimetría indirecta para medición del gasto calórico comparado con los métodos de campo como GPS, acelerometría triaxial y desglose de actividades en el entrenamiento con atletas que entrenan a 2600 m de altura sobre el nivel del mar.

Evaluar las fórmulas planteadas para el cálculo del gasto calórico por desglose de actividades, que de acuerdo a los resultados estadísticos obtenidos se pueda sugerir un método más económico, práctico, confiable y preciso que se aproxime a los resultados obtenidos por calorimetría indirecta.

## **4.Hipótesis**

### **4.1 Hipótesis Nula**

Los equipos o métodos utilizados para el cálculo o estimación del gasto calórico durante el entrenamiento de marcha en 5 km no presentan diferencias en relación a la Calorimetría Indirecta.

### **4.2 Hipótesis Alterna**

Los equipos o métodos utilizados para el cálculo o estimación del gasto calórico durante el entrenamiento de marcha en 5 km presentan diferencias en relación a la Calorimetría Indirecta.



Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

---

## 5. Definición de términos

Para efectos del presente estudio se definen los siguientes términos relacionados con la misma:

**Actividad Física:** Es un término global tradicionalmente definido como movimiento corporal resultante de la contracción del músculo esquelético que resulta en un aumento de gasto energético por encima de los niveles de reposo. A su vez, la actividad física (AF) y puede clasificarse en base al contexto o entorno. Para incluir AF de ocio o recreativa y subcomponentes de deporte, transporte y actividad ocupacional, pueden ser cuantificados de acuerdo con la intensidad (¿cuánto?), La duración (¿cuánto?), la frecuencia (¿con qué frecuencia?), y el modo (o tipo), como caminar, correr, nadar, etc. Hills.A. Mokhtar, N., y Byrne, N. (2014)

**Atletismo Marcha:** La marcha atlética es una de las modalidades del atletismo, que consiste que el atleta de una progresión de pasos de tal manera que el marchador se mantenga en contacto con el suelo, a fin de que no se produzca pérdida de contacto visible (a simple vista). La pierna que avanza tiene que estar recta, (es decir no doblada por la rodilla) desde el momento del primer contacto con el suelo hasta que se halle en posición vertical. (Coldeportes, 2007). Las distancias en las que se compiten en atletismo marcha son los 20 y 50 km en la categoría mayores, por eso es considerado un deporte cíclico de resistencia de nivel Olímpico.

- 22 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha
- 

**Carga:** Es un proceso en el que, bajo la influencia de diferentes medios, métodos y formas de entrenamiento, se realizan cambios funcionales y estructurales positivos en los diferentes sistemas del organismo. (Zhelyazkov, T., 2008)

**Concordancia:** Según el diccionario latín- español, Dictaterion, descrito por Cortés, Rubio y Gaitán (2010), define el término Concordancia a que hay “correspondencia o conformidad de una cosa con otra” En términos generales se refiere a “El Grado en que dos o más observadores, métodos, técnicas u observaciones, están de acuerdo sobre el mismo fenómeno observado”. La Concordancia adquiere importancia en esta investigación no para evaluar la validez o la certeza sobre uno u otro instrumento con relación a un estándar de referencia dado, sino cuan acordes están entre sí observaciones sobre el mismo fenómeno (consistencia), se desea conocer si con un instrumento, se obtienen resultados equivalentes que de tal manera que uno y otro pueden ser reemplazados o intercambiados, por un método más sencillo y menos costoso; Por lo tanto, más costo – efectivo. (Cortés, Rubio y Gaitán, 2010).

Adicionalmente, Cortés, Rubio y Gaitán, (2010), expresan que en las investigaciones que establecen que: *“Uno de los métodos o instrumentos nuevos se comparan frente al método que constituye el patrón de referencia o “Gold estándar”, se evalúa la **conformidad** del método respecto al patrón de referencia que también se denomina **validez** o desempeño operativo de una prueba diagnóstica”.*

**Correlación:** A nivel estadístico en el caso de las variables numéricas continuas, se debe preferir el uso del coeficiente de correlación intraclase (CCI) o el coeficiente de correlación y concordancia (CCC). El CCI permite evaluar la concordancia general entre dos o más métodos de medida u observación basado en un modelo de análisis de varianza (ANOVA) con medidas repetidas. Muy usado para medir concordancia, pero deja de ser ideal porque

presenta varios supuestos difíciles de cumplir y tiene desventajas. (Cortés, Rubio y Gaitán, 2010). Sin embargo, para diseños experimentales y en el caso particular en los experimentos con un solo factor el análisis de varianza simple (o dirección), el análisis de varianza es el que más se ajusta, porque es el procedimiento correcto para probar la igualdad de varias medias. (Montgomery, D.C. (2005).

**Ejercicio:** se define comúnmente como un movimiento planificado, estructurado y repetitivo con la intención de promover o mantener uno o más componentes de la aptitud física, que pueden ser cuantificados de acuerdo con la intensidad (¿cuánto?), la duración (¿cuánto?), la frecuencia (¿con qué frecuencia?) y el modo (o tipo), como caminar, correr, nadar, etc. Hills.,A. Mokhtar, N., y Byrne, N. (2014)

**Entrenamiento:** Consiste en un determinado número de módulos (partes) dividido en intervalos de descanso. (Zhelyazkov, T., 2008)

**Intensidad:** Es un indicador que se refiere tanto a un ejercicio concreto como a las series, a los módulos y al entrenamiento completo. Para un ejercicio concreto se determina por el grado de proximidad a la tensión máxima en un intento; Ejemplo el 80 % de Fmax o el 95% del VO<sub>2</sub> max. Para una serie concreta la intensidad se determina por la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo. Para un módulo concreto la intensidad se determina por la suma de los kilogramos de todas las series dividida entre el tiempo de ejecución y tiempos de descanso. La intensidad caracteriza el grado de los esfuerzos, o sea, la cantidad del trabajo realizado por unidad de tiempo. (Zhelyazkov, T., 2008)

**Validez:** De manera tradicional, la validez se ha definido como el grado en que una prueba mide lo que está diseñado a medir. Una desventaja de esta definición es la implicación de que una prueba solo tiene una validez, la cual supuestamente es establecida por un solo estudio para determinar si la prueba mide lo que se supone que debe medir. En realidad, una prueba puede tener muchas clases de validez, dependiendo de los propósitos

24 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

---

específicos para los cuales fue diseñada, la población objetivo, las condiciones en las que se aplica y el método para determinar la validez.

Los métodos de interés particular para la presente investigación y por los cuales pueden determinarse la validez incluyen: analizar el contenido de la prueba y calcular la correlación entre las calificaciones en la prueba y las calificaciones en el criterio de interés.

**Volumen:** Refleja la cantidad total del trabajo realizado y se mide por el número de los distintos ejercicios, series y módulos. El volumen como componente de la carga, es un indicador cuantitativo, o sea, que cantidad de trabajo se lleva a cabo en cada entrenamiento o por un periodo determinado. (Zhelyazkov, T., 2008)

## 6. Marco teórico

### 6.1 Generalidades

En la alimentación de cualquier persona debe existir un balance energético entre lo que consume y lo que gasta y en el caso de los atletas no es la excepción. El balance energético hace referencia a que el ingreso energético provisto por los macronutrientes para la producción de energía sea igual a la energía gastada. La vía más común para extracción de la energía química de los alimentos de un sustrato es su oxidación. La energía química sirve como energía útil para realizar trabajo químico, de transporte y mecánico. La energía química liberada por oxidación es en parte perdida como calor y en parte almacenada en forma de ATP que sirve como molécula transportadora de energía entre procesos celulares productores y consumidores de la misma (Hernández, M., y Sastre, A., 1999).

El gasto energético (GE) se considera un proceso de producción de energía a partir de sustratos energéticos para su combustión como son: los carbohidratos, lípidos, proteínas y alcohol, estos sustratos son provenientes de los alimentos que se ingieren diariamente (Mahan L., & Escott-Stump, S., Krause, M., 1998). En este proceso hay un consumo de oxígeno ( $O_2$ ) y la producción de dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Parte de esta energía química se pierde como calor y en la orina, y el remanente de energía se almacena en moléculas de alta energía conocidos como trifosfato de adenosina (ATPs). Volp, A. P., de Oliveira, F. E., Alves, R. D. M., Esteves, E. A., & Bressan, J. (2011) (Stipanuk, M., 2000).

## 6.2 Componentes del Gasto Energético Total (GET)

El gasto de energía total (GET) hace referencia a la cantidad de energía requerida por el organismo diariamente y se determina por la suma de los componentes: el gasto energético basal (GEB), la termogénesis inducida por la dieta (ETA) y la actividad física (AF); (Volp, A. P., et al. 2011) así como variaciones en la temperatura corporal en situaciones fisiológicas como la gestación, la lactancia, el crecimiento y el envejecimiento, y en situaciones patológicas, que también son determinantes del gasto energético. (Marsé, P., Díez, M., y Raurich, JM., 2008). La medición del GE en la actividad física (entrenamiento), es el interés particular en esta investigación. La AF, representa el efecto térmico de cualquier movimiento que supera el GEB, que tiene una gran variedad inter e intra individuos. En las personas activas, la energía necesaria para la AF, puede corresponder de una a dos veces al gasto energético basal, mientras que en los individuos sedentarios puede representar menos de la mitad del GEB. (Volp, A. P., et al. 2011) (Hernández, M., y Sastre, A., 1999) (Pinheiro, A., et al. 2011)

Dentro de los otros componentes del GET, el GEB corresponde a la cantidad de calorías gastadas por minuto o por hora que pueden ser extrapolables a las 24 horas, también representa la energía mínima requerida para la función vital del cuerpo mantenimiento. El GEB contribuye de 60% a 70% de los requerimientos diarios de energía para los individuos más sedentarios y casi el 50% para aquellos físicamente más activos. Muchos factores afectan el GEB, tales como el origen étnico, el peso, la masa magra corporal, la edad, el hábito de fumar, la AF, la dieta, el periodo menstrual y el ayuno. Este componente del GET debe ser medido en condiciones ambientales estandarizados tales como la temperatura, humedad controladas, condiciones pre- prueba de sueño (8 horas), ayuno (12 a 14 horas)

y condiciones de prueba. El valor obtenido se extrapola a las 24 horas del día. Por lo tanto, se conoce basales con mínima influencia de ETA y AF en el GET. La medición de la GEB requiere mayores condiciones para su medición. Por consiguiente, en vez de GEB, se mide el gasto de energía en reposo (GER), ya que hay poca diferencia entre ellos. (Marsé, P., Díez, M., y Raurich, JM., 2008). El GER es un componente de GE que también se mide por calorimetría indirecta (IC). Puede ser 3-10% mayor que GEB debido a ETA y la influencia de más reciente AF. (Pinheiro, A., et al.2011) (Volp, A. P., et al. 2011).

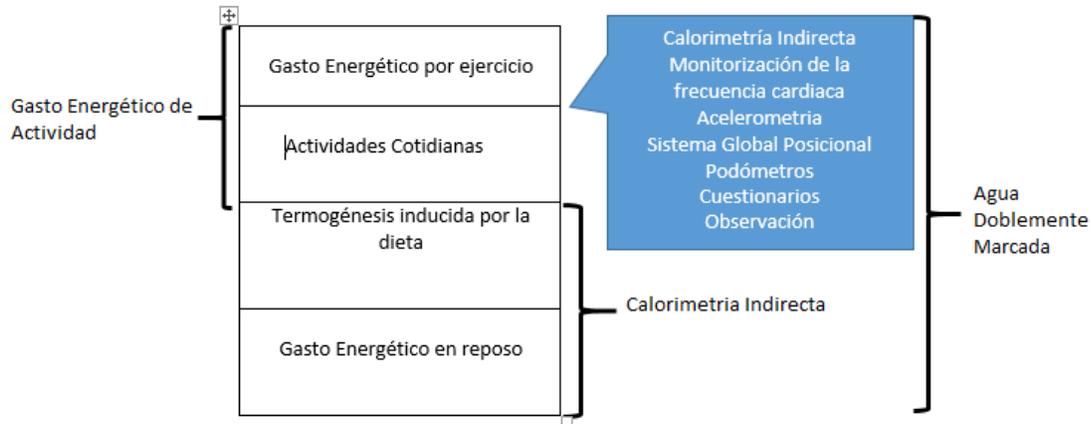
Existen varios métodos para la medición del GE tales como calorimetría indirecta (CI) y la calorimetría directa (DC) (Scrimshaw, A., Waterlow, J., & Schürch, 1996), la impedancia bioeléctrica (BIA), agua doblemente marcada (DLW), ecuaciones de predicción, y otros. La determinación GE es importante para cubrir la demanda energética del individuo teniendo en cuenta las demandas incrementadas por la actividad física que realiza, las condiciones de salud y crecimiento. La mayoría de estos métodos han sido ampliamente utilizados en estudios humanos para diferentes aplicaciones clínicas (enteral y nutrición parenteral, la obesidad y otros). Sin embargo, no hay consenso acerca de la aplicabilidad de algunos de ellos debido a resultados diferentes de la literatura y para individuos de poblaciones específicas. (Volp, A. P., et al. 2011).

La Figura 6-1 describe los subcomponentes del gasto energético total e identifica también los métodos de evaluación objetiva de uso común para cuantificar cada subcomponente. Cada técnica será discutida en detalle a continuación.

28 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

---

**Figura 6-1:** Componentes del gasto energético Total (GET)



Fuente: Hills.,A. Mokhtar, N., y Byrne, N. (2014)

## 6.3 Métodos para la determinación del gasto energético

Los métodos para la determinación del gasto energético (GE), se pueden dividir en: los métodos calorimétricos y no calorimétricos. (Marsé, P., Díez, M., y Raurich, JM., 2008).

### 6.3.1 Método Calorimétricos

Estas mediciones hacen referencia a la calorimetría directa (CD) y la Calorimetría Indirecta (CI) (Marsé, P., Díez, M., y Raurich, JM., 2008):

### 6.3.1.1 Calorimetría directa (CD)

La determinación directa del GE, representa la medición de intercambio de calor entre el cuerpo y el medio ambiente. Este método mide el calor sensible liberado por el cuerpo, así como el vapor de agua liberado a través de la respiración y la piel. La calorimetría directa es muy precisa y sus resultados son muy confiables (1-2 % de margen de error), por lo que se considera el método de referencia para corroborar los resultados de otros métodos utilizados para la determinación del gasto energético. Se requiere una cámara de aislamiento, sellada herméticamente, altamente sofisticada y lo suficientemente grande para permitir un cierto grado de actividad. Aunque se considera un método estándar de oro, no se utiliza ampliamente debido a su alta complejidad y el costo, además, requiere que el individuo un confinamiento de 24 horas o más. (Scrimshaw, A., Waterlow, J., & Schürch, 1996). (Mahan L., & Escott-Stump, S., Krause, M., 1998), (Volp, A. P., et al. 2011). (Franch et al., 2006), (Marsé, P., Díez, M., y Raurich, JM., 2008).

### 6.3.1.2 Calorimetría indirecta (CI)

Se basa en la medida indirecta del calor gastado por la oxidación de nutrientes, que se estima mediante el control de consumo de oxígeno ( $O_2$ ) y la producción de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) durante un cierto período de tiempo. (Volp, A. P., et al. 2011). Se asume, por lo tanto, que la oxidación de los sustratos consume  $O_2$  y produce  $CO_2$  y  $H_2O$ , y que las pérdidas urinarias de Nitrógeno reflejan la oxidación de las proteínas en un organismo. (Marsé, P., Díez, M., y Raurich, JM., 2008).

Hay dos tipos de calorimetría indirecta: *la calorimetría indirecta circulatoria* y *la calorimetría indirecta ventilatoria*.

La *calorimetría indirecta circulatoria*, está basada en la determinación del oxígeno en la sangre arterial y venosa mixta, el gasto cardíaco (GC), la hemoglobina (Hb) y la posterior aplicación de la ecuación de Flick. Es una técnica invasiva, con posibles errores de medida

- 30 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha
- 

del gasto cardiaco o de laboratorio que influye en la precisión de las medidas con errores que pueden oscilar 2-8%. (Marsé, P., Díez, M., y Raurich, JM., 2008)

$$\text{Ecuación de Flick: GC x Hb(SaO}_2\text{-SVO}_2\text{) * 95,87}$$

La *calorimetría indirecta ventilatoria*, mide el intercambio gaseoso mediante la determinación del consumo de  $O_2$  ( $VO_2$ ) y la producción de  $CO_2$  ( $VCO_2$ ), junto con las pérdidas de Nitrógeno urinario (NU) que reflejan la oxidación proteica. (Marsé, P., Díez, M., y Raurich, JM., 2008)

Permite la identificación de los sustratos de energía predominantes que están siendo metabolizados por el cuerpo en un momento específico. Su medición se realiza mediante un calorímetro que tiene un colector de gas que se adapta a sujeto, un dosel y un sistema que mide el volumen y las concentraciones de  $O_2$  y  $CO_2$  minuto a minuto. A través de una válvula unidireccional situada en el dosel ventilado, el calorímetro recoge y cuantifica el volumen y la concentración de  $O_2$  inspirados y de  $CO_2$  expirado por el sujeto. Después de reunirse con los volúmenes, GE se calcula mediante la fórmula de Weir, 1949 y los resultados se muestran en un software conectado al sistema. (Volp, A. P., et al. 2011).

A continuación se describe la fórmula para el cálculo del gasto energético mediante la medición del consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) y la producción de  $CO_2$  utilizando la ecuación de Weir 1949 (Sancho, A., Dorao, P., & Ruza, F., 2008):

$$\text{Gasto energético} = 3,94 VO_2 + 1,106 VCO_2 - 2,17 \text{ nitrógeno urinario}$$

En forma general, se estima que por cada litro de oxígeno consumido se están gastando 5 kilocalorías aproximadamente, valor al que se le conoce como equivalente metabólico (Mora, R., 1992), (Mahan, L., & Escott-Stump, S., Krause, M., 1998).

Las vías metabólicas que no utilizan oxígeno (p. ej. la glucólisis anaerobia) no aparecen reflejadas en la medición del  $O_2$ . Se asume que este intercambio gaseoso se destina exclusivamente a la degradación oxidativa de sustratos; Así mismo, que el nitrógeno producido en la oxidación proteica es recuperado por completo en la orina o añadido al nitrógeno eliminado por pérdidas insensibles. No obstante, en el cómputo total del gasto energético, por la fórmula de Weir, la importancia del nitrógeno urinario es pequeña. Sin la medición del nitrógeno urinario, el gasto energético se modificaría solo entre 1 y 2 %, calculándose según la ecuación (Sancho, A., Dorao, P., & Ruza, F., 2008):

$$\text{kcal/min} = O_2 (\text{l/min}) \times [3,9 + (1,1 \times \text{RQ})]$$

A partir de la calorimetría indirecta se puede calcular el cociente respiratorio (CR) o Respiratory Quotient (RQ), este cociente permite informar el tipo de sustrato energético utilizado, dado que la cantidad de dióxido de carbono producido con relación a la cantidad de oxígeno consumido varía, dependiendo del sustrato oxidado para la producción de energía, lo cual se explica por las diferencias que existen en la composición química de los macronutrientes, por lo que se requiere diferente cantidad de oxígeno para oxidar los átomos de carbono e hidrógeno hasta  $CO_2$  y  $H_2O$ . En promedio, por cada litro de  $O_2$  consumido, se liberan 4.69 kilocalorías provenientes de la oxidación de las grasas, 5.05 kcal/l provenientes de la oxidación de la glucosa y 4.46 kilocalorías provenientes de la oxidación de las proteínas (Mora, R., 1992).

Entre las técnicas empleadas en medición del consumo de oxígeno ( $O_2$ ) y expedición de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), se encuentran (Sancho, A., Dorao, P., & Ruza, F., 2008):

- *Calorimetría de circuito cerrado.*

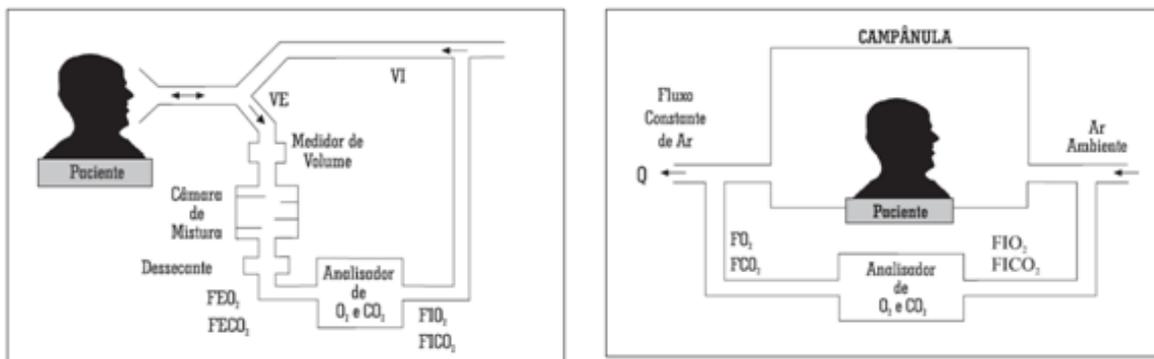
Se respira en un circuito cerrado, una mezcla de gases a la que se ha añadido oxígeno en concentración conocida. El  $CO_2$  que sale se extrae y mide, de tal forma que el aire sirve para ser respirado de nuevo. Se han encontrado problemas de sobreestimación con esta técnica, y es muy sensible a fugas. La ventaja es que no requiere medición de concentración ni de flujo de oxígeno. Se ha empleado en investigación.

32 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

▪ *Calorimetría de circuito abierto.*

Requiere una medición exacta del volumen y flujo respiratorio y de las fracciones inspiradas y espiradas de  $O_2$  y  $CO_2$ . Todos los calorímetros están equipados para medir las concentraciones de  $O_2$  y  $CO_2$  en los gases espirados, así como el flujo del aire espirado, la temperatura, la presión barométrica y el tiempo. Véase Figura 6-2

**Figura 6-2:** Diagramas de calorímetros de circuito abierto.



Fuente: Sancho, A., Dorao, P., & Ruza, F., 2008

Es importante entender la cinética del  $VO_2$  para lograr interpretar los datos obtenidos por el ergoespirómetro portátil. Rocha, C., Poblete, F., y Flores, C. (2017) describen: “la cinética del  $VO_2$  corresponde al estudio de los mecanismos fisiológicos, responsables de la respuesta dinámica del  $VO_2$  frente al ejercicio y su posterior recuperación (Poole, D., Jones, A., 2012; Rosso, S., 2013. Los factores fisiológicos que intervienen en el  $VO_2$  son principalmente la capacidad del corazón y de los tejidos para extraer oxígeno (Poole, D., Jones, A., 2012; Bruck, M., 1997”.

De igual forma Rocha, C., Poblete, F., y Flores C. (2017) describen: “La fisiología de la cinética del  $VO_2$  corresponde al estudio del comportamiento dinámico y oscilación del  $VO_2$ , en respuesta a la demanda que van desde el reposo al ejercicio y del ejercicio al reposo,

*su análisis se determina mediante la correlación del  $VO_2$  con el tiempo. Este análisis está directamente condicionado por la intensidad y modalidad del ejercicio”.*

El comportamiento de la curva de  $VO_2$  en el ejercicio continuo y de moderada intensidad lo han descrito en diversos estudios, dividiéndolo en dos componentes, *la cinética On y la cinética off o de recuperación*. Estos dos componentes permiten analizar las variaciones del  $VO_2$  frente a las respuestas fisiológicas (bio - energético y cardio- metabólico) del organismo al ejercicio. Rocha, C., Poblete, F., y Flores, C.(2017).

Las demandas fisiológicas que van desde el reposo al ejercicio se conoce como *Cinética On* del  $VO_2$ , de este proceso se extraen los conceptos como déficit de oxígeno,  $VO_2$  máx. y el estado estable. Está determinada por tres fases: la fase I o componente cardiodinámico que se produce entre los 10 a 25 segundos y está determinado por un incremento inicial del  $VO_2$ , explicado por el aumento del gasto cardiaco; La fase II o componente primario, corresponde al incremento exponencial del  $VO_2$  hasta alcanzar la fase III. La fase III o estable, también denominado componente lento, el cual solo es alcanzado en ejercicios de moderada intensidad, correspondiente a un equilibrio entre la energía que necesita el músculo y el ritmo de producción aeróbica de adenosín - trifosfato. Rocha, C., Poblete, F., y Flores,C. (2017).

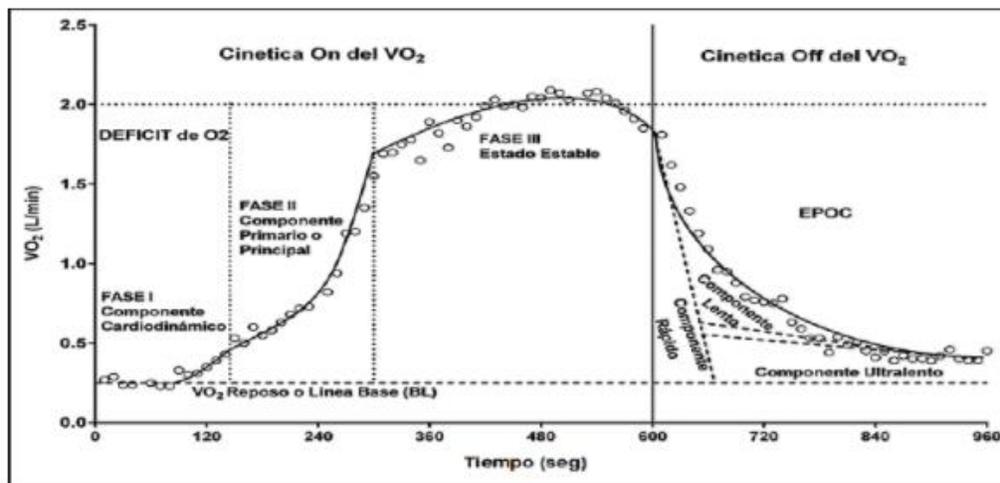
En la *cinética On* del  $VO_2$ , un elemento relevante es el déficit de oxígeno, el cual corresponde a la diferencia cuantitativa entre el oxígeno total que realmente se consume durante el ejercicio y la cantidad que debería haberse consumido, si se hubiese alcanzado un metabolismo aeróbico estable inmediatamente tras comenzar el ejercicio. En ejercicio continuo y de moderada intensidad se alcanza la fase III cercano a los 3 minutos, lo que no sucede en ejercicios de alta intensidad. Rocha, C., Poblete, F., y Flores, C. (2017).

La *cinética Off* del  $VO_2$  o de recuperación, existe un Exceso de Consumo de Oxígeno Post Ejercicio (en sus siglas en ingles EPOC). Considerando el EPOC como el incremento del

- 34 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha
- 

$VO_2$  sobre los niveles basales que aparecen posterior al ejercicio. Esta fase representa el comportamiento en la curva hacia la recuperación, compuesto de una fase inicial que parte del  $VO_2$  al final del ejercicio, hasta el tiempo de retardo donde existe una acomodación de la curva para alcanzar una caída proporcional, logrando descender hasta el nivel basal de  $VO_2$ , punto denominado tiempo final. Rocha., Poblete, F., y Flores, C. (2017). En este EPOC, también conocido con el término clásico de “Deuda de Oxígeno” se pueden describir dos fases una fase rápida de  $O_2$  de recuperación y una fase lenta de  $O_2$  de recuperación. Véase Figura 6-3

**Figura 6-3:** Fisiología de la cinética del  $VO_2$ .



Fuente: Rocha., Poblete, F., y Flores, C. (2017).

### 6.3.2 Métodos no calorímetros

Existen otros métodos para la medición del gasto energético basados en determinaciones fisiológicas o diferentes registros como son el agua doblemente marcada (DLW), análisis de bioimpedancia bioeléctrica (BIA), sensores de calor y movimiento, registros de actividad física, los cuestionarios de ingesta alimentaria, las encuestas de predicción, monitorización del ritmo cardíaco, acelerómetros, sistemas de posicionamiento global (GPS) y sensores combinados entre otros.

#### 6.3.2.1 Agua doblemente marcada

El agua doblemente marcada (DLW), es un método exacto y preciso para medir el GET, durante algunos días o semanas. Se considera seguro porque utiliza deuterio ( $H_2$ ) y oxígeno-18 ( $O^{18}$ ), elementos no radiactivos que se encuentran naturalmente en el cuerpo humano. Este método se basa en el principio de la dilución de isótopos. El sujeto ingiere esos elementos en una concentración y volumen conocidas ( $C_1$  y  $V_1$ ) que se difunde por todo el fluido corporal que tiene un volumen diferente ( $V_2$ ), y la nueva concentración ( $C_2$ ) se puede calcular por la fórmula  $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$ . Por lo tanto, el método de DLW considera que el *turnover*  $O_2$  se determina por el flujo de agua en el cuerpo y el  $O_2$  inspirado y  $CO_2$  espirado, mientras que el *turnover*  $H_2$  está determinado exclusivamente por el flujo de agua a través del cuerpo. (Volp, A. P., et al. 2011).

Para medir el agua corporal total, se administra por vía oral un volumen y concentración pre - establecido de isotopos de  $H_2$  y  $O^{18}$ , que se difunde por todo el cuerpo durante 2 a 6 horas. A medida que la energía se gasta por el cuerpo,  $CO_2$  y agua se producen. El  $CO_2$  se elimina por los pulmones, la piel y la orina. La tasa de  $H_2$  y  $O^{18}$  desaparición se determina midiendo repetidamente sus concentraciones en los líquidos corporales (saliva, orina o sangre). La diferencia entre la tasa de desaparición de los dos isótopos se utiliza para

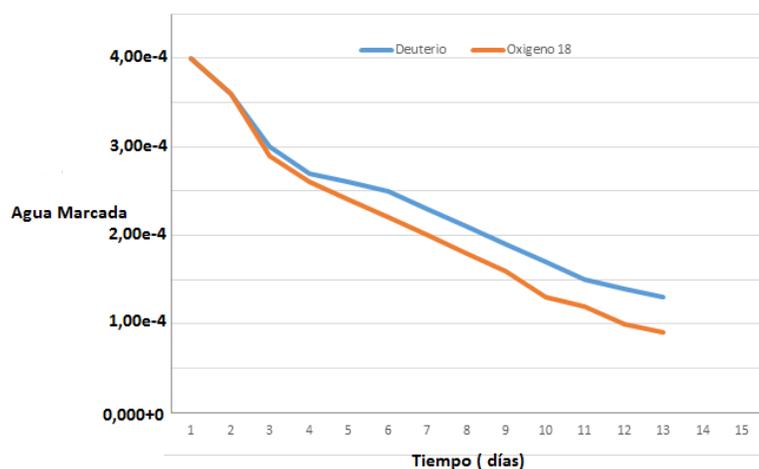
36 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

---

estimar la tasa de producción de  $CO_2$  y, por lo tanto, determinar la GE, basado en la ecuación de Weir. (Volp, A. P., et al. 2011).

El fundamento del método para determinar el gasto energético consiste en calcular la producción de  $CO_2$  del organismo, el cual se calcula a partir de la diferencia en las tasas de eliminación de los dos isótopos marcados ( $^2H^2^{18}O$ ), Figura 6-4. A partir del cálculo del  $CO_2$  espirado se determina el  $O_2$  consumido y se calcula el gasto energético, con base en el equivalente metabólico (1 Litro de  $O_2$  consumido equivale a un gasto de 5 kcal), (Scrimshaw, A., Waterlow, J., & Schürch, 1996).

**Figura 6-4:** Eliminación de los isótopos marcados



*Nota:* ( $^2H^2^{18}O$ ) utilizados en el método del agua doblemente marcada.

Fuente: Prentice, A. M. (1990). The doubly-labelled water method for measuring energy expenditure: A consensus report by the IDECG Working Group, NAHRES-4. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

La técnica del DLW proporciona una medida exacta del gasto energético total, sobre un número elegido de días o semanas a partir del cual se puede calcular la media del gasto energético diario, pero no cuantifica información específica sobre el tipo de actividad, intensidad o la duración de este gasto energético. Adicionalmente el análisis de las muestras biológicas que comúnmente son orina, requiere el uso de equipo sofisticado del laboratorio, el costo de los isotopos y el análisis de muestras en un impedímetro potencial para estudios a gran escala. Hills.,A. Mokhtar, N., y Byrne, N. (2014).

### **6.3.2 Análisis de bioimpedancia bioeléctrica.**

El análisis de bioimpedancia bioeléctrica (BIA), es un método rápido y no invasivo que calcula la composición corporal, incluyendo la distribución de los fluidos corporales de los espacios intra y extracelulares. También estima GER por las ecuaciones de predicción basadas en la masa corporal magra. Este método se puede realizar por medio de dispositivos con 2, 4 u 8 electrodos. Se basa en el principio de que los tejidos tienen diferentes propiedades eléctricas de pequeña a grande oposición al flujo de una corriente eléctrica. Tejidos magros tienen una alta conductividad de la corriente eléctrica, debido a la gran cantidad de agua y electrolitos. Por otro lado, el tejido adiposo (grasa de masa corporal), huesos y la piel tienen una baja conductividad. Este método mide el nivel de resistencia (medida de oposición pura al flujo de corriente eléctrica a través del cuerpo) y la reactancia (oposición al flujo de corriente eléctrica causada por la capacitancia producido por la membrana celular) del cuerpo a una corriente eléctrica de baja intensidad. Al hacerlo, el analizador evalúa el agua corporal total, asumiendo una hidratación constante, predice la cantidad de masa corporal magra y GER estima sobre la base de este valor. (Volp, A. P., et al. 2011).

- 38 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha
- 

### **6.3.2.3 Sensor de calor y el movimiento.**

El sensor de calor y el movimiento Sense Wear Pro 2 Brazaletes (SWA; Body Media, Inc., Pittsburgh, PA) es un dispositivo práctico recientemente desarrollado. Este dispositivo calcula el gasto energético a través de ecuaciones desarrolladas por el fabricante, que considera varios parámetros (flujo de calor, acelerómetro, respuesta galvánica de la piel, temperatura de la piel, la temperatura cerca del cuerpo) y las características de cada sujeto (sexo, edad, altura, peso corporal, diestro o zurdo y fumador y no fumador). Hasta este momento, los estudios han mostrado que el dispositivo sensor de calor y el movimiento necesita ajustes para estimar con mayor precisión el GE. (Volp, A. P., et al. 2011) Hills.,A. Mokhtar, N., y Byrne, N. (2014)

### **6.3.2.4 Registros de Actividad Física**

Registros de AF estiman GE de un informe muy detallado de todas las AF que se realizan a diario. La mayoría de las veces, se considera un método complementario, debido a su subjetividad. Los datos de AF se codifican de acuerdo a su tipo e intensidad y se utiliza para describir un patrón de actividad física de la población y para estudiar sus determinantes. También se puede utilizar para evaluar la contribución de varios tipos de AF al Gasto energético total, proporcionando categorías adicionales para el tipo de actividades realizadas de forma rutinaria.

El principio de la medición para la determinación del gasto por desglose de actividades es el equivalente metabólico: MET que equivale al consumo de  $O_2$  requerido en reposo o sentado en silencio y se supone que es  $\sim 3.5 \text{ ml/ } O_2/\text{min} \times \text{kg}$  de peso corporal. El índice se utiliza para expresar la absorción de  $O_2$  o la intensidad de las actividades como múltiplos

del valor en reposo o 1 MET y es útil para describir y prescribir el ejercicio de diferentes intensidades. Hills.,A. Mokhtar, N., y Byrne, N. (2014)

Entre las listas de códigos que existen, hay el Compendio de la Actividad Física, publicado por Ainsworth, B. et al. en 1993, actualizado en el 2011. El compendio consta de códigos de cinco dígitos que representan las actividades específicas llevadas a cabo en varias situaciones con sus respectivos niveles de intensidad expresados en unidades equivalentes metabólicos (MET). El GE se expresa en kcal.kg<sup>-1</sup>; kcal.min<sup>-1</sup>; kcal.h<sup>-1</sup> o kcal.24 h<sup>-1</sup>. Es posible estimar GE individuo (kcal) multiplicando el peso corporal (kg) por la duración de los AF (minutos) y por el valor de MET obtenido en el compendio. (Volp, A. P., et al. 2011).

Sin embargo, el principal problema de este método es que los diferentes autores utilizan diferentes códigos para el mismo tipo e intensidad de las actividades físicas. Aunque hay similitudes en algunas publicaciones, la comparación de resultados entre los diferentes estudios es limitado. Otra limitación importante, es que el GE estima, a través de este método no tiene en cuenta las diferencias de los individuos que pueden influir en el costo de la energía del movimiento. Por lo tanto, sería necesario realizar los ajustes individuales teniendo en cuenta el género, la edad, estado fisiológico, la composición corporal, y otros para los cuales no existe todavía un factor de corrección. Por otro lado, la principal ventaja de utilizar este método es la gran variedad de actividades enumeradas que tienen actualizaciones constantes debido a los estudios que incluyen este método, que permite la inserción o la corrección de las actividades específicas de una región o país en particular. (Volp, A. P., et al. 2011).

La precisión de este método factorial para cuantificar el gasto energético está influenciado por dos factores principales, Las estimaciones de la actividad física son tan confiables como la información suministrada y registrada por el evaluador. Por lo tanto, la exactitud del recuerdo de la actividad física suministrada por un individuo es un factor de influencia importante. En segundo lugar, las estimaciones del gasto energético están influenciadas por la exactitud del nivel del MET asignado y la premisa subyacente del sistema factorial,

- 40 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha
- 

es decir la consistencia del valor de reposo de 3,5 ml/ O<sub>2</sub>/min x kg de peso corporal para individuos de diferente tamaño y forma. Hills.,A. Mokhtar, N., y Byrne, N. (2014)

### **6.3.2.5 Los cuestionarios de ingesta alimentaria**

El uso de cuestionarios de consumo de alimentos para estimar ETA ha sido ampliamente discutido, sobre todo porque la gente por lo general sub - informan de su ingesta. Los métodos de la ingesta dietética pueden proporcionar una estimación de la ingesta de calorías e indirectamente de la ETA cuando el objeto está en un estado de equilibrio energético. Sin embargo, debe ser interpretado con cautela, debido a la sub o sobreestimación de la ingesta de alimentos reportados por los individuos, así como los errores inherentes a los entrevistadores. La estimación de GE por un cuestionario de la ingesta de alimentos debe ser utilizado en conjunción con otros métodos de evaluación de la GET con el fin de obtener un resultado más fiable. (Volp, A. P., et al. 2011).

### **6.3.2.6 Las ecuaciones de predicción.**

Varias ecuaciones de predicción para la determinación de GE se pueden encontrar en la literatura. La mayoría de ellas fueron desarrolladas a partir de grupos de individuos sanos mediante el uso de análisis de regresión que utilizan el peso, altura, género y edad como variables independientes, y la medida de GE por CI como variable dependiente. (Volp, A. P., et al. 2011). Algunas de las ecuaciones planteadas para la determinación del el GEB o GER tenemos: Harris y Benedict (1919), Boothby et al. (1921), Mifflin-St Jeor (1990), recomendaciones de la OMS (2005-2011) y la Ecuación de Cunningham entre otras.

### 6.3.2.7 Otros métodos para la determinación del gasto calórico.

En la actualidad existen diversos métodos subjetivos y objetivos de campo, para medir el nivel de actividad física y el gasto energético en diferentes poblaciones. Estos métodos han sido aplicados en estudios epidemiológicos y validados con métodos de agua doblemente marcada, calorimetría indirecta o calorimetría directa en jóvenes, atletas, adultos entre otros. A continuación, se describen algunos métodos que pueden ser utilizados en la determinación del gasto calórico en atletas:

- *Monitorización del ritmo cardiaco.*

La monitorización de la frecuencia cardiaca se utiliza para estimar el gasto energético y se basa en la hipótesis de una relación lineal entre la frecuencia cardiaca (FC) y el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ). A pesar de la considerable variabilidad interindividual en la pendiente de la relación FC- $VO_2$ , la relación lineal es consistente para un individuo en un rango de tareas sub máximas. Las diferencias interindividuales son predominantemente el reflejo de las diferencias en la eficiencia del movimiento, la edad y el estado físico. Hills., A. Mokhtar, N., y Byrne, N. (2014)

La relación de la FC y el gasto energético para un individuo se establece utilizando un procedimiento de calibración sub máxima que normalmente se realiza inmediatamente después de la evaluación de la tasa metabólica en reposo. El promedio del gasto energético para cada actividad y en cada carga de trabajo se calcula a partir de los valores de  $VO_2$  y  $CO_2$  utilizando las ecuaciones de Livesey. Elia (1988). Una vez calculado una línea de regresión individual, se puede utilizar la FC para estimar el consumo de oxígeno y el gasto energético en condiciones al aire libre. Existe una amplia gama de monitores de FC que varían en sofisticación y función para diferentes contextos, con una capacidad variable de almacenamiento de la FC en bloques de tiempo, se puede calibrar para cada individuo para un periodo determinado. Hills.,A. Mokhtar, N., y Byrne, N. (2014)

La FC es un importante marcador fisiológico de la actividad física, pero está influenciado por una amplia gama de factores no relacionados con la actividad que se controla. Por lo

tanto, la FC proporciona una estimación de la actividad física, pero las estimaciones pueden mejorarse con otros dispositivos de forma combinada. Hills.,A. Mokhtar, N., y Byrne, N. (2014)

▪ *Acelerómetros.*

Se ha evidenciado en los últimos años un desarrollo tecnológico en el cual se han creado nuevos instrumentos como los acelerómetros, que sirven para cuantificar, de manera objetiva, la actividad física, lo que representa un interés particular en el deporte de alto rendimiento. (Corder, K., Ekelund, U., Steele, R. M., Wareham, N. J., & Brage, S., 2008). Los acelerómetros son sensores de movimiento que detectan las aceleraciones (cambios de velocidad en un tiempo dado) del cuerpo. Por lo tanto, la frecuencia, intensidad y duración de la actividad física pueden evaluarse como una función del movimiento del cuerpo. La acelerometría, permite estimar la intensidad, la duración del movimiento, la relación entre los recuentos del acelerómetro y el costo energético permite clasificar la actividad física por intensidad. Hills.,A. Mokhtar, N., y Byrne, N. (2014)

Los acelerómetros consisten en transmisores pizo eléctricos que son estresados por fuerzas de aceleración. Esto conduce a la producción de una señal eléctrica que es posteriormente convertida por unidades de procesamiento para producir una indicación de movimiento. Hills.,A. Mokhtar, N., y Byrne, N. (2014). Los acelerómetros registran el cambio de aceleración del centro de masas en diferentes ejes o planos de movimiento y la convierten en una señal digital cuantificable denominada *counts*. Dependiendo del número de ejes en los que registran la información, existen acelerómetros: uniaxiales (un plano), biaxiales (dos planos) o triaxiales (tres planos ortogonales), que presentan las direcciones vertical, anteroposterior y medio lateral (Santos, A., & Garatachea, N., 2012), (Corder, K., Ekelund, U., Steele, R. M., Wareham, N. J., & Brage, S., 2008), (Hills., A. Mokhtar, N., y Byrne, N., 2014). Actualmente coexisten en el mercado un amplio número de marcas y modelos de acelerómetros, que pueden ser usados para la medición del nivel de actividad física y el gasto energético.

Los acelerómetros triaxiales, son más útiles en la medición de la actividad física en atletas, debido a que estos registran la aceleración en los tres planos del espacio del movimiento (eje Y, eje X y eje Z). La señal bruta en unidades de aceleración Gs, es obtenida de la siguiente manera:  $2.022 \text{ V (voltaje de la señal)} - 1.5 \text{ V (0 g, compensación)} / 174 \text{ mV} \cdot \text{g}^{-1}$  (sensibilidad del acelerómetro). Posteriormente la señal es transformada, rectificadora y traducida a *counts*. Normalmente, las marcas comerciales no proporcionan información para transformarlos en Gs, haciendo muy difícil la comparación de resultados entre diferentes modelos de acelerómetros. Cada registro de *counts* es sumado y guardado en la memoria del acelerómetro en un intervalo de tiempo configurable denominado *epoch*. (Hills., A. Mokhtar, N., y Byrne, N., 2014)

De esta manera se define cada cuanto tiempo se graba un nuevo registro de aceleración. El *epoch*, representa una medida cuantitativa de tiempo en el cual se realiza la actividad física. La duración del *epoch* determina la resolución con la que se registraran los datos; cuanto más corto sea el *epoch* mayor detalle del registro existirá. Sin embargo, *epoch* más bajos no aumentan la exactitud de los datos recogidos. Es criterio del evaluador el periodo de tiempo o *epoch* en el que periódicamente se guardarán los datos: cada 1 s, 5 s, 15 s, 30 s o 60 s habitualmente. Los *counts* obtenidos en un determinado *epoch* son proporcionales a la intensidad de la actividad física durante dicho periodo (Santos, A., & Garatachea, N., 2012).

Santos, A., & Garatachea, N., (2012), refieren que es importante conocer tanto la fiabilidad intra e inter monitor como su validez, no solo porque facilita una información valiosa para la elección de un modelo u otro de acelerómetro, sino porque también permite controlar la calidad y la objetividad de los resultados proporcionados por los acelerómetros. Adicionalmente, es importante evaluar la precisión de los acelerómetros a la hora de determinar el gasto calórico. Para ello, se utilizan como referencia métodos “*Gold standard*”, como agua doblemente marcada o calorimetría directa o indirecta. La

- 44 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha
- 

calorimetría indirecta se ha utilizado para validar numerosos modelos como el CSA o 7164, el GT1M, el Tritrac, el Caltrac o el KenzSelect (Santos, A., & Garatachea, N., 2012).

Es posible que, en los manuales de cada acelerómetro, así como en otros estudios independientes de calibración, se determinan o describen las ecuaciones matemáticas para estimar gasto calórico (MET o kcal · min<sup>-1</sup>) a partir de los *counts* registrados por el acelerómetro. Bassett et ál. (2011), referenciado por Santos, A., & Garatachea, N., (2012), ponen de manifiesto que: “Al realizar la validación de un acelerómetro no se valida el acelerómetro *per se*, siendo necesario que la validación del mismo está relacionada con el propósito para el cual se va a utilizar. Un acelerómetro puede proporcionar una información válida para un grupo de edad, pero no para otro, por ello, estos autores aconsejan que las ecuaciones de estimación de gasto calórico sean específicas para cada grupo de edad” (Santos, A., & Garatachea, N., 2012).

Existen estudios independientes que proponen ecuaciones para la estimación de gasto calórico en niños, adultos y mayores para otros modelos de acelerómetros, pero no para el GT3X. Sasaki et ál. (2011), referenciado por Santos, A. & Garatachea, N., (2012), fueron los primeros autores que desarrollaron un estudio independiente para comparar los *counts* registrados por el acelerómetro GT3X y el GT1M durante la realización de actividades estandarizadas en laboratorio. Su población fue de jóvenes adultos (26.9 ± 7.7 años) y concluyeron que únicamente los *counts* registrados por el eje Y de ambos acelerómetros son similares.

La utilización de un “*Gold estándar*”, como calorimetría indirecta, permite conocer la exactitud del acelerómetro, estimando el gasto calórico y también desarrollar nuevos modelos matemáticos para predecir el gasto calórico a partir de los *counts*. Además, sirve para definir los *cut-points* o puntos de corte para los valores de *counts* proporcionados por los acelerómetros, que se emplean como método para evaluar y clasificar los niveles de

actividad física. Se utilizan para relacionar un rango de valor de *counts* con unidades metabólicas. Hay que tener en cuenta que los valores de corte varían dependiendo de la marca, el modelo del acelerómetro y el rango de edad de la población que use el monitor, por tal motivo, es necesario desarrollar unos valores de corte para cada modelo y grupo de edad (Santos, A., & Garatachea, N., 2012).

La utilización de un “*Gold estándar*”, como calorimetría indirecta, permite conocer la exactitud del acelerómetro, estimando el gasto calórico y también desarrollar nuevos modelos matemáticos para predecir el gasto calórico a partir de los *counts*. Además, sirve para definir los *cut-points* o puntos de corte para los valores de *counts* proporcionados por los acelerómetros, que se emplean como método para evaluar y clasificar los niveles de actividad física. Se utilizan para relacionar un rango de valor de *counts* con unidades metabólicas. Hay que tener en cuenta que los valores de corte varían dependiendo de la marca, el modelo del acelerómetro y el rango de edad de la población que use el monitor, por tal motivo, es necesario desarrollar unos valores de corte para cada modelo y grupo de edad (Santos, A., & Garatachea, N., 2012).

▪ *Sistema de posicionamiento global (GPS).*

Es un equipo que utiliza la ayuda de satélites para proporcionar información sobre la ubicación de una persona, el contexto de su entorno, modo de transporte y la velocidad de locomoción; las señales del GPS pueden acoplarse con los datos de información geográfica para la información contextual que proporciona una coincidencia espacial. La fiabilidad y validez del GPS se ha demostrado en diferentes entornos (Butte, N., Ekelund, U., & Westerterp, K., 2012). Este sistema puede ser muy útil como herramienta de apoyo para estimar el gasto energético en atletas que entrenan al aire libre como ciclistas, patinadores y atletas, entre otros. El uso de un sistema GPS ha reportado evaluaciones eficaces de la posición y la velocidad de los jugadores de fútbol descritas por Edgecomb, S. J., & Norton, K. I. (2006), Drust, B., Atkinson, G., & Reilly, T. (2007) entre otros. Una limitación importante de este equipo, incluso de los instrumentos más sofisticados, es la precisión de la identificación de la posición (Shephard, R. J., & Aoyagi, Y., 2012).

Sin embargo, el estudio realizado por Edgecomb, S. J., & Norton, K. I. (2006), fue capaz de estimar las distancias reales cubiertas por los futbolistas, con un error de  $4,8 \pm 7,2$  %. Al

realizar mediciones, ya sea filmicas o con GPS, durante los deportes de equipo, las estimaciones de los gastos de energía correspondientes de los atletas, están limitadas por las diferencias interindividuales en la masa corporal, la eficiencia mecánica del movimiento y cambios en la condición de la superficie de juego. De igual forma, por los cambios rápidos de dirección, velocidad y por las colisiones. Además, las observaciones se hacen generalmente durante una práctica o juego de simulación y los patrones de juego pueden diferir sustancialmente cuando un equipo se enfrenta a la competencia (Shephard, R. J., & Aoyagi, Y., 2012).

Las debilidades del GPS se pueden encontrar en que añaden una carga adicional de peso al atleta, complejidad en la recopilación de datos, procesamiento, análisis y costo del equipo. Una debilidad en relación a la recopilación de información para la determinación del gasto calórico es que se limita a medir actividades al aire libre o *outdoor*, lo que limita la cuantificación del gasto en actividades ocupacionales como el hogar, trabajo, descanso y utilización del tiempo libre (Shephard, R. J., & Aoyagi, Y., 2012).

▪ *Sensores combinados.*

Esto hace referencia a sensores que combinan una o más mediciones fisiológicas con equipos de detección del movimiento. La combinación de acelerometría o GPS con posibles parámetros fisiológicos como la frecuencia cardiaca o la temperatura, tiene un potencial más grande para incrementar la precisión de la predicción del gasto calórico en la actividad física habitual, que solo con la medición de las variables fisiológicas nombradas anteriormente. Aunque los sistemas multisensoriales pueden ser más precisos, esto puede ser balanceado por su viabilidad, con los avances tecnológicos y científicos que deben considerarse al inicio de cada nuevo estudio (Corder, K., Ekelund, U., Steele, R. M., Wareham, N. J., & Brage, S., 2008), (Shephard, R. J., & Aoyagi, Y., 2012). Sin embargo, muchos de estos métodos nuevos proveen información interesante de diversas características de la actividad física, que puede ser particularmente aplicable a niños y algunas poblaciones clínicas (Corder, K., Ekelund, U., Steele, R. M., Wareham, N. J., & Brage, S., 2008).

Para cuantificar todos los aspectos de la actividad física en condiciones de vida al aire libre se recomienda el uso de múltiples métodos complementarios como la acelerometría y la monitorización de la frecuencia cardíaca. La razón para combinar estas técnicas es que los recuentos de acelerómetro verifican que las elevaciones en la FC se deben a la actividad física. La relación entre la FC y el gasto energético está influenciada por una serie de factores que incluyen la edad, el género, el nivel de entrenamiento, el volumen sistólico, la temperatura etc. Las limitaciones de la acelerometría incluyen la incapacidad del dispositivo para tener en cuenta la carga adicional soportada por el usuario y los cambios en el grado de la superficie del ejercicio. Hills.,A. Mokhtar, N., y Byrne, N. (2014).

La relación entre la FC y el  $VO_{2}$  es solo lineal durante el ejercicio de moderada a alta intensidad. Por lo tanto, la monitorización de la FC es útil para cuantificar el gasto energético de la actividad física, pero no la actividad física de baja intensidad o comportamientos de una alta proporción de la actividad física diaria total realizada por muchos individuos. La acelerometría puede ser considerada como a la inversa, muy limitada en la evaluación del gasto energético de la actividad pero capaz de cuantificar niveles bajos de actividad física o comportamiento sedentario. Como sensor combinado de la FC y movimiento, el Actiheart aprovecha las ventajas de cada tecnología en un solo dispositivo. (Hills.,A. Mokhtar, N., y Byrne, N., 2014).

## **6.4 Ventajas y limitaciones de los métodos para la determinación del gasto energético**

En la Tabla 6-1, se resume las ventajas y limitaciones de cada método para evaluar el gasto de energía (Volp, A. P., et al. 2011):

- 48 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

**Tabla 6-1:** Ventajas y limitaciones de los métodos de evaluación del gasto energético

<b>Método</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
<b>Calorimetría Directa</b>	Método altamente sofisticado, considerado un estándar de oro para la medición del gasto energético total, permite al sujeto algún grado de actividad	Método de alta complejidad, altos costos y requiere el confinamiento del sujeto por 24 horas o más
<b>Calorimetría Indirecta Ventilatoria</b>	Este método es considerado el “Gold Standard” para la medición de GER y GEB. Este es un método no invasivo razonablemente preciso tiene un error menor al 1% y tiene una alta reproducibilidad. También permite cuantificar e identificar los sustratos energéticos oxidación. Permite mediciones a corto plazo del gasto energético.	Costo alto, relativamente complejos. Requiere personal entrenado para su correcto uso
<b>Calorimetría indirecta Circulatoria</b>	Llamado también el Principio de Fick Es un método práctico y simple. Puede ser utilizado con precaución cuando no hay otra manera de evaluar el gasto energético en pacientes críticamente enfermos. El Gasto cardiaco se determina por la termodilución intermitente mediante la inserción de un catéter en la arteria pulmonar.	Es invasivo. El uso de catéter puede contribuir a complicaciones metabólicas Se basa en mediciones instantáneas. No es equivalente a la calorimetría Indirecta, ya que subestima la GER.
<b>Agua doblemente marcada</b>	Este es un método <i>Gold Estándar</i> con una precisión de 97 a 99% comparada con la calorimetría indirecta. Mide con precisión el GET en sujetos y utiliza	Es costoso y requiere equipos sofisticados con personal bien entrenados. No proporciona la

---

	deuterio (H <sub>2</sub> ) y oxígeno-18 (O <sup>18</sup> ), esto es un método seguro.	información de la energía gastada en la actividad física, al igual que no da la información sobre la oxidación sustratos.
<b>Análisis de bioimpedancia bioeléctrica</b>	Este es un método económico y no invasivo de compartimentos corporales incluyendo la distribución de fluido corporal teniendo en cuenta los espacios intra y extracelulares.	Hay varios factores que pueden influir en sus resultados como el estado de hidratación del sujeto, prandial / estado de ayuno, ejercicios, utilización de diuréticos, período menstrual, la edad, la etnia, la forma del cuerpo o salud y condición nutricional.
<b>Monitores de frecuencia cardiaca</b>	Capacidad de cuantificar la intensidad del ejercicio y estimar el gasto energético en el ejercicio aeróbico continuo o en estado estacionario.	La relación FC- VO <sub>2</sub> difiere entre los diferentes segmentos del cuerpo. El uso de una sola línea de regresión derivada de una actividad no será exacta para otras actividades.
<b>Sensor de calor y movimiento</b>	Dispositivo fácil y práctico de usar que estima gasto energético	Los estudios indican que el dispositivo necesita ajuste, en especial las ecuaciones para los sujetos obesos.
<b>Acelerómetros</b>	Herramientas objetivas, prácticas, no invasivas, precisas y confiables para cuantificar el volumen y la intensidad de la actividad física	No hay consenso sobre los puntos de corte para definir las intensidades. No pueden comparar los resultados de la acelerometría entre los equipos.

---

50 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

---

<b>Registro de actividades físicas</b>	Método de costo bajo que estima gasto energético de un registro muy detallado de toda la actividad física que realizan diariamente. Amplia variedad de tipos de actividades enumeradas. La lista se actualiza con frecuencia que permite la inclusión o la corrección de las actividades típicas de las regiones o países específicos.	La comparación de los resultados entre diferentes estudios es limitado debido a varios códigos existentes para las actividades.  La estimación del gasto energético no toma en cuenta las diferencias entre individuos que pueden afectar el costo energético de un movimiento
<b>Cuestionarios Dietarios</b>	Método sencillo y asequible. Puede ser viable si se utiliza correctamente	Los sujetos pueden subestimar su ingesta de alimentos, lo que reducirá la exactitud del método.  Este método sólo es válido para los sujetos con peso estable, por lo presentan un equilibrio de la balanza energética.  El sesgo puede ocurrir debido a las interferencias de la entrevistadora, así como sesgos inherentes al método elegido
<b>GPS</b>	Dispositivo pequeño, ligero y autónomo nos proporciona posición 3D, velocidad de desplazamiento y tiempo precisos	Las mediciones sólo pueden llevarse a cabo al aire libre, en un entorno en el que la señal de los

---

---

	de forma continua independiente al tipo de terreno	satélites no se vea obstruida por edificios altos, túneles, zonas de árboles etc. Sin embargo, en condiciones de nubosidad la recepción de la señal puede ser buena
<b><i>Ecuaciones predictivas</i></b>	Simple, rápido y asequible método. Puede ser viable si se utiliza correctamente	Se puede sobreestimar o subestimar el GET GEB de los sujetos de la misma población

---

Fuente: Volp, A. P., de Oliveira, F. E., Alves, R. D. M., Esteves, E. A., & Bressan, J. (2011). Hills., A. Mokhtar, N., y Byrne, N. (2014) Aparicio-Ugarriza, R., Mielgo-Ayuso, J., Benito, P. J., Pedrero-Chamizo, R., Ara, I., González-Gross, M., & EXERNET Study Group. (2015).



Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

---

## 7. Marco metodológico

### 7.1 Tipo de estudio

El diseño de investigación del presente estudio corresponde a un estudio **observacional-descriptivo, analítico y transversal**, porque no se realizó intervención alguna, solo se midieron las variables definidas en el estudio por los diferentes métodos planteados para el cálculo del gasto calórico, para esto se establecerá el grado de consistencia y conformidad estadística entre la calorimetría indirecta (Gold estándar) y tres métodos para la determinación del gasto calórico en campo.

### 7.2 Población blanco

Los atletas de marcha que cumplieron con los criterios de inclusión. De acuerdo a los datos suministrados por la Federación Colombiana de Atletismo el 13 de mayo del presente año, los atletas activos que podrían participar en el presente estudio, inscritos en la convocatoria abierta de la Copa Panamericana de Marcha Atlética refieren un total de 12 atletas.

## 7.3 Población de estudio

Los participantes que fueron incluidos en el presente estudio fueron Seis (6) atletas de alto rendimiento de la modalidad de marcha atlética, inscritos a la Federación Colombiana de Atletismo, con una edad deportiva mayor a 3 años, de género masculino, quienes son residentes de altura en la ciudad de Bogotá, con edades comprendida entre los 20-40 años, quienes voluntariamente decidieron participar en este estudio. Los participantes no se encontraban lesionados, ni presentaban una enfermedad respiratoria en curso y no consumieron ni alcohol, ni tabaco, cafeína o medicamentos que alteraran la frecuencia cardíaca. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Nacional de Colombia (Acta de Evaluación: No. 0.22-287-16) y realizado en conformidad con la declaración de Helsinki de 1964/2000 y las consideraciones éticas según resolución 8430 Ministerio de salud. Todos los participantes fueron informados sobre los riesgos y beneficios del estudio y dieron su consentimiento (Anexo A) por escrito para participar.

### 7.3.1 Criterios de Inclusión

- Atletas de alto rendimiento de marcha atlética.
- Sexo masculino.
- Residentes en la ciudad de Bogotá en un periodo mayor de 6 meses.
- Mayor de 18 años, menor de 40 años.
- Que tenga una edad deportiva de más de 3 años.
- Que realice doble sesión de entrenamiento.
- Que entrene entre 5-6 veces a la semana en periodos de 1 o 2 horas por sesión.
- Que pertenezcan a la Federación Colombiana de Atletismo.

- Firma del consentimiento informado: Sujetos que hayan aceptado voluntariamente participar en el estudio y autoricen el uso de la información obtenida, para su análisis, utilización y divulgación como material científico. Cada persona dará su consentimiento por escrito (Anexo A), de acuerdo a la normatividad relacionada con este tipo de investigaciones.

### **7.3.2 Criterios de Exclusión.**

- Deportista que se encuentre lesionado y que esto impida la ejecución de su gesto deportivo.
- Deportista que curse con cuadro de enfermedad respiratoria que impida la respiración normal por el ergoespirómetro.
- Que haya realizado ejercicio previo a la prueba, 12 horas antes.
- Haber consumido alcohol o tabaco (incluido la exposición al consumo de tabaco por otras personas). 12 horas previo a la prueba
- Consumo de cafeína las 72 horas previas, o consumo de algún medicamento (que altere la frecuencia) las 2 semanas previas a la prueba.
- Que no deseen realizar la prueba o retiro voluntario.

## **7.4 Diseño Muestral**

El muestreo empleado es de tipo no probabilístico, por lo cual la muestra fue seleccionada a conveniencia, donde el investigador seleccionó a los participantes que estuvieron dispuestos a participar en la presente investigación y que cumplieron con los criterios de inclusión. La muestra tiene características muy similares a la población objetivo, para controlar ciertos tipos de sesgos.

## 7.5 Diseño del estudio

El estudio siguió un protocolo semi- estandarizado, el propósito del protocolo semi-estandarizado fue comparar la exactitud de tres métodos para la estimación del gasto energético en el entrenamiento contra la calorimetría indirecta “*Gold Standard*”. En el protocolo, cada participante debía marchar a una intensidad de leve a moderada durante 5 km en la pista atlética por el carril 8, portando simultáneamente los tres equipos de medición el *K4 B2*, el Garmin Fénix 3 HR y el acelerómetro Actiheart y el investigador externo controlaba el tiempo por vuelta y distancia recorrida para ser utilizados para el cálculo del gasto en el entrenamiento. El ritmo de caminata no fue estandarizado ya que el fenómeno que se quiere estudiar es la concordancia entre los resultados entre equipos y no entre sujetos independiente de la intensidad.

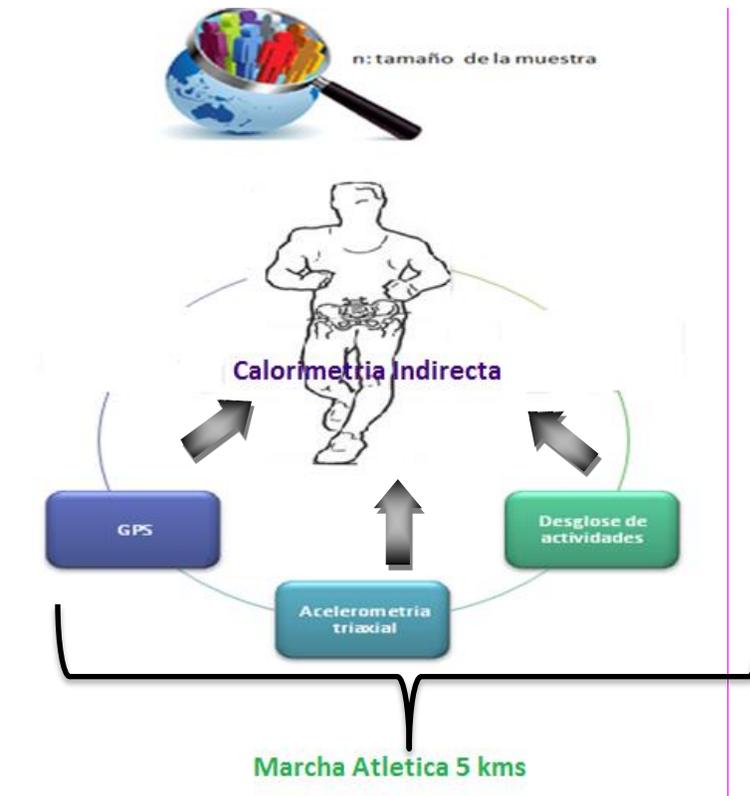
La intensidad era controlada por cada atleta mediante la medición del tiempo por vuelta, este conocimiento del atleta en estimar el nivel de intensidad surge del seguimiento de las variables fisiológicas en el cual mediante las mediciones previas al estudio en el laboratorio de fisiología del Centro de Ciencias del Deporte de Coldeportes donde se midió la Potencia Aeróbica ( $VO_{2m\acute{a}x}$ ) se puede establecer el rendimiento máximo aeróbico de los atletas y determinar de forma individual las intensidades de entrenamiento, para poder estimar las diferentes velocidades e intensidades en cada uno de los entrenamientos requeridos para su preparación. Es importante entender que “en fisiología que la Potencia Aeróbica ( $VO_{2m\acute{a}x}$ ), se considera la intensidad del 100% al ritmo de trabajo en el cual se logra el  $VO_{2m\acute{a}x}$ . Por lo tanto, las intensidades inferiores caracterizan al rendimiento sub-máximo” (Serrato M. 2008). Adicionalmente, se controló por parte del director de la investigación la intensidad, con la respuesta al lactato en el intermedio de la prueba con el fin de determinar la zona intensiva.

El efecto adaptativo del entrenamiento de resistencia se verá reflejado en menores concentraciones de lactato a las mismas cargas realizadas y menor  $VO_2$  también, ya que la economía lograda con el desarrollo técnico y adaptaciones metabólicas logran grandes incrementos de la eficiencia. El lactato se utiliza preferentemente como sustrato en ejercicio por encima de las grasas y glucosa, tanto en corazón como en el músculo estriado, efecto que ahorraría el uso de glucosa y glucógeno. La intensidad de ejercicio que indica la transición desde las intensidades bajas a altas de un esfuerzo de resistencia, representa presumiblemente la carga de trabajo constante más alta que puede llevarse a cabo con el metabolismo oxidativo y se asume que es la máxima intensidad de esfuerzo que puede mantenerse en el tiempo sin que se produzca acumulo de lactato por lo que se denominaron el máximo estado estable de lactato (MaxLaSS), el cual se encontraba cuando se lograba 4mMol/l. (Serrato, M., 2015)

La finalidad es comparar los datos obtenidos de gasto calórico medido en kcal/min, véase Figura 7-1, de cada uno de los equipos, comparado con un método indirecto considerado como “*Gold estándar*” que mide la carga interna mediante el consumo de oxígeno, con métodos de campo como la acelerometría triaxial (kcal/min) y el GPS (kcal/min) que mide la carga externa y un método de registro de campo como el desglose de actividades (kcal/min). Anexo C.

58 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

**Figura 7-1:** Diseño del estudio



## 7.6 Categorización de Variables

En la Tabla 7-1 se muestran las variables dependientes, independientes e intervinientes de la presente investigación:

**Tabla 7-1:** Categorización de variables

Variables Dependiente	Unidad de Medida	Definición	Tipo de Variable	Categoría	Rango
Gasto Calórico en entrenamiento					
Calorimetría Indirecta					
Gasto Calórico en entrenamiento					
Desglose de actividades	kcal/min		Cuantitativa	Numérica Discreta	1-20 kcal/min

(Ecuaciones) Energía gastada durante una actividad física

**Gasto Calórico en entrenamiento GPS**

**Gasto Calórico en entrenamiento Acelerometría Triaxial**

Variables Independientes	Unidad de Medida	Definición	Tipo de Variable	Categoría	Rango
<b>Intensidad</b>	Velocidad Km/h	Magnitud física de carácter vectorial que expresa la distancia recorrida por un objeto por unidad de tiempo.	Cuantitativa	Numérica Continua	Es establecido Individualmente

Variables Intervinientes	Unidad de Medida	Definición	Tipo de Variable	Categoría	Rango
<b>Edad</b>	años	Edad biológica que corresponde al tiempo transcurrido a partir del nacimiento de un individuo.	Cuantitativa	Numérica Continua	20-40 años
<b>Género</b>	Masculino	Cualidad morfológica de diferenciación sexual	Cualitativa	Nominal	Masculino
<b>Masa Libre de Grasa</b>	Kg	Corresponde a la masa corporal activa por FM5C y FM2C	Cuantitativa	Numérica Continua	40-65 kg

**Nota:** para poder establecer correlación y concordancia entre métodos para la determinación del gasto calórico debe medirse en la misma unidad de medida que para este fin será en kcal/min.

FM5C: fraccionamiento de masas de cinco componentes

FM2C: fraccionamiento de masas de dos componentes

## 7.7 Instrumento de recolección de información

El instrumento principal es el formato de recolección de información por desglose de actividades Anexo C. Contiene los elementos necesarios para recolectar la información pertinente para el cálculo del gasto calórico por desglose de actividades el cual está dividido en tres secciones o dominios; la primera sección correspondía a los datos del atleta como nombre completo, fecha de evaluación, fecha de nacimiento, y datos antropométricos; la segunda sección recoge datos de las condiciones medio ambientales de la prueba y la hora de finalización e inicio y la tercera describe los datos específicos recolectados durante la prueba como son: la distancia (m) por vuelta, distancia acumulada (m), tiempo por vuelta (min/s/ms), tiempo total (min/s/ms) y promedio de velocidad (km/h). Los datos del gasto calórico por los diferentes métodos fueron relacionados en una tabla de excell, para su posterior tabulación y análisis estadístico.

## 7.8 Aspectos éticos

El estudio se desarrolló de acuerdo a la resolución 008430 de 1993 establecida por el Ministerio de Salud (República de Colombia, 1993) y a las normas de investigación y en las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud establecidas en la declaración por la Asociación Médica Mundial en la Declaración de Helsinki su título II Capítulo 1 artículos del 5 al 12, sobre los aspectos éticos de la investigación médica en seres humanos:

- El estudio pertenece a la categoría de investigación con riesgo mínimo, de acuerdo a lo establecido y en el numeral b, del artículo 11, debido a que los datos obtenidos provienen de actividades rutinarias realizados por los atletas de rendimiento deportivo.

- Dentro de los criterios de inclusión se ha establecido que posterior a una reunión donde se explicó el estudio (procedimientos, beneficios y riesgos) los deportistas deberán firmar el consentimiento informado, de esta forma se garantiza que se cumpla con el artículo 26 de la resolución 008430 de 1993. El formato de consentimiento informado deberá ser aprobado por el Comité de ética de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia (Anexo A). Además, se les hará explícito tanto en la reunión como en el formato que los participantes se podrán retirar en cualquier momento del estudio sin agravantes posteriores, que la información obtenida será confidencial y que no hay riesgo de perjuicios a su salud dado que la actividad a desarrollar corresponde a dos entrenamientos propios a su preparación física y con intensidades de ejercicio que se derivan de su propio  $VO_2$  máx.

## 7.9 Análisis estadístico

Para determinar la **“Validez, Correlación y Concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad marcha”** se utilizó un análisis de varianza que permite conocer la diferencia de medias cuando se tiene más de dos comparaciones, en este caso equipos o métodos. Se aplicó un modelo estadístico que se desprende del diseño experimental y que permite encontrar si existen diferencias en la medición que hace cada equipo o método para calcular el gasto calórico disminuyendo el error en las comparaciones.

Ya que la muestra fue tomada a conveniencia por las restricciones que presenta la selección de elementos, no se puede asegurar que la muestra tomada vaya a cumplir los supuestos de normalidad para aplicar las pruebas de estadística paramétrica comúnmente usadas que nos permitan hacer inferencias confiables. Para prevenir el sesgo de las conclusiones y los supuestos de normalidad que cumplirá o no la muestra se desarrolló un plan de análisis que nos permite hacer inferencias confiables en cualquiera de los dos casos y adicionalmente se aplicaron diseños estadísticos basados en el diseño de

experimentos que nos permiten hacer inferencias y conclusiones independientemente de la normalidad de la muestra.

Por lo tanto, se inició con el análisis descriptivo y para determinar si la muestra cumple los supuestos de la estadística paramétrica de normalidad, varianza constante (homocedasticidad: si el error cometido por el modelo tiene siempre la misma varianza) e independencia (la selección de un elemento no condiciona la elección de los restantes, los errores son independientes entre si), se aplicó la prueba de Shapiro-Wilks, Barlett y test de Box-L- Jung respectivamente y evitar sesgos en los resultados y conclusiones. En el caso de que la muestra no cumpla con los parámetros de la estadística clásica se procedería a aplicar un modelo del diseño experimental que permite comparar dos o más equipos y disminuye los errores entre las comparaciones, valida los equipos y métodos al mismo tiempo.

El modelo a utilizar es “Experimentos con un solo factor: El análisis de Varianza”, aplica cuando se tienen un  $\alpha$  de tratamientos o niveles de un solo factor que quiere compararse. La respuesta observada de cada uno de los  $\alpha$  tratamientos es una variable aleatoria. Es un requisito que experimento se lleve a cabo en orden aleatorio para que el ambiente en el que se apliquen los tratamientos (llamados con frecuencia unidades de experimentos) sea lo más uniforme posible. Por lo tanto, el diseño experimental es un diseño completamente aleatorizado. Donde el objetivo será probar las hipótesis apropiadas acerca de las medias de los tratamientos y estimarlas. Montgomery; D.C. (2005).

**Modelo estadístico:**

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

**Donde:**

- $y_{ij}$  = Cada una de las observaciones de los equipos.
- $\mu$  = representa el promedio de todas las observaciones obtenidas de todos los equipos o equipos.
- $\tau_i$  efecto de la medición del gasto calórico con cada uno de los equipos o métodos de calorías en el modelo.
- $\epsilon_{ij}$  representa el error del modelo.

Probar formalmente que no hay diferencias en las medias del tratamiento requiere que cumpla con los supuestos del modelo descrito por Montgomery, D.C. (2005): “*Describe de manera adecuada las observaciones y que los errores de una distribución normal e independiente, con media cero y varianza  $\sigma^2$  constante pero conocida*”. Si estos supuestos se satisfacen, el procedimiento de análisis de varianza es una prueba exacta de la hipótesis de que no hay diferencia en las medias de los tratamientos. Sin embargo, es común que estos supuestos no se satisfagan exactamente. Por consiguiente, en general no es prudente confiar en el análisis de varianza hasta haber verificado los supuestos. Las violaciones de los supuestos básicos y la adecuación del modelo pueden investigarse con facilidad mediante el examen de los residuales.

Después de aplicado el modelo y teniendo en cuenta que, si existen diferencias en la medición del cálculo del gasto calórico en Kcal/min, obtenidas con los diferentes equipos y métodos. Se aplicó el test de Dunnet para verificar si existen diferencias comparando el equipo “*Gold Estándar*” con los demás equipos y métodos. La prueba de Dunnet debe utilizarse cuando se quiere comparar la media del grupo control (o sea aquel grupo al que no se le aplica tratamiento), con las medias de los grupos experimentales (grupos que reciben tratamiento). El método de cálculo de la prueba de Dunnett es similar a una prueba t y a la prueba Scheffe. Dunnett, utiliza una única diferencia crítica para realizar las comparaciones múltiples y no requiere que la prueba “P valor” del análisis de varianza sea significativa para aplicarla (Fallas, J., 2012). El test de Dunnet es la prueba más potente cuando se compara con un control y está diseñada para realizar todas las posibles a -1

- 64 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha
- 

pruebas de hipótesis. (Montgomery, D.C., 2005). Se utilizaron los Paquetes estadísticos **agricolae** versión 1.2-8 actualización el 2017/ 09/12, **multcomp** versión 1.4-8 actualización 2017/ 11/ 08 y **car** versión 2.1-05 actualización 2017/ 06/ 25 y **ggplot2** versión 2.2.1 actualización 2017/ 12/ 30 y el software **R estudio** versión 1.0 .136 del 2016.

## **8. Metodología**

### **8.1 Procedimientos**

A continuación, se describen cada uno de los procedimientos que se llevaron a cabo para dar desarrollo a la investigación:

#### **8.1.1 Evaluación médica**

Se realizó con el apoyo del médico del deporte la evaluación del estado de salud, con el objetivo de descartar alguna lesión o enfermedad que pueda ser agravada por el entrenamiento o impidan la realización del mismo; la información obtenida se diligenció en la historia clínica digital del Centro de Ciencias del Deporte (CCD) de Coldeportes "HIMS3i", en la cual el médico indagó sobre: antecedentes médicos, historia deportiva, revisión por sistemas, examen físico y paraclínicos (si se requiere). Con los datos obtenidos se determinó el estado de salud de cada uno de los participantes y se estableció quienes pueden continuar en el estudio.

#### **8.1.2 Evaluación Antropométrica.**

Se procedió a realizar la evaluación antropométrica teniendo en cuenta los métodos y técnicas sugeridos por la ISAK (Sociedad internacional para el Avance de la Cineantropometría), donde era importante la medición de parámetros como la masa corporal total, la talla y determinar la masa libre de grasa, para el cálculo del gasto calórico en el entrenamiento. Para la evaluación antropométrica se utilizaron los siguientes equipos: báscula Seca 820 con exactitud de 100 g, un adipómetro Harpenden con lectura

por aguja de reloj, graduación del dial: 0,20 mm, rango de medición: 0 mm a 80 mm, presión de medida: 10 g / mm<sup>2</sup> (constante sobre el rango), precisión: 99.00%, repetitividad: 0,20 mm, cinta métrica Lufkin de acero flexible de 1,5 m de longitud y ancho 7 mm y un kit antropométrico de la marca Rosscraft (made in Mercosur) que cuenta con un calibrador de diámetros óseos grandes, el cual es metálico de longitud máxima de 60 cm, con pieza deslizante ancha con ramas AP, para medición del anteroposterior del tórax y tórax transversal y un calibrador de diámetros óseos pequeños: es un antropómetro corto, metálico de longitud máxima de 19 cm y un tallímetro marca Seca con un rango de medida de 20 a 210 cm, precisión de 1 mm con una rama corrediza para la precisión de la medida. Para la recolección de información de los datos antropométricos se utilizó el formato perfil completo ISAK 2. (Anexo B), donde se registraron las siguientes medidas: la masa corporal total (Kg), la talla (cm), talla sentado (cm), siete pliegues cutáneos (mm) ( tríceps, bíceps, subescapular, supra iliaco, supra espinal, abdominal, muslo y pierna), Nueve perímetros (cm) ( cabeza, brazo relajado, brazo contraído, tórax, cintura, cadera, muslo superior, muslo medio y pierna) y seis diámetros (cm) ( diámetro biacromial, diámetro bicrestal, diámetro de tórax trasverso, diámetro del tórax antero- posterior, diámetro de fémur y diámetro de humero).

A partir de la medición de estas medidas antropométricas se calculó la composición corporal por el método de fraccionamiento de masas de cinco componentes, propuesto por Debora Kerr (1988), la cual es una estrategia superadora de los modelos de fraccionamiento conocidos, debido a que corrige sus errores de cálculo, e incrementa la precisión, validez y reproductibilidad en la determinación de la composición corporal en forma global y fraccional. El método fracciona la estructura corporal de los humanos en cinco masas: masa de piel, masa ósea, masa residual, masa adiposa y masa muscular. Puede ser utilizado en diferentes poblaciones de forma generalizada, en ambos géneros y en edades comprendidas entre 6 a 77 años, si diferencia en el nivel de actividad física o deporte. Ross W. & Kerr, D (1991). El objetivo de este cálculo es estimar la masa libre de grasa a partir de la suma de las masas muscular, ósea, residual y piel, para el cálculo del gasto calórico por desglose de actividades por observación directa en el entrenamiento.

Adicionalmente, para lograr el mismo objetivo se planteó brindar otra opción para el cálculo de la masa libre de grasa a partir del método convencional de fraccionamiento de masas de dos componentes. A partir de la ecuación desarrollada para el cálculo del porcentaje de grasa por Yuhasz (1974), Carter Ross, Aubry, Hebbelink & Borms, (1982), ecuaciones que fueron propuestas por Yuhasz (1974) para ser usada en adultos jóvenes entre 18 y 30 años de edad y que posteriormente estas ecuaciones fueron extensamente utilizadas y modificadas convirtiéndolas en ecuaciones de regresión lineal para atletas en un estudio con deportistas Olímpicos en *Montreal Olympic Games Anthropological Project (MOGAP)*, (Carter, et. al. 1982).

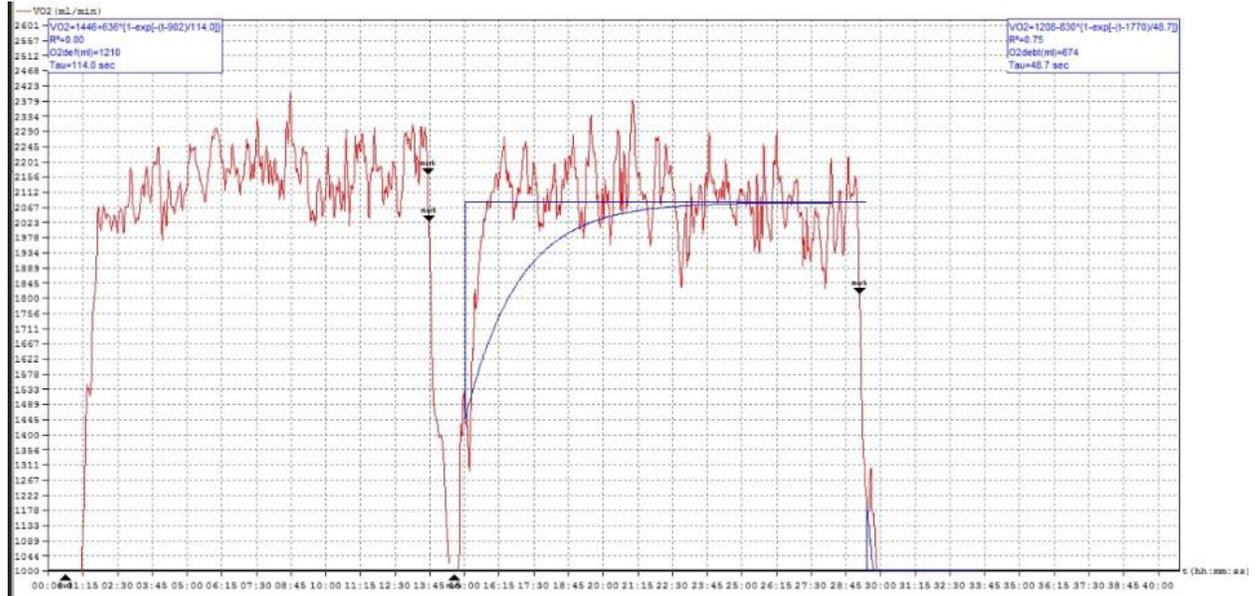
### **8.1.3 Mediciones del gasto energético durante el entrenamiento.**

Para las mediciones del gasto de energía durante el entrenamiento semi-estandarizado, los participantes usaron de forma simultánea un analizador de intercambio de gas pulmonar portátil COSMED K4 b2 (COSMED Srl, Roma, Italia), un Actiheart que combina un acelerómetro triaxial y un monitor de ritmo cardíaco (Camintech, Cambridge; Reino Unido), GPS reloj Garmin Fenix 3 HR con antena EXO™ omnidireccional, con recepción por satélite GPS / GLONASS, con tecnología de frecuencia cardíaca de muñeca Elevate™, adicionalmente mide las características de entrenamiento físico como dinámica de carrera avance de zancada, oscilación vertical y relación vertical, estimación VO<sub>2</sub> máx., con funciones de navegación al aire libre como brújula de 3 ejes, altímetro y barómetro y función TracBack® y por último se llevaba una plantilla de registro de desglose de actividades por observación directa (Anexo C) donde se diligenciaba para cada sujeto la distancia recorrida y el tiempo por vuelta para calcular la velocidad, y otra información requerida para la programación de los otros equipos para la medición del gasto calórico. Es importante resaltar que no se incluyó para la determinación del gasto calórico el calentamiento previo a la prueba de entrenamiento intensivo de 5 km.

### **8.1.3.1 Medición del gasto energético con el COSMED K4 b2.**

El analizador de intercambio de gas pulmonar portátil COSMED K4b2 consiste en un arnés, batería, analizador de intercambio de gases, mascarilla y boquilla con un peso aproximado de 1,6 Kg. El COSMED K4b2 requería de acuerdo al manual una calibración diaria antes de cada prueba con un gas de referencia, una calibración de aire ambiente y una calibración de retardo de gas y una calibración con una jeringa de 3 litros del medidor de flujo. Antes de iniciar cada prueba, se debía introducir en el COSMED K4b2 la información sobre temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y humedad (%), la altura (m) y la masa corporal total (kg). Schneller, M. B., Pedersen, M. T., Gupta, N., Aadahl, M., & Holtermann, A. (2015).

El cálculo del gasto calórico a través de calorimetría indirecta mediante el uso del analizador portátil COSMED K4b2 se realizó utilizando la gráfica del software y aplicando los principios de fisiología de la cinética del  $\text{VO}_2$ , donde se normalizó la curva de  $\text{VO}_2$  y se obtiene el  $\text{VO}_2$  (ml/min), el cual al dividir por 10000 se convierte a unidades  $\text{VO}_2$  (l/min) y de esta forma poder multiplicar por el equivalente fisiológico de 5 kcal provenientes predominantemente de la oxidación de la glucosa en estado estable para obtener kcal/min y al multiplicar por los minutos totales de la actividad física se obtendrán las calorías totales. En la Figura 8-1 se muestra el análisis que se realizó con cada uno de los datos y gráficas obtenidas por el analizador de portátil de calorimetría indirecta COSMED K4b2.

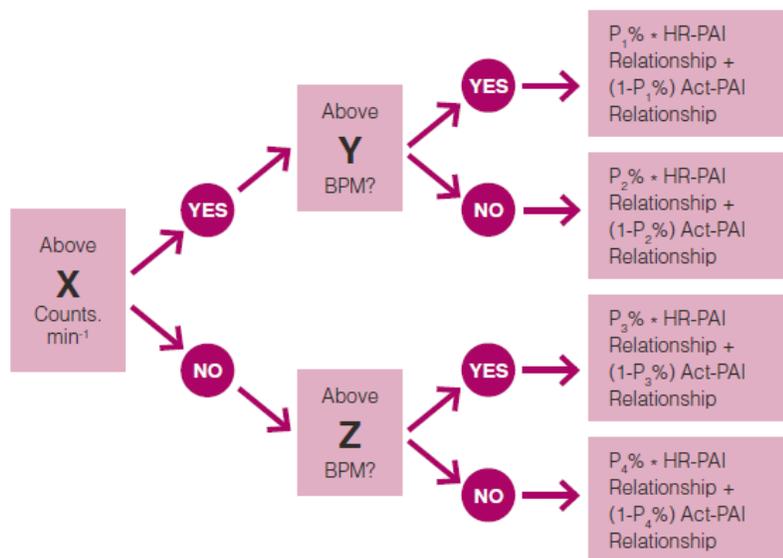
**Figura 8-1:** Medición del  $VO_2$  (ml/min) y cinética de  $VO_2$ 

### 8.1.3.2 Medición del gasto energético con el Actiheart.

La acelerometría se midió con el Actiheart que combina la acelerometría triaxial a 32 HZ y la frecuencia cardíaca medida en intervalos de 1 minuto. Los datos se transformaron a un gasto energético usando los parámetros de la ecuación ramificada de “Group Cal Jap 2007” incorporando en el software Actiheart. El equipo consiste en un cargador que cumple funciones de interfase con el computador para programar los acelerómetros, un Actiheart software 4.0.103 y un dispositivo de monitorización compacto que se ajusta al pecho y cuenta con dos clips que se unen directamente a los electrodos de ECG estándar. Por lo general, un electrodo se adhiere en V1 o V2 (cuarto intercostal) y el segundo electrodo se coloca aproximadamente a 10 cm de distancia en el lado izquierdo en V4 o V5, aunque esta colocación se puede ajustar para que sea cómoda para el sujeto. El procesamiento de datos del Actiheart se realizó de acuerdo con las Directrices de Procesamiento de Datos de Actividad Física de la Unidad de Epidemiología del MRC. El dispositivo del equipo Actiheart antes de su uso requiere una programación, la cual se realiza utilizando el computador que contiene el Actiheart software 4.0.103, se selecciona la opción de “Advanced EE” y para los propósitos de la presente investigación se selecciona la opción “Short term recordings” y se registran los datos solicitados que corresponde a la identificación, fecha de nacimiento, género, peso y talla y el modelo del

Group Cal Jap 2007 el cual establece el modelo ramificado de la frecuencia cardiaca y el movimiento que va utilizar ver Figura 8-2, y a partir de este momento el dispositivo queda listo para ser usado. El dispositivo piezoeléctrico Actiheart, solo permanece con el sujeto durante la prueba de los 5 km, posteriormente a esto el equipo es retirado del cuerpo del sujeto y los datos de Actiheart son descargados y pre tratados utilizando el software comercial proporcionados por la marca. Schneller, M. B., Pedersen, M. T., Gupta, N., Aadahl, M., & Holtermann, A. (2015).

**Figura 8-2:** Modelo ramificado de Actiheart para calcular el gasto energético.



Nota: tomado del manual Actiheart.

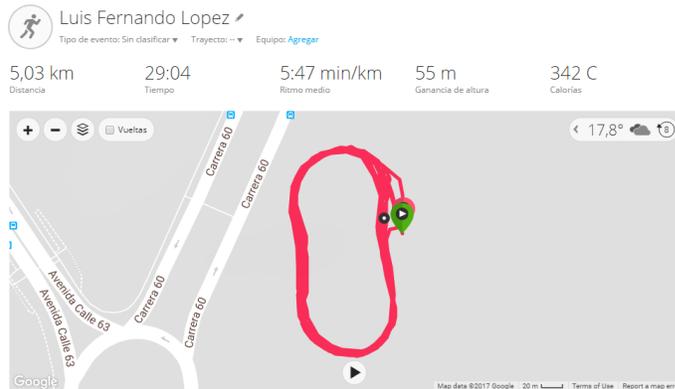
### **8.1.3.3 Medición del gasto energético con el GPS.**

La tecnología GPS se ha utilizado en atletas para cuantificar el movimiento en el entrenamiento. Sin embargo, los relojes GPS comerciales pueden ser limitados para la evaluación del movimiento breve de mayor velocidad. Algunos estudios sugieren que los relojes GPS probados proporcionan estimaciones menos confiables de gasto energético al caminar, especialmente a velocidades más altas (7 km / h). Sin embargo, los relojes GPS son portátiles, relativamente económicos, no invasivos y proporcionan distancia, velocidad y elevación con la hora y la ubicación exactas. Aparicio-Ugarriza, R., Mielgo-Ayuso, J., Benito, P. J., Pedrero-Chamizo, R., Ara, I., González-Gross, M., & EXERNET Study Group. (2015). El sistema GPS ha ganado gran espacio en la fisiología y el rendimiento deportivo dado que permite monitorizar la posición, la velocidad de desplazamiento y la altitud a la que se encuentra el deportista.

Para la medición del gasto energético con GPS, se usó el reloj Garmin Fénix 3 HR, este dispositivo de nueva tecnología incluye un monitor de frecuencia cardiaca a través de la muñeca y también es compatible con los monitores de frecuencia cardiaca ANT+, para evitar datos erróneos del monitor se sugiere evitar el uso de protección solar, crema o repelente, evitar rayar el sensor, el dispositivo debe quedar ajustado y cómodo y no debe moverse durante la carrera. El Garmin Fénix 3 HR integra el sistema GPS, el monitor de ritmo cardiaco que permiten medir el gasto energético, el dispositivo se puede programar en diferentes tipos de actividades deportivas. Para el objetivo de la presente investigación se usó el ítem de caminar y previo a cada prueba fueron incorporados los datos de cada sujeto como fueron el género, edad, altura y peso, el equipo emplea algoritmos para proporcionar datos muy precisos de posición y velocidad (especificaciones del fabricante). El Garmin Fénix 3 HR tiene un software que le permite realizar análisis y comparaciones en cada uno de los datos obtenidos. Véase Figura 8-3

- 72 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha
- 

**Figura 8-3:** Descripción de los datos obtenidos por el Garmin Fénix 3 HR



El método por el cual el Garmin Fénix 3 HR realiza los cálculos para la estimación del gasto calórico no es reportado en su manual y se consideran datos reservados del fabricante. No obstante, se pueden presumir cinco formas por las cuales este cálculo puede ser realizado como son: por un algoritmo de distancia/ peso/ altura/, un algoritmo incluyendo la frecuencia cardiaca, otra forma incluyendo adicionalmente datos de consumo de oxígeno y variabilidad de la frecuencia cardiaca, o por el cálculo del metabolismo basal. La primera forma es el cálculo más básico que pueda usar un monitor cuando no se tiene el sensor de pulso óptico por falta del valor de la frecuencia cardiaca. En la segunda opción, los fabricantes desarrollan algoritmos matemáticos propios o licencia el algoritmo para su uso de terceras compañías donde además de usar los datos vistos en el método anterior (género, edad, peso y altura), también usan los datos de frecuencia cardiaca, la tercera forma es incluir más datos que se obtienen del sensor de pulso externo como son la variabilidad de la frecuencia cardiaca y estima el equivalente metabólico que es lo que determinará de forma final el consumo de calorías, Los medidores de potencia son otra forma de calcular calorías con mayor precisión pero su uso está restringido para el ciclismo y por último existe los monitores que no solo calculan las calorías gastadas sino que también integran el metabolismo basal. Mateos, E. (2016). Uno de los problemas de estos

dispositivos es que se desconocen los datos de cómo fueron validados, su exactitud y precisión.

#### **8.1.3.4 Medición del gasto energético por desglose de actividades.**

Para el cálculo del gasto calórico por desglose de actividades, se realizó observación directa de la prueba de 5 km en la pista atlética y se controlaba el tiempo por vuelta y la distancia recorrida por el 8 carril, con esta información se calculaba la velocidad promedio para establecer con las tablas del compendio de Ainsworth, B. et. al (2011) el valor del MET (es de anotar que esta no es la práctica usual para el cálculo del gasto ya que se hace con cuestionario de recordación lo que aumenta grandemente el error). El término MET se usa en el compendio para reflejar los costos de energía de las actividades físicas. Los niveles de MET en el compendio 2011 son una traducción directa de los costos de gasto energético de la masa específica, tomando los costos de energía ( $VO_2$  ml  $kg^{-1}$   $min^{-1}$ ) y dividiéndolos por 3,5 ml  $Kg^{-1}$   $min^{-1}$ . Este nivel de MET resultante se denomina valor "MET estándar". Por lo tanto, el MET estándar es una forma abreviada de expresar los costos de energía específicos de la masa específica. El método sugiere expresar los valores de MET estándar relativos al peso corporal porque esto normaliza los datos y minimiza la variación entre individuos. Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett Jr, D. R., Tudor-Locke, C., & Leon, A. S. (2011). Los METs son cálculos promedio de las actividades y asumen que todos los individuos tienen un metabolismo basal idéntico, hecho que conlleva un error inherente al método. Las tablas fueron realizadas midiendo el  $VO_2$  directo para algunas actividades y por extrapolación o interpolación las actividades intermedias fueron estimadas. (Ainsworth, B. et al (2011))

El Compendio 2011, utiliza la misma estructura organizativa, descrita anteriormente, como en los compendios pasados, para proporcionar consistencia al ubicar actividades específicas y sus valores de MET asociados. El esquema de organización es el siguiente: código, intensidad del MET, encabezado principal donde está la descripción de la actividad

- 74 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha
- 

y la descripción de la actividad específica. Las referencias de los valores MET medidos están disponibles para su visualización y descarga desde el sitio web de Compendio. Ainsworth, B. et.al. (2011). En la Tabla 8-1, se describen los datos requeridos para la presente investigación:

**Tabla 8-1:** Valores del MET para la actividad de Caminar- Compendio 2011

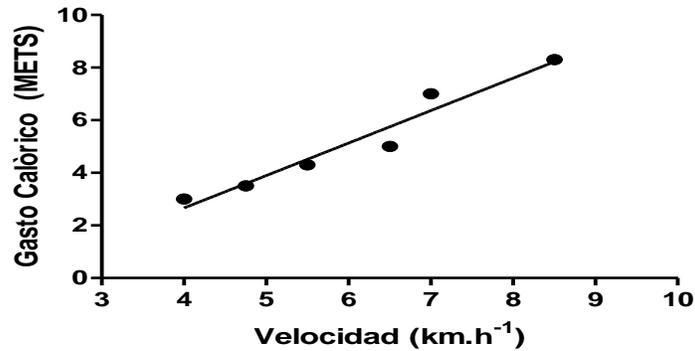
Código	Valor del MET	Actividad	Actividad Especifica
17170	3	Caminar	Caminata a 4 Km/h en llano superficie firme
17180	3.3	Caminar	Caminata a 4 Km/h en descenso
17190	3.5	Caminar	Caminata a 4,5 a 5 Km/h en llano, paso moderado superficie firme
17200	4.3	Caminar	Caminata a 5,5 Km/h en llano, paso rápido, superficie firme, caminata como ejercicio.
17210	5,3	Caminar	Caminata a 4,5 a 5,5 Km/h en ascenso pendiente de 1 a 5%.
17211	8	Caminar	Caminata a 4,5 a 5,5 Km/h en ascenso pendiente de 6 a 15%.
17220	5	Caminar	Caminata a 6,5 Km/h en llano superficie firme, paso muy rápido
17230	7	Caminar	Caminata a 7 Km/h en llano superficie firme, paso muy rápido
17231	8,3	Caminar	Caminata a 8,5 Km/h en llano superficie firme

---

Fuente: Ainsworth, B. et. al. (2011).

Sin embargo, las velocidades promedio ejecutadas por los atletas superaron los valores descritos por el compendio. Por tal motivo, utilizando los valores definidos por el compendio 2011 y detallados en la Tabla 3, se realizó una regresión lineal para obtener los valores de MET a mayores velocidades ver Figura 8-4.

**Figura 8-4:** Regresión lineal para cálculo del MET para la actividad de caminar. (R<sup>2</sup>=0.9469)



En la Tabla 8-2, se describen los valores de MET, calculados por regresión lineal y que son los requeridos para la presente investigación.

**Tabla 8-2:** Valores del MET calculados para la actividad de Caminar- Compendio 2011

Código	Valor del MET	Actividad	Actividad Específica
SC	8,7	Caminar	Caminata a 8,5 Km/h
SC	11,5	Caminar	Caminata a 11,9 Km/h
SC	11,8	Caminar	Caminata a 12,3 Km/h
SC	12	Caminar	Caminata a 12,5 Km/h
SC	12,1	Caminar	Caminata a 12,7 Km/h
SC	12,7	Caminar	Caminata a 13,4 Km/h

Nota: SC: sin código

Para los objetivos de la actual investigación se plantearon tres cálculos del gasto energético por desglose de actividades utilizando diferentes criterios como se muestra a continuación:

- *Medición del gasto energético por desglose de actividades utilizando el “MET Corregido”. (Ecuación Harris y Benedict ( MET Corregido))*

El compendio utiliza 3,5 ml Kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> como un valor aproximado para la tasa metabólica en reposo (RMR) de 1 MET. El RMR refleja alrededor del 50-75% del gasto de energía

76 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

---

diario, el cual tiene una variación según edad, peso altura, género y masa corporal magra. El compendio presenta valores de MET estándar. No corrige los niveles de MET por edad, masa corporal y género. Recientemente, se plantea la discusión y crítica sobre el uso de 1 MET  $\text{ml Kg}^{-1} \text{min}^{-1}$  (Serrato M, 2015), como valor aproximado para el RMR debido a su potencial para sobreestimar los valores medidos que son menores de 3,5  $\text{ml Kg}^{-1} \text{min}^{-1}$ . Adicionalmente, se plantea que el uso del compendio de  $\text{ml Kg}^{-1} \text{min}^{-1}$  como el valor referencia del RMR para calcular los MET subestima el verdadero costo de energía de las actividades físicas obtenidas al usar RMR medido. Por tal motivo, Byrne et al. (2005) y Kozey et al (2010), referenciado por Ainsworth, B. (2011) proponen un método apropiado para corregir los valores de MET para dar cuenta de la variación personal en el género, la masa corporal, la altura y la edad para proporcionar estimaciones más precisas del nivel físico individual. Sus autores proponen dividir el MET estándar ( $3.5 \text{ ml Kg}^{-1} \text{min}^{-1}$ ), por un RMR predicho obtenido a partir de la ecuación para hombres de Harris- Benedict (usando edad, altura, masa corporal), la subestimación y la clasificación errónea de los valores MET en el compendio se redujeron significativamente. El valor resultante se denomina valor "MET corregido". Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett Jr, D. R., Tudor-Locke, C.& Leon, A. S. (2011).

Por tal motivo, se calculó el RMR para cada uno de los participantes utilizando la ecuación de Harris Benedict (1918) (Kilocalorías/día) utilizando la siguiente fórmula:

**Hombres:**  $66,4730 + (5,0033 \times \text{Talla (cm)}) + (13,7516 \times \text{Peso (kg)}) - 6,7550 \times \text{Edad (años)}$

Para convertir kilocalorías/día obtenidas por la fórmula de Harris Benedict (1918) en:

$\text{ml / Kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$ , se utiliza las siguientes fórmulas:

$\text{kcal/ día}^{-1}/1440 = \text{kcal}/\text{min}^{-1}$

$\text{kcal}/\text{min}^{-1}/ 5 = \text{L}/\text{min}^{-1}$

$\text{L}/\text{min}^{-1} / (\text{Peso Libre de Grasa kg}) * 1000 = \text{ml / Kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$

De esta forma se puede utilizar la fórmula del Compendio de Actividades Físicas Ainsworth, B. et al. 2011, para calcular el valor del “MET Corregido”. Los MET corregidos pueden ser apropiados para proporcionar valores de MET personalizados para reflejar el costo energético de las actividades físicas del individuo y así evitar la potencial y clasificación errónea del costo de energía de la actividad física reportada a usar valores de MET estándar.

$$\text{Valor del "MET Corregido"} = \text{Valor del MET} \times \frac{3,5 \text{ ml / Kg}^{-1}/\text{min}^{-1}}{\text{Harris- Benedict RMR (ml / Kg}^{-1}/\text{min}^{-1})}$$

En general, para el cálculo del gasto calórico de la actividad específica de marcha atlética el Compendio de Actividades Físicas Ainsworth, B. et al. 2011 recomienda utilizar la ecuación:

$$\text{Kilocalorías} = \text{MET} \times \text{Peso (Kg)} \times \text{Duración (h)}$$

Sin embargo, para normalizar la ecuación se cambiará el valor del “Peso (Kg)”, por el factor de la Tasa Metabólica en Reposo (FRMR) calculada con la fórmula de Harris Benedict (1918). Como las actividades están dadas en por horas, se divide el valor de RMR entre 24 horas para obtener el FRMR lo que equivale a kcal/h. Quedando de la ecuación a utilizar de la siguiente manera:

$$\text{Kilocalorías} = \text{MET corregido} \times \text{FRMR} \times \text{Duración (h)}$$

▪ *Medición del gasto energético por desglose de actividades utilizando la fórmula de Cunningham calculando la masa libre de grasa con Yuhasz (Carter, J.L. et al., 1982) (Ecuación Cunningham (MLG Yuhasz))*

Basados en el Lineamiento de Política Publica en Ciencias del Deporte, Coldeportes 2015 en el libro de Nutrición, módulo 1, se utilizó la fórmula de Cunningham, teniendo como base la masa libre de grasa (MLG). La ecuación de Cunningham proporciona una estimación precisa de RMR al determinar las necesidades de energía de las personas altamente activas. Thommpson, J., & Manore , M.(1996) Ten Haaf, T., & Weijjs, P. J. (2014).

- 78 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha
- 

$$\text{RMR (kcal/ día)} = 370 + 21.6 * \text{MLG (kg)}$$

Para obtener el gasto energético por la actividad específica se calcula la Tasa Metabólica en Reposo (RMR) calculada con la fórmula de Cunningham. Como las actividades están dadas en por horas, se divide el valor de RMR entre 24 horas para obtener el FRMR lo que equivale a kcal/h. Ecuación a utilizar de la siguiente manera:

$$\text{Kilocalorías} = \text{MET} \times \text{FRMR} \times \text{Duración (h)}$$

▪ *Medición del gasto energético por desglose de actividades utilizando la fórmula de Cunningham calculando la masa libre de grasa por el Fraccionamiento de Masas de Cinco Componentes, Ross, W. & Kerr, D. 1991. (Ecuación Cunningham (MLG Ross & Kerr))*

De igual forma para obtener el gasto energético por la actividad específica se calculó la Tasa Metabólica en Basal (RMR) con la fórmula de Cunningham. En esta ocasión se calcula la masa libre de grasa por el método de fraccionamiento de masas de cinco componentes de Ross, W. & Kerr, D (1991), donde se suman los componentes de la masa muscular, la masa ósea, la masa residual y la masa de piel para obtener la Masa Libre de Grasa. Quedando el mismo esquema de cálculo de calorías que el método anterior:

$$\text{Kilocalorías} = \text{MET} \times \text{FRMR} \times \text{Duración (h)}$$

## 9. Recursos y costos

A continuación, en la Tabla 9-1, se plantea el valor estimado de costos y recursos: humanos, físicos, técnicos y otros requeridos para el desarrollo de la misma y en la cual además se incluyen quien facilitó y asumió cada uno de ellos.

**Tabla 9-1:** Recursos y costos

<b>Recursos y Costos</b>	<b>Recurso Propio</b>	<b>Recurso Patrocinado</b>	<b>Financiación</b>
<b>A. Recursos</b>			
<b>Técnicos</b>			
<b>Calorímetro K4B2 y componentes</b>		\$35.000.000	Coldeportes. GIT Centro de Ciencias del Deporte
<b>Garmin Fénix 3 HR</b>		\$1.373.350	Sr. Alexander Pineda
<b>Acelerómetro Triaxial y sus componentes</b>		\$ 14.935.200	Dr. Camilo Poveda. Fundación Cardio Infantil
<b>Equipos Antropométricos</b>		\$8.667.400	Coldeportes. GIT Centro de Ciencias del Deporte
<b>B. Recursos Humanos</b>			
<b>Asesores especialistas (5)</b>	\$7.500.000		
<b>Asesoría de entrenadores (2)</b>	\$3.000.000		

80 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

---

---

<b>C. Suministros e insumos</b>			
Suministros	\$400.0000		
Insumos de los equipos	\$100.000		
<b>D. Físicos</b>			
Alquiler del escenario de la pista de atletismo		\$180.000	Coldeportes
<b>E. Otros Gastos</b>			
Imprevistos	\$1.000.000		
<b>Subtotal</b>	<b>12.000.000</b>	<b>\$60.155.950</b>	
<b>Total</b>	<b>\$ 72.155.950</b>		

---

## 10. Resultados

Del total de los atletas federados de la modalidad de marcha, fueron incluidos 7 deportistas como muestra, los cuales cumplieron los criterios de inclusión, lo que corresponde al 58% del total de la población, con ellos se desarrolló el presente proyecto de investigación.

La Tabla 10-1, se describen los datos generales antropométricos en relación al peso, la talla y la edad de los 6 atletas de marcha evaluados. (Edad  $25.82 \pm 5.97$  años, talla  $171.07 \pm 3.52$  cm, peso  $62.25 \pm 3.89$  kg).

**Tabla 10-1:** Datos generales antropométricos

Variable	Peso (Kg)	Talla (cm)	Edad (años)
<b>Promedio</b>	62,25	171,07	25,82
<b>Desviación estándar</b>	3,89	3,52	5,97
<b>Máximo</b>	67,8	175,5	38,1
<b>Mínimo</b>	55	166,1	20,4

En la Tabla 10-2 se describen los datos generales de composición corporal, calculados por dos métodos diferentes: fraccionamiento de masas de 5 componentes Ross, W. & Kerr, D. (1991) y el Fraccionamiento de Masas de 2 componentes utilizando el cálculo de porcentaje de grasa de Yuhasz. Carter, J.L. Et al. 1982. Esto con el fin de calcular la MLG para aplicar la ecuación de Cunningham.

82 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

**Tabla 10-2:** Datos generales de Composición Corporal

Variable	Fraccionamiento de Masas de 5 componentes método de Ross, W. & Kerr, D (1991)					Fraccionamiento de Masas de 2 componentes Yuhasz (Carter, J.L. et al. , 1982)		
	Masa Adiposa (kg)	Masa Muscular (kg)	Masa Residual (kg)	Masa Ósea (kg)	Masa Piel (kg)	Masa Libre de Grasa FM5C (Kg)	Peso Graso (Kg)	Masa Libre de Grasa (Kg)
<b>Promedio</b>	13,9	29,7	7,4	7,5	3,5	48,1	4,7	57,5
<b>Desviación estándar</b>	1,6	2,2	0,5	0,8	0,1	3,2	0,8	3,4
<b>Máximo</b>	17,3	31,6	8,2	8,5	3,8	50,8	6,4	61,4
<b>Mínimo</b>	11,9	25,5	6,8	6	3,4	41,7	3,7	50,9

Cada uno de los sujetos portaba los diferentes dispositivos de medición en la prueba de 5 km simultáneamente se registró la información de tiempo y distancia. En la Figura 10-1 se muestra el cálculo con ecuaciones y valores obtenidos por los equipos. Debido a que el tiempo total ejecutado por cada uno de los sujetos en los 5 km fue diferente se optó por tomar como unidad de medida Kcal/min para unificar y facilitar el respectivo análisis. Los valores estimados de gasto calórico promedio obtenidos por los diferentes métodos y equipos son descritos en la Tabla 10-3.

**Tabla 10-3:** Promedio del gasto calórico estimado por diferentes métodos o equipos.

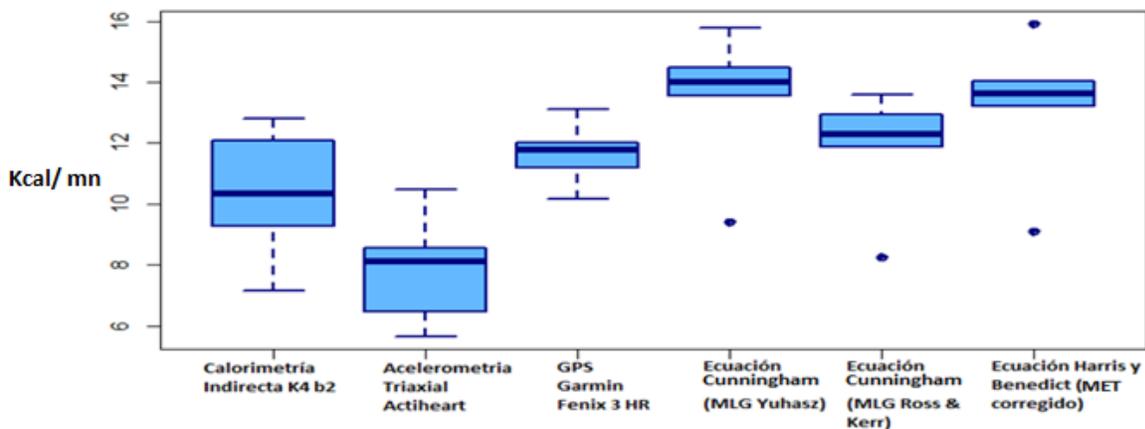
	<b>Estimación del gasto calórico</b>	<b>Promedio de medición kcal/min</b>	<b>D.S</b>
<b>Métodos</b>	Ecuación Harris_Benedict (MET corregido)	13.24	2.25
	Ecuación Cunningham (MLG Yuhasz)	13.53	2.17
	Ecuación Cunningham (MLG Ross & Kerr)	11.87	1.87
<b>Equipos</b>	Acelerometría_Triaxial	7.89	1.68
	GPS	11.67	0.97
	Calorimetría Indirecta	10.33	2.03

Se observa que el método de estimación del gasto calórico utilizando la fórmula de Harris y Benedict con el "MET Corregido" y la fórmula de Cunningham calculando la masa libre de grasa con Yuhasz (Carter, J.L. et al. 1982) tuvieron un promedio 13,2 y 13,5 kcal/min respectivamente, siendo estos los promedios más altos. El método utilizando la fórmula de Cunningham calculando la masa libre de grasa por el Fraccionamiento de Masas de Cinco Componentes, Ross,W. & Kerr,D. 1991 y el obtenido por el sistema GPS mostraron un promedio similar con 11,8 y 11,6 kcal/minuto. El equipo de Acelerometría Triaxial fue el equipo que obtuvo la medición más baja de consumo con 7,8 kcal/min. Por último, el equipo "Gold standard" que mide calorimetría indirecta evidenció una medición 10,3 kcal/min

En la Figura 10-1, podemos observar que los datos obtenidos con los equipos de Acelerometría Triaxial y GPS tienen una distribución similar. El método para la estimación del gasto calórico de los 5 km marcha la fórmula de Harris y Benedict con el "MET Corregido" y la fórmula de Cunningham calculando la masa libre de grasa con Yuhasz (Carter, J.L. et al. 1982) arrojaron un mayor consumo de calorías por minuto y tienen una dispersión más grande.

En la Figura 10-1, podemos observar que los datos obtenidos con los equipos de Acelerometría Triaxial y GPS tienen una distribución similar. Los métodos para la estimación del gasto calórico de los 5 km marcha, se encontró que la fórmula de Harris y Benedict con el “MET Corregido” y la fórmula de Cunningham calculando la masa libre de grasa con Yuhasz (Carter, J.L. et al. 1982) arrojaron un mayor consumo de calorías por minuto y tienen una dispersión más grande.

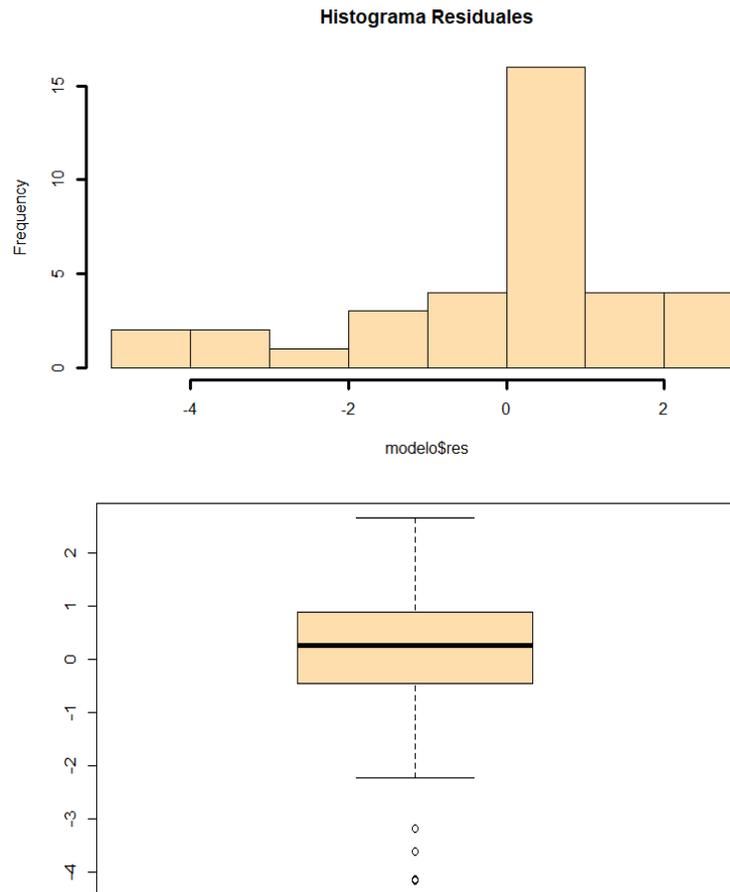
**Figura 10-1.** Distribución del gasto calórico por diferentes métodos.



A continuación, basados en las inferencias que se pueden hacer sobre los datos tomados, se aplicaron los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia a la muestra seleccionada a conveniencia para definir el método de análisis a utilizar. Se utilizó el test de Shapiro –wilk véase Figura 10-2, se encontró que los residuales de la población no se ajusta a una distribución normal por el P valor 0.006292 que descarta la hipótesis nula de normalidad con una confianza del 95% dado que los datos no provienen de una distribución normal.

**Figura 10-2:** Supuesto de normalidad Test de Shapiro –Wilk para los datos obtenidos

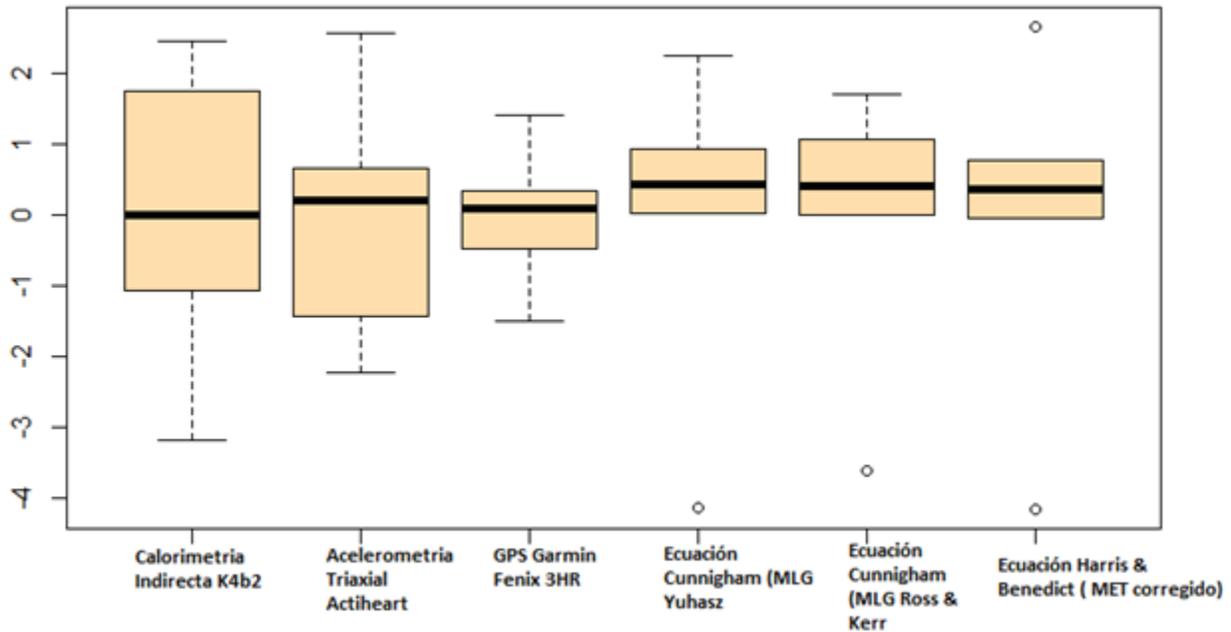
p-value = 0.006292



Asimetría negativa, concentración de casos en los valores altos y cola alargada hacia los valores inferiores de la distribución. Supuesto de varianza constante aplicando la prueba de Barlett: por el principio de homocedasticidad de varianza constante de los residuales que podría afectar las inferencias sobre las diferencias en las mediciones de los métodos, encontramos que los residuales tienen varianza constante con una confianza del 95%. Véase Figura 10-3

**Figura 10-3.** Supuesto de varianza test de Bartlett's para los datos obtenidos

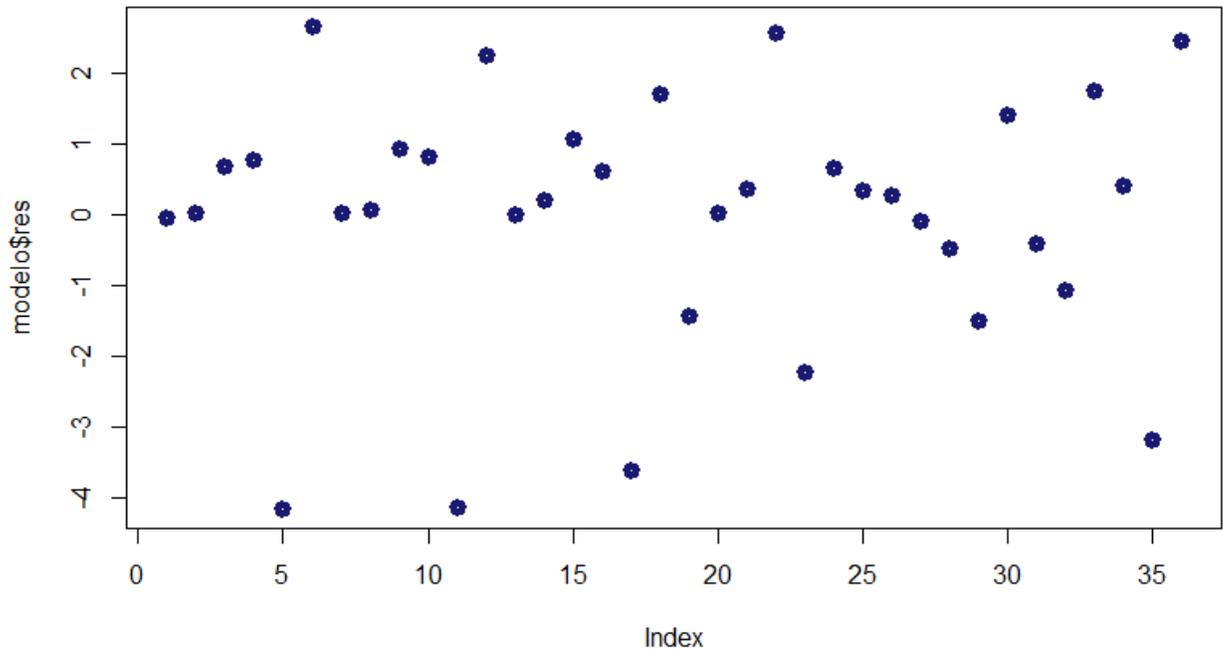
p-value =0.6287



Para el supuesto de independencia aplicando el test Box-Ljung Figura 10-4 el total de las observaciones residuales no son independientes con una confianza del 95%.

**Figura 10-4:** Supuesto de Independencia test de Box-Ljung de los datos obtenidos

p-value = 4.24e-06



Los datos solo cumplen 1 de los 3 supuestos, por ser este un estudio de línea base y no tener información auxiliar de estudios previos que permitiera calcular un tamaño de muestra para reducir el error en las conclusiones, se tomarán los resultados obtenidos para calcular un tamaño de muestra adecuado para una próxima aplicación.

Se aplicó el modelo estadístico planteado para encontrar si existen diferencias en la medición que hace cada equipo para calcular el gasto calórico, se usó el diseño de experimentos con un solo factor: el análisis de varianza para la estimación de efectos en el modelo para cada equipo. Véase Tabla 10-4.

- 88 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

**Tabla 10-4:** Estimación de efectos en el modelo para cada equipo

<b>Estimación del gasto calórico</b>	<b>Promedio de medición kcal/min</b>	<b>t<sub>i</sub></b>
Ecuación Harris_Benedict (MET corregido)	13,24	1,82
Ecuación Cunningham (MLG Yuhasz)	13,53	2,11
Ecuación Cunningham (MLG Ross & Kerr)	11,87	0,44
Acelerometria_Triaxial	7,89	-3,53
GPS	11,67	0,245
Calorimetría Indirecta	10,33	-1,09

t<sub>i</sub> efecto de la medición de cada uno de los equipos usados para medir el consumo

A continuación, se presenta la hipótesis a contrastar para realizar el análisis de varianza

Hipótesis a contrastar:

H<sub>0</sub> :  $\mu_i = \mu_j$  ( No existen diferencias en la medición entre los métodos)

vs

H<sub>1</sub> :  $\mu_i \neq \mu_j$  ( Existen diferencias en la medición entre los métodos)

Aplicación del modelo:

En la Tabla 10-5, se muestra el análisis ANOVA de varianza, para el modelo planteado

**Tabla 10-5:** Análisis de varianza para el modelo planteado

<b>Estimación del gasto calórico</b>	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
Método de medición	5	130.28	26.0556	7.3433	0.001348***
Residuales	30	106.45	3.5482		

Signif. P : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Donde: Df: grados de libertad, Sum Sq: suma de cuadros, Mean: Sq: Cuadrados medios (Sum Sq/ Df)

F-value: Valor del estadístico, Pr ( <F): P valor.

El resultado del análisis de varianza del modelo aplicado basado en el estadístico Fisher **Fvalue** = 7.3433 y con un p-value = 0.0001348 dice que con un 95% de confianza existen diferencias en la medición por lo menos para un par de métodos.

Asumiendo que la calorimetría indirecta es el “*Gold Estándar*”, para la evaluación del gasto calórico, se desea probar las hipótesis para evidenciar las diferencias en la medición con cada uno de los métodos, aplicando el test de Dunnet, véase Tabla 10-6

Ho:  $\mu_i = \mu_a$  (No existen diferencias en la medición con el método contrastado)

Vs

H1:  $\mu_i \neq \mu_a \forall i$  (Existen diferencias en la medición con el método contrastado).

**Tabla 10-6:** Concordancia entre los diferentes métodos para evaluar gasto calórico comparado con la calorimetría Indirecta

Estimación del gasto calórico	Estimate Std.	Error	t value	Pr(> t )
Ecuación Harris_Benedict (MET corregido) vs. Calorimetría Indirecta	2.915	1.088	2.680	0.0473*
Ecuación Cunningham (MLG Yuhasz) vs. Calorimetría Indirecta	3.207	1.088	2.949	0.0255*
Ecuación Cunningham (MLG Ross & Kerr) vs. Calorimetría Indirecta	1.512	1.088	1.418	0.4894
Acelerometría_Triaxial vs. Calorimetría Indirecta	-2.438	1.088	-2.242	0.1209
GPS vs. Calorimetría Indirecta	1.339	1.088	1.231	0.6163

Signif. P : 0 (\*\*\*\*) 0.001 (\*\*\*) 0.01 (\*\*) 0.05 (\*) 0.1 (.) 1

Donde: Estimate Std: Estimación estándar, Error: error, t value: Valor del estadístico, Pr(>|t|): P valor  
F-value: Valor del estadístico, Pr (<F): P valor.

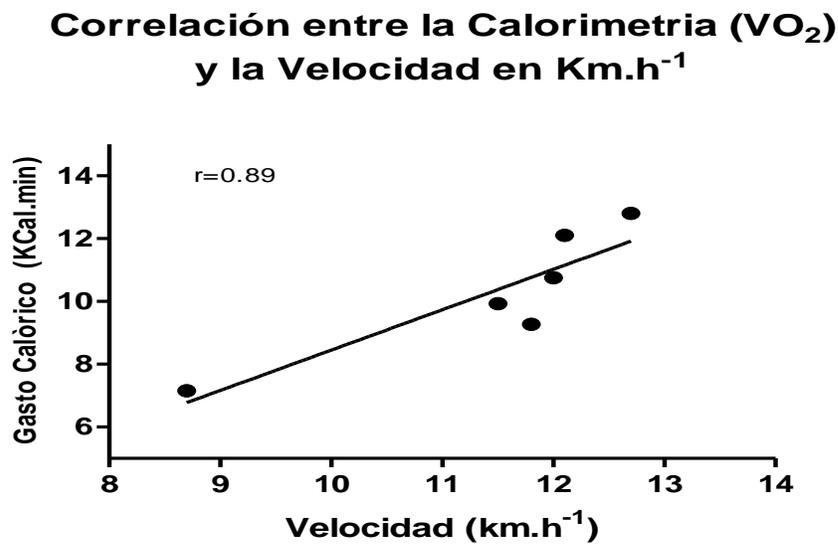
Para el test de Dunnett utilizado para la comparación de medias se obtuvieron los siguientes resultados:

- Calorimetría Indirecta vs Acelerometría Triaxial: En promedio la Acelerometría Triaxial refleja un gasto calórico menor en 2,5 kcal/min cuya diferencia no es estadísticamente significativa, un p-valor de  $0.1209 > 0.05$ . Por lo tanto, no hay rechazo de la hipótesis nula con una confianza del 95%. Por lo tanto, son equipos intercambiables para la medición del gasto calórico en la actividad de marcha atlética.
- Calorimetría Indirecta vs GPS: En promedio el equipo GPS refleja un gasto calórico mayor en 1,3 kcal/min cuya diferencia no es estadísticamente significativa, un p-valor de  $0.6163 > 0.05$ . Por lo tanto, no hay rechazo de la hipótesis nula con una confianza del 95%. Por lo tanto, son equipos intercambiables para la medición del gasto calórico en la actividad de marcha atlética.
- Calorimetría Indirecta vs Ecuación de Cunningham ( MLG Ross & Kerr ) : En promedio el método para la determinación del gasto energético usando la ecuación de Cunningham calculando la MLG FM5C Ross & Kerr es mayor en 1,5 kcal/min cuya diferencia no es estadísticamente significativa, un p-valor de  $0.4894 > 0.05$ . Por lo tanto, no hay rechazo de la hipótesis nula con una confianza del 95%. Por lo tanto, son equipos intercambiables para la medición del gasto calórico en la actividad de marcha atlética.
- Calorimetría Indirecta vs Ecuación de Cunningham (MLG Yuhasz): El método de la ecuación de Cunningham calculando la MLG Yuhasz calcula un gasto calórico mayor en 3,2 kcal/min cuya diferencia es estadísticamente significativa, un p-valor de  $0.0255 < 0.05$ . Por lo tanto, rechazo de la hipótesis nula con una confianza del 95% y concluyo que existen diferencias en la medición entre la Calorimetría Indirecta y el método utilizado para calcular el gasto calórico en la actividad de marcha atlética por el método GE Cunningham (Yuhasz). Por lo tanto, no son equipos intercambiables y su uso en alto rendimiento debe tener en cuenta este error.
- Calorimetría Indirecta vs Ecuación Harris y Benedict (MET Corregido): El método usando la ecuación Harris y Benedict con el “MET Corregido” calcula un gasto calórico mayor en 2,9 kcal/min cuya diferencia es estadísticamente significativa, un p-valor de  $0.0073 < 0.05$ . Por lo tanto, rechazo la hipótesis nula con una confianza del 95% y concluyo

que existen diferencias en la medición entre la calorimetría indirecta y el método utilizado para calcular el gasto calórico en la actividad de marcha atlética, por lo tanto, no son equipos intercambiables y su uso en alto rendimiento debe tener en cuenta este error.

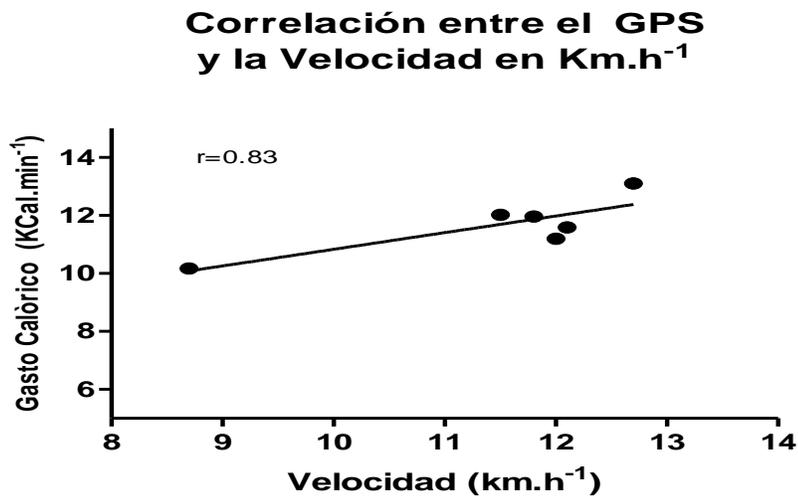
Adicionalmente el análisis de Correlación de los métodos con la carga externa determinada por la velocidad real de los marchistas durante la prueba, como forma de medir la validez externa de los diferentes métodos. La correlación de Spearman del “*Gold Estándar*” calorimetría indirecta fue muy buena siendo 0,89, mostrando que la calorimetría es un método adecuado para realizar las comparaciones. Figura 10-5.

**Figura 10-5:** Correlación entre la Calorimetría indirecta ( $VO_2$ ) y la velocidad en  $km/h^{-1}$ .



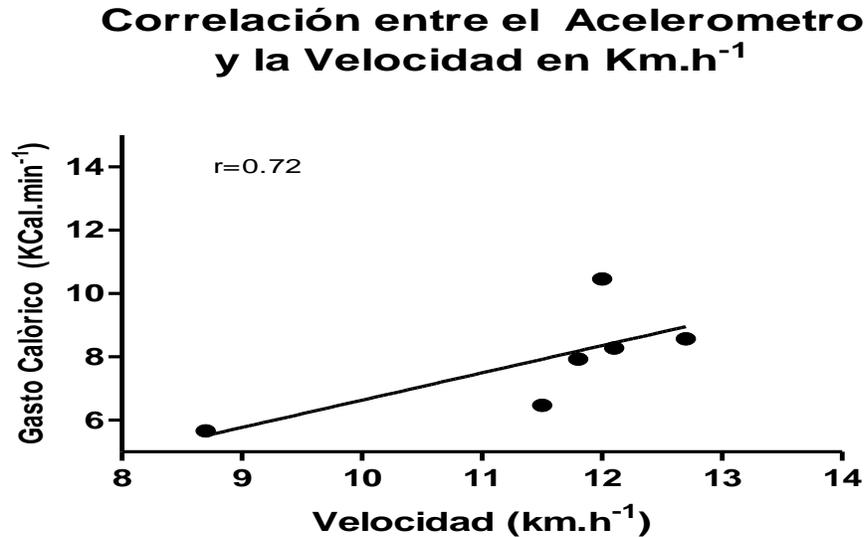
La correlación para el GPS es de 0.83, siendo muy buena ya que la precisión en la medición de la velocidad es alta. Figura 10-6.

**Figura 10-6:** Correlación entre GPS y la velocidad en  $\text{km/h}^{-1}$ .



La correlación con la acelerometría fue de 0.72, siendo aceptable para un método que no mide directamente la velocidad de desplazamiento, sino que la calcula indirectamente mediante los algoritmos de fabricante. Este método menos preciso, en alto rendimiento puede llevar a errores importantes de estimación de los parámetros físicos. Figura 10-7

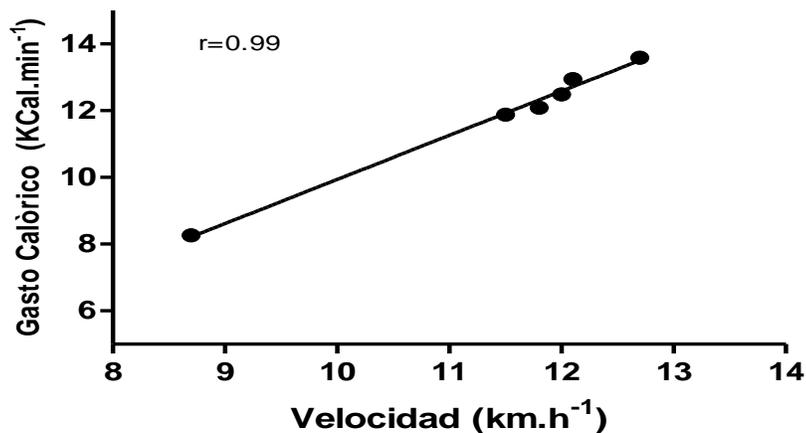
**Figura 10-7.** Correlación entre el acelerómetro Actiheart y la velocidad en  $\text{km/h}^{-1}$ .



Las correlaciones logradas por los métodos de cálculo indirecto del gasto calórico fueron extremadamente altas para todos los métodos. Se debe tener en cuenta que en el cálculo de este gasto se emplea la velocidad medida, que es la misma variable contra la que se hace la correlación. Por esta razón los valores tan elevados. Queda claro que para realizar el cálculo indirecto del gasto energético de las actividades en los deportes solamente se puede realizar un ajuste preciso cuando se conocen exactamente los valores de la carga realizada en términos de distancias y tiempos. En las Figuras 10-8, 10-9 y 10-10.

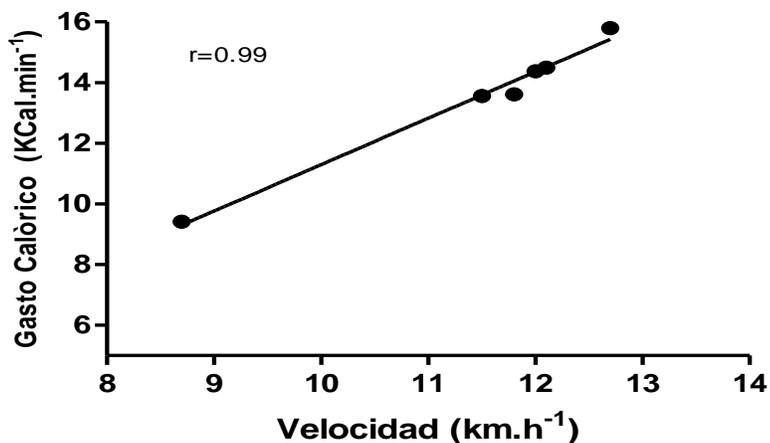
**Figura 10-8:** Correlación entre el método usando MLG con Ross Kerr y la velocidad en  $\text{km/h}^{-1}$ .

**Correlación entre el Metodo Usando MLG con Ross Kerr y la Velocidad en  $\text{Km.h}^{-1}$**



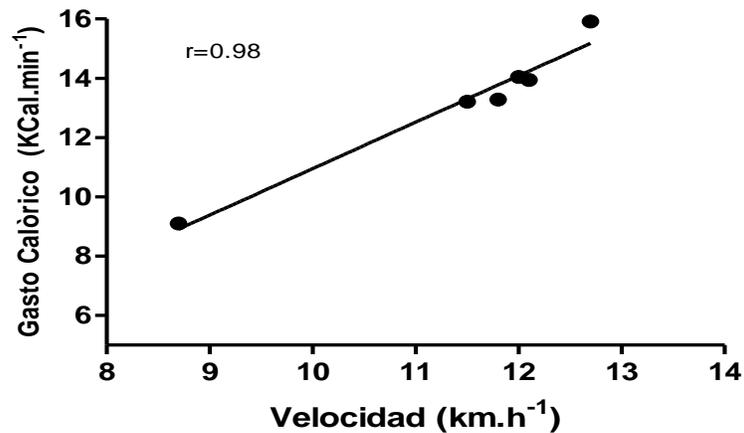
**Figura 10-9.** Correlación entre el método usando MLG con Yuhasz y la velocidad en  $\text{km.h}^{-1}$ .

**Correlación entre el Metodo Usando MLG con Yuhasz y la Velocidad en  $\text{Km.h}^{-1}$**



**Figura 10-10.** Correlación entre el método usando MLG con Harris & Benedict y la velocidad en  $\text{km. h}^{-1}$ .

**Correlación entre el Metodo Usando MLG  
con Harris & Benedict y la Velocidad en  $\text{Km.h}^{-1}$**



Por último, para mejorar el tamaño de la muestra en estudios posteriores y partiendo del hecho que este sería investigación de línea de base para futuras investigaciones relacionadas, se plantea el siguiente análisis estadístico para mejorar la potencia de la muestra, basado en la potencia de la prueba para reducir el error de tipo 2 en el contraste de hipótesis a nivel de confianza del 95%, que en nuestro caso sería asegurar que no existen diferencia en la medición que hacen los equipos o métodos en la medición del gasto calórico comparados con el “*Gold Estándar*”.

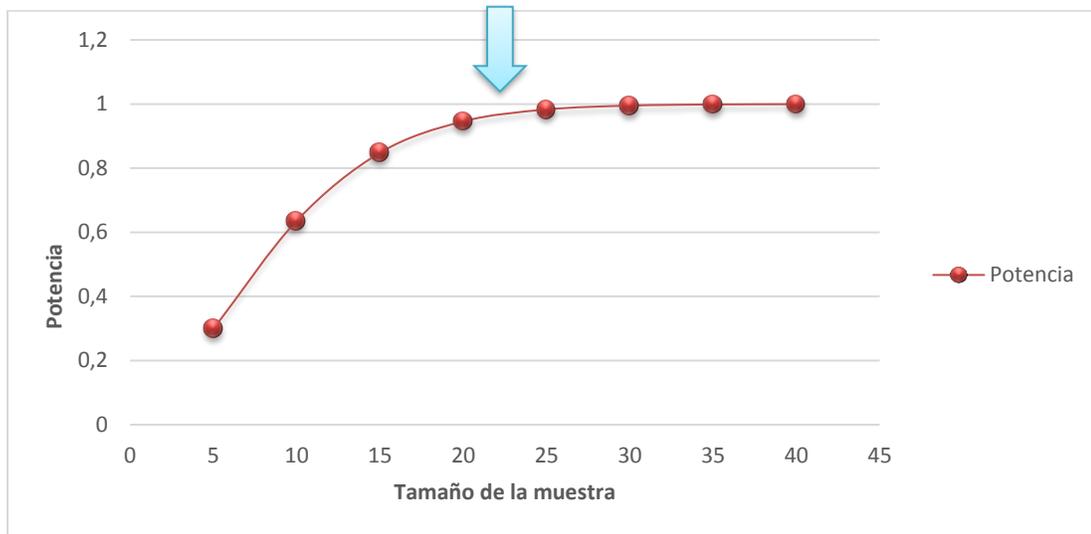
La Tabla 10-7. Muestra el comportamiento de la potencia de nuestra prueba con relación al tamaño de la muestra: La potencia de la prueba en un valor entre 0 y 1, donde entre más cercano a uno mayor potencia de la prueba que reduce los errores al hacer inferencias en el estudio.

- 96 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha
- 

**Tabla 10-7:** Comportamiento de la potencia de la muestra

<b>n</b>	<b>Potencia</b>
<b>5</b>	[1] 0.2987925
<b>10</b>	[1] 0.6358768
<b>15</b>	[1] 0.8481826
<b>20</b>	[1] 0.9460637
<b>25</b>	[1] 0.9830386
<b>30</b>	[1] 0.995157
<b>35</b>	[1] 0.9987219
<b>40</b>	[1] 0.9996842

Como se observa en la tabla 3, después de un tamaño de muestra de 20 sujetos el aumento de la potencia de la prueba no es relevante por lo que un tamaño de muestra alrededor de los 20 sujetos sería suficiente para reducir cualquier error en las conclusiones obtenidas en una futura aplicación. Véase Figura 10-11:

**Figura 10-11:** Potencia de la prueba para definir tamaño de la muestra



# 11. Conclusiones y recomendaciones

## 11.1 Conclusiones.

Se determinó el gasto calórico durante un entrenamiento de 5 km en pista, en los atletas federados de la modalidad de marcha, que cumplieron los criterios de inclusión, mediante la calorimetría indirecta, por el GPS, la acelerometría triaxial y la aplicación de tres ecuaciones propuestas dentro de la metodología para el cálculo del gasto calórico específico de la actividad. Donde la acelerometría registró el valor promedio menor de 7,89 kcal/min, seguido por la calorimetría indirecta con 10,33 kcal/min, el GPS y la ecuación de para medición del gasto energético de Cunningham (Ross & Kerr) 11,6 y 11,8 kcal/min respectivamente y por último, la ecuación de para medición del gasto energético de Cunningham (Yuhasz) y la ecuación de Harris y Benedict (MET corregido) con 13,53 y 13,24 kcal/min.

Basados en que la Calorimetría Indirecta es el “*Gold Estándar*”, se podría sugerir como valor para el cálculo de calorías para la actividad específica de Atletismo Marcha de 10,33 Kcal/mn a una velocidad promedio de 11,5 km/h.

El estudio demostró que los métodos para el cálculo del gasto calórico en 5 km de marcha atlética estimado por acelerometría triaxial utilizando el equipo actiheart, el GPS fénix 3 HR y el método por desglose de actividades utilizando la ecuación de Cunningham calculando la MLG por el fraccionamiento de masa de cinco componentes Ross,W. & Kerr,D. 1991, están acordes en la misma observación de la estimación del gasto calórico , demostrando su consistencia lo que hacen que estos sean intercambiables con la calorimetría Indirecta. Por el contrario, la estimación del gasto calórico por la Ecuación de

Cunningham calculando la MLG Yuhasz y la estimación de la ecuación de Harris y Benedict con el “MET Corregido no demostraron esta concordancia por consistencia estadística.

La principal fuerza de este estudio fue la comparación simultánea de equipos para la medición del gasto calórico con dos equipos de tecnología emergente y tres métodos de campo por desglose de actividades comparándolo con la *calorimetría indirecta* y generar una línea de base para investigaciones futuras en rendimiento deportivo para la actividad de atletismo marcha.

La calorimetría indirecta sigue siendo el “*Gold Standard*” dado que mide el esfuerzo real de la carga interna que se correlaciona con la carga externa. Los coeficientes de correlación de los métodos de desglose de actividades tienen muy buena correlación, esto se debe a que para el cálculo de calorías se utiliza el valor de la velocidad y su relación es casi lineal. Adicionalmente, una medición directa de las actividades en campo da cuenta de la confiabilidad de la información recolectada ya que mide con precisión la velocidad y la distancia.

## 11.2 Recomendaciones

- Se puede mejorar la validar la precisión de la investigación aumentando el tamaño de la muestra, como se plantea en este estudio en la parte de resultados. Sin embargo, la consistencia de los datos son razones suficientes para sustentar las conclusiones.
- Incluir otras actividades deportivas de la modalidad del atletismo e involucrar tanto hombres como mujeres con deportistas de alto rendimiento.

## 12. Discusión

No se encontraron otros estudios a nivel regional ni tampoco a nivel nacional orientados a validar, la correlación y concordancia para la determinación del gasto calórico por diferentes métodos y equipos contra el “*Gold Estándar*” el deporte de atletismo marcha. A nivel internacional la mayoría de estudios están enfocados a la medición de actividad física en niños y adultos o prevención de la obesidad, entre otros; Por lo tanto, no es posible contrastar los resultados con otros estudios en marcha atlética.

Es importante resaltar que la tecnología para la medición del gasto por calorimetría, la acelerometría y el GPS son confiables de acuerdo a los hallazgos, pero de alto costo y se requieren alternativas igual de eficientes, pero más económicas, confiables, válidas y asequibles para la determinación del gasto en actividades específicas en la práctica diaria. De acuerdo, a los resultados obtenidos en la presente investigación y validado en atletismo marcha la ecuación que reúne las características previamente descritas para la determinación del gasto en atletismo marcha es la fórmula de Cunningham utilizando el cálculo de la MLG con la metodología de Ross & Kerr, dado que demostró mejor concordancia con el método de calorimetría indirecta.

Thommpson, J., & Manore , M.(1996) han podido evidenciar en su estudio, validado en 37 atletas de resistencia entrenados (24 hombres y 13 mujeres) que la a ecuación de Cunningham proporciona una estimación precisa de RMR al determinar las necesidades energéticas de las personas altamente activas. De Lorenzo, A., Bertini, I., Candeloro, N., Piccinelli, R.,Innocente, I., Brancati, A., (1999) , evaluó 51 atletas masculinos de Wáter Polo, Judo y Karate que ejercitaban al menos 3 horas / día; y encontraron que la ecuación de Cunningham sobreestimó (+59 kcal / d) la RMR real. Sin embargo es importante

considerar que de acuerdo a los estudios previos para decidir la fórmula predictiva a considerar para aplicar a la población de estudio, debía ajustarse a la muestra evaluada que en este caso sería la de Cunningham (1980) validada por Thommpson, J., & Manore, M. (1996) en atletas de resistencia.

El otro punto a considerar en la ecuación de Cunningham, es cuál sería el método para el cálculo de la MLG. Sin contar con referencias previas sobre el cálculo de esta variable, se propuso evaluar dos métodos: uno el método de fraccionamiento de masas de cinco componentes propuesto por Debora Kerr (1988), la cual es una estrategia superadora de los modelos de fraccionamiento conocidos y la otra Yuhasz (1974) modificada por Carter, et. al. 1982, que son extensamente utilizadas para atletas. Encontrando que la ecuación de Cunningham aplicando la fórmula para la estimación de la MLG por el método de Ross & Kerr, presenta mejor correlación estadística comparada con el método de calorimetría indirecta.

Es importante tener en cuenta que los desglose de actividades son más exactos si se realizan por observación directa o por protocolos estandarizados que minimicen los errores de recordación manifestados por el atleta en consulta y que fueron reportados por Sherphard, J. y Yukitoshi A., 2012, Sin embargo, esta actividad en la práctica es difícil de realizar, dado que la actividad deportiva en rendimiento deportivo es una actividad cambiante dependiente del macrociclo de entrenamiento y la adaptación a las cargas a nivel individual.

Es cuestionable, el tamaño de la muestra en la presente investigación, pero la consistencia de los datos nos garantiza la validez de los datos obtenidos. Sin embargo, la dificultad más evidente al seleccionar el tamaño de la muestra en deporte es encontrar la cantidad de atletas que sea significativa y que sean realmente de alto rendimiento. Los atletas de alto rendimiento son pocos y principalmente en modalidades deportivas.

Es importante considerar que como se ha descrito en estudios previos específicos a la muestra que la validación solo aplica a los métodos y/o equipos utilizados en la presente investigación con la premisa de mejorar la potencia de los datos para co-validar los resultados aquí obtenidos.



## 13. Anexos

### A. Anexo: Consentimiento Informado

**Proyecto: VALIDEZ, CORRELACIÓN Y CONCORDANCIA ENTRE LA CALORIMETRÍA INDIRECTA, GPS Y LA ACELEROMETRÍA TRIAXIAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL GASTO CALÓRICO EN ENTRENAMIENTO DE RESISTENCIA EN LOS ATLETAS DE LA MODALIDAD MARCHA**

Investigadores:

ND. Astrid Elena Quinchia castro

**Nutricionista**

**Universidad Nacional de Colombia**

Dr. Mauricio Serrato Roa

**Especialista en Medicina del Deporte**

**Coordinador Posgrado Medicina del Deporte**

Yo:

\_\_\_\_\_  
Identificado con CC: : \_\_\_\_\_ de: \_\_\_\_\_.

Declaro:

Que he acudido a la reunión realizada el día ( ) mes ( ) año ( ), con la nutricionista Astrid Elena Quinchia Castro y el Doctor Mauricio Serrato, donde he sido informado de:

106 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

---

### **Objetivo General del Estudio:**

Establecer la validez, correlación y concordancia entre la calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global (GPS), la acelerometría triaxial y el desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en los atletas en la modalidad de marcha.

### **Justificación de la Investigación:**

Es importante, establecer si existe un método no calorimétrico que pueda estimar con buena validez, consistencia y conformidad el método indirecto (“*Gold standard*”) con los métodos de campo, para estimar el gasto calórico, teniendo en cuenta las condiciones reales de entrenamiento como son la planimetría, cambios de intensidades y las condiciones medioambientales que pudieran dar cuenta de manera más precisa de las demandas energéticas que requieren estos atletas del componente más variable en la determinación del Gasto energético total como es el entrenamiento para cubrir de forma correcta sus necesidades de ingesta de calorías y nutrientes en el día.

**Diseño de la investigación:** Observacional, Descriptivo Transversal

### **Procedimientos:**

Se realizarán pruebas preliminares en consultorio que consisten en: Medición de la Potencia aeróbica en una prueba de carga incremental (si se requiere), evaluación del estado de salud y evaluación antropométrica. En campo se realizarán una prueba para la medición del gasto energético durante un entrenamiento extensivo de 5 km donde se portan los tres equipos de medición de forma simultánea el K4 B2, GPS y Acelerómetro Triaxial.

### **Duración de los Procedimiento:**

Los deportistas asistirán al Centro de Ciencias del Deporte de Coldeportes para las pruebas preliminares en un día establecido el cual tendrá una duración de 2 horas por

atleta. En la prueba de campo la duración es variable, dependerá de la ejecución y desempeño individual y de mantener la intensidad establecida para cada uno de los participantes.

**Riesgos de los procedimientos:**

El riesgo es mínimo de acuerdo a la Resolución 8430 de 1993, Título II, artículo 11, dado que los datos se obtendrán de una práctica de entrenamiento normal de su plan de entrenamiento. Es posible que durante las pruebas de campo y en la medición de la potencia aeróbica se puede presentar dolor torácico, desmayo o colapso, pero poco probable en atletas entrenados. Rara vez, se presenta un ataque cardíaco o un ritmo cardíaco irregular peligroso.

**Beneficios:**

El beneficio es directo dado que al realizar las correlaciones y concordancia con los equipos que rutinariamente usan para su entrenamiento podrá saber si realmente estos equipos están difiriendo bien la medición de su carga interna para la determinación del gasto calórico en entrenamiento.

**Otras opciones:** El atleta es libre de decidir si participar o no en el estudio y de retirarse en cualquier momento de la investigación sin tener repercusión alguna y en el caso que presentara efectos adversos para la salud durante la realización de las pruebas, recibirá la atención médica requerida.

**Privacidad del estudio:** Los resultados del estudio serán publicados, pero su nombre o identidad no será revelada y su información se mantendrá privada. Con el fin de proteger su información, el investigador (Astrid Elena Quinchia Castro) mantendrá protegido su registro. Sólo los miembros del equipo de investigación tendrán acceso a la información. Y en ningún caso, se incluirán nombres, direcciones u otra información identificativa.

Para mayor información podrá comunicarse con el investigador principal del proyecto: Astrid Elena Quinchia Castro en la Facultad de Medicina, Maestría de Fisioterapia del Deporte y la Actividad Física de la Universidad Nacional de Colombia, ubicada en la carrera 45 No.26 – 85. Teléfono: 3165000 Ext. 15170 celular: 3132099785.

**Consentimiento Voluntario:**

Cualquier pregunta que tenga con relación al estudio o su participación, antes o después de su consentimiento, será contestada por cualquiera de los miembros del equipo de investigación.

108 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

---

Este formulario explica la naturaleza, demandas, beneficios y cualquier riesgo del proyecto. Su participación es voluntaria y puede elegir no participar sin ninguna sanción o pérdida de beneficio.

Firmando este formulario de consentimiento, no está renunciando a sus derechos legales de reclamación, se le entregará una copia de este formulario.

Su firma más abajo indica que consiente en participar en el estudio citado más arriba.

---

Firma de la persona participante

Nombre Impreso

Fecha

**Declaración del Investigador:**

"Certifico que he explicado al individuo citado más arriba la naturaleza y propósito, los beneficios potenciales y posibles riesgos asociados con la participación en este estudio de investigación, he contestado todas las preguntas que han surgido, y he sido testigo de la firma. He proporcionado (ofrecido) al sujeto/participante una copia de este documento firmado".

---

Firma del Investigador

---

Nombre del testigo 1

Firma del testigo 1

C.C. No.

Teléfono.

---

Nombre del testigo 2

Firma del testigo 2

C.C. No.

Teléfono.

Fecha: \_\_\_\_\_

## B. Anexo: Formato de evaluación antropométrica



### CURSO DE ANTROPOMETRÍA ISAK NIVEL 2

#### PROFORMA

Apellido:  Nombre:  Sexo:

Fecha Nac:  Fecha eval.:

Evaluador:  Altura banco:  cm.

	Básicas	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Media/Mediana
1	Masa Corporal®				
2	Estatura®				
3	Talla sentado				
4	Envergadura				
<b>Panículos</b>					
5	Tríceps®				
6	Subescapular®				
7	Bíceps®				
8	Cresta ilíaca®				
9	Supraespinal®				
10	Abdominal®				
11	Muslo Frontal® (a)(b)(c)				
12	Pantorrilla Medial®				
<b>Perímetros</b>					
13	Cefálica				
14	Cuello				
15	Brazo (relajado)®				
16	Brazo (flex. & en tensión)®				
17	Antebrazo (máximo)				
18	Muñeca (estiloideo distal)				
19	Tórax (mesoesternal)				
20	Cintura (mínima)®				
21	Caderas (máximo)®				
22	Muslo (1 cm glúteo)				
23	Muslo (trochant. lat. medio)				
24	Pantorrilla (máximo)®				
25	Tobillo (mínimo)				
<b>Longitudes</b>					
26	Acromiale-radiale				
27	Radiale-styloid				
28	Midstyloid-dactyloid				
29	Altura Iliospinal				
30	Altura Trochant. anterior				
31	Trochant. laterale				
32	Altura Tibiale laterale				
33	Tib. med. sphyron tibiale				
<b>Diámetros</b>					
34	Biacromial				
35	Bilioxital				
36	Longitud Pie				
37	Tórax transverso				
38	Tórax A-P				
39	Humeral®				
40	Femoral®				

® Includido En el perfil restringido Muslo frontal®. Indicar el método utilizado.

Fuente: Sociedad Internacional para Avances en la Cine antropometría. ISAK. Proforma.

110 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

## C. Anexo: Formato de recolección de información desglose de actividades por observación directa

ANEXO C										
Proyecto de Investigación										
VALIDEZ, CORRELACIÓN Y CONCORDANCIA ENTRE CALORIMETRÍA INDIRECTA Y EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL, ACCELEROMETRÍA TRIAXIAL Y DESGLOSE DE ACTIVIDADES PARA LA DETERMINACIÓN DEL GASTO CALÓRICO EN ENTRENAMIENTO DE RESISTENCIA EN ATLETAS DE LA MODALIDAD MARCHA										
DESGLOSE DE ACTIVIDADES POR OBSERVACIÓN DIRECTA TEST EXTENSIVO DE 5 KMS MARCHA EN PISTA										
Fecha: 29/6/2016		Temperatura Inicial (-C):			Hora de inicio:		Hora de Finalización:			
		Humedad Inicial (%):			Tasa Metabolica Basal (TMB) Cunningham:					
Atleta	Fecha de Nacimiento	Edad (años)	Talla (cm)	Peso (kg)	Masa Adiposa (kg)	Masa Muscular (kg)	MLG (Yuhasz) (kg)	MLG (Ross & Kerr) (kg)		
Vueltas	Lactato (mmol/L)	Distancia (m)	Distancia Acumulada (m)	Tiempo (min-s-ms)	Tiempo Acumulado (min-s-ms)	FTMB	Tiempo (h)	Intensidad Km/h	MET	GET
Inicio										
1		453	453	2.37.30		0,0				
2		453	906	2.34.80		58,0				
3		453	1359	2.28.59		58,0				
4		453	1812	2.28.75		58,0				
5		453	2265			58,0				
6		453	2718	2.27.82		58,0				
7		453	3171	2.33.61		58,0				
8		453	3624	2.33.27		58,0				
9		453	4077	2.32.49		58,0				
10		453	4530	2.31.91		58,0				
11		453	4983	2.30.23		58,0				
Pedazo		17	5000	59.93		58,0				
Final										
<b>TOTAL</b>			<b>5000</b>							

Observación: Se marcha por el carril 8 de la pista atletica.

Elaborado por: ND. Astrid Quinchia

**Observación:** la información de los acelerómetros / GPS se programarán para que se mida automáticamente y guarde los registros requeridos en las distancias establecidas y se sustraerá la información al final de la prueba.





## 14. Bibliografía

Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Leon, A. S., Jacobs Jr, D. R., Montoye, H. J., Sallis, J. F., & Paffenbarger Jr, R. S. (1993). Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Medicine and science in sports and exercise*, 25(1), 71-80.

Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett Jr, D. R., Tudor-Locke, C., ... & Leon, A. S. (2011). 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(8), 1575-1581.

Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett Jr DR, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS. The Compendium of Physical Activities Tracking Guide. Healthy Lifestyles Research Center, College of Nursing & Health Innovation, Arizona State University. Retrieved [date] from the World Wide Web. <https://sites.google.com/site/compendiumofphysicalactivities/>

Alhassan, S., Lyden, K., Howe, C., Keadle, S. K., Nwaokeme, O., & Freedson, P. S. (2012). Accuracy of accelerometer regression models in predicting energy expenditure and METs in children and youth. *Pediatric exercise science*, 24(4), 519.

Aparicio-Ugarriza, R., Mielgo-Ayuso, J., Benito, P. J., Pedrero-Chamizo, R., Ara, I., González-Gross, M., & EXERNET Study Group. (2015). Physical activity assessment in the general population; instrumental methods and new technologies. *Nutricion hospitalaria*, 31(3).

Bullough, R. C., Gillette, C. A., Harris, M. A., & Melby, C. L. (1995). Interaction of acute changes in exercise energy expenditure and energy intake on resting metabolic rate. *The American journal of clinical nutrition*, 61(3), 473-481.

Butte, N. F., Ekelund, U., & Westerterp, K. R. (2012). Assessing physical activity using wearable monitors: measures of physical activity. *MedSci Sports Exerc*, 44(1 Suppl 1), S5-12.

Carter, J.L., Ross, W.D., Aubry, S.P., Hebbelinck, M., & Borms, J. (1982). Anthropometry of Montreal Olympic Athletes. *Physical Structure of Olympic Athletes: Part I*, 25-52.

Corder, K., Ekelund, U., Steele, R. M., Wareham, N. J., & Brage, S. (2008). Assessment of physical activity in youth. *Journal of applied physiology*, 105(3), 977-987.

Coldeportes, (1997) *Reseña y reglamento de Atletismo de Campo*. Primera edición.

Cortés-Reyes, É., Rubio-Romero, J. A., & Gaitán-Duarte, H. (2010). Métodos estadísticos de evaluación de la concordancia y la reproducibilidad de pruebas diagnósticas. *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología*, 61(3), 247-255.

De Lorenzo, A., Bertini, I., Candeloro, N., Piccinelli, R., Innocente, I., Brancati, A., (1999): A new predictive equation to calculate resting metabolic rate in athletes. *Journal Sports Medicine Physical Fitness*. 39(3):213-9.

Departamento Administrativo del Deporte, la Recreación, la Actividad Física y el aprovechamiento del tiempo libre COLDEPORTES (2015). *Lineamientos en Política Pública en Ciencias del Deporte en Nutrición*.

Edgecomb, S. J., & Norton, K. I. (2006). Comparison of global positioning and computer-based tracking systems for measuring player movement distance during Australian football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(1), 25-32

Fallas, J., (2012). Análisis de varianza, comparando tres o mas medias. [http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/analisis\\_de\\_varianza\\_2012.pdf](http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/analisis_de_varianza_2012.pdf)

Franch, et ál. (2006). Dificultades de la estimación del gasto energético en la población infantil.

Recuperado de  
[http://www.sccalp.org/boletin/195/Bolpediatr2006\\_46074-108pdf](http://www.sccalp.org/boletin/195/Bolpediatr2006_46074-108pdf)

Goran, M. I., Calles-Escandon, J. O. R. G. E., Poehlman, E. T., O'Connell, M., & Danforth, E. (1994). Effects of increased energy intake and/or physical activity on energy expenditure in young healthy men. *Journal of Applied Physiology*, 77(1), 366-372.

Hernández, M., & Sastre, A. (1999). *Tratado de Nutrición*, 1º ed. en español Ediciones Díaz de Santos. SA España.

Hills, A., Mokhtar, N., y Byrne, N. (2014) Assessment of physical activity and energy expenditure: an overview of objective measures, *Frontiers in Nutrition*, 1.

Irwin, M. L., Ainsworth, B. E., & Conway, J. M. (2001). Estimation of energy expenditure from physical activity measures: determinants of accuracy. *Obesity Research*, 9(9), 517-525.

LaMonte, M. J., & Ainsworth, B. E. (2001). Quantifying energy expenditure and physical activity in the context of dose response. *medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(6 Suppl), S370-8.

Santos, A., & Garatachea, N. (2012). Tendencias Actuales de la Acelerometría para la Cuantificación de la Actividad Física. *Rev.Ib.CC. Act. Fis. Dep. 1* (1), 24-32

Santos-Lozano, A., Santín-Medeiros, F., Cardon, G., Torres-Luque, G., Bailón, R., Bergmeir, C., ...&Garatachea, N. (2013). Personal pdf file for. *Int J Sports Med*, 10, 0033-1337945.

Mateos, E. (2016) Cómo funciona el cálculo de calorías en relojes GPS y monitores de actividad.[Mensaje en un blog] Recuperado de:

<https://www.correrunamaraton.com/calculo-de-calorias-en-relojes-gps-y-monitores-de-actividad/>

Matthews, C. E., Hagströmer, M., Pober, D. M., & Bowles, H. R. (2012). Best practices for using physical activity monitors in population-based research. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(1 Suppl 1), S68.

Mahan, K., &Escott, S. (2009). Krause: Dietoterapia. (12 ed.)  
Barcelona, España: ElsevierMasson. p. 383-400

Marsé P, Díez M, Raurich JM. Calorimetría: aplicaciones y manejo. *Nutr Clin Med* 2008; 3: 155-66.

Mendoza, H, Bautista, G. (2002). Diseño Experimental. Universidad Nacional de Colombia, <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/>. Licencia: Creative Commons BY-NC-ND.

Mora R. J. (1992). *Soporte Nutricional Especial*. Bogotá, Colombia: Editorial Panamericana

Nguyen, D. M. T., Lecoultré, V., Sunami, Y., & Schutz, Y. (2013). Assessment of Physical Activity and Energy Expenditure by GPS Combined With Accelerometry in Real-Life Conditions. *Journal of Physical Activity and Health*, 10, 880-888.

Plasqui, G., Joosen, A. M., Kester, A. D., Goris, A. H., & Westerterp, K. R. (2005). Measuring Free-Living Energy Expenditure and Physical Activity with Triaxial Accelerometry. *Obesity Research*, 13(8), 1363-1369.

Prentice, A. M. (1990). The doubly-labelled water method for measuring energy expenditure: A consensus report by the IDECG Working Group, NAHRES-4. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

Rawson, E. S., & Walsh, T. M. (2010). Estimation of resistance exercise energy expenditure using accelerometry. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(3), 622-628.

Serrato, M. (2015). Medición de la capacidad aeróbica y el umbral de lactato. *Lineamiento de Política Pública en Ciencias del Deporte*.

Shephard, R. J., & Aoyagi, Y. (2012). Measurement of human energy expenditure, with particular reference to field studies: an historical perspective. *European journal of applied physiology*, 112(8), 2785-2815

Stec, M. J., & Rawson, E. S. (2012). Estimation of resistance exercise energy expenditure using triaxial accelerometry. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(5), 1413-1422.

Stipanuk, M. (2000). *Biochemical and Physiological Aspects of Human Nutrition*. W.B. Saunders Company.

Schneller, M. B., Pedersen, M. T., Gupta, N., Aadahl, M., & Holtermann, A. (2015). Validation of five minimally obstructive methods to

estimate physical activity energy expenditure in young adults in semi-standardized settings. *Sensors*, 15(3), 6133-6151.

Scrimshaw, A., Waterlow, J.&Schürch. (1996). Energy and Protein Requirements: Proceedings of an International Dietary Energy Consultative Group (IDECG) Workshop held at the London School of Hygiene and Tropical Medicine. UK. *European Journal of Clinical Nutrition.*, 50 (Supplement 1)

Roa, M. S. (2008). Medicina del deporte. Universidad del Rosario.

Rocha, C. Poblete, F. y Flores, C. (2017). Aptitud Física, cognición y calidad de vida en adultos mayores de zona centro –sur,chile. *Revista Horizonte: Ciencias de la actividad física*, 7(2),46- 55.

Ross, W.D., & Kerr, D.A. (1991). Fraccionamiento de la masa corporal: Un nuevo método para utilizar en nutrición clínica y medicina deportiva. *Apunts*, 18, 175-187.

Sancho, A. Dorao, P. &Ruza, F. (2008). Valoración del gasto energético en los niños. Implicaciones fisiológicas y clínicas.

Recuperado de:

<http://www.elsevier.es/sites/default/files/elsevier/pdf/37/37v68n02a13116234pdf001.pdf>

Schneller, M. B., Pedersen, M. T., Gupta, N., Aadahl, M., & Holtermann, A. (2015). Validation of five minimally obstructive methods to estimate physical activity energy expenditure in young adults in semi-standardized settings. *Sensors*, 15(3), 6133-6151.

Serrano, M. M., Beneit, M. S., Santurino, M. M., Armesilla, M. C., de Espinosa, M. G. M., & del Cerro, J. P. (2007). Técnicas analíticas en el estudio de la composición

corporal. Antropometría frente a sistemas de bioimpedancia bipolar y tetrapolar. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 27(3), 11-19.

Serrano, M. D. M., Pérez, B. M., Morales, E., Beneit, M. G. S., & Armesilla, M. D. C. (2009). Contraste y concordancia entre ecuaciones de composición corporal en edad pediátrica: aplicación en población española y venezolana. *Nutrición clínica y dietética hospitalaria*, 29(3), 4-11.

Shephard, R. J., & Aoyagi, Y. (2012). Measurement of human energy expenditure, with particular reference to field studies: an historical perspective. *European journal of applied physiology*, 112(8), 2785-2815.

Ten Haaf, T., & Weijs, P. J. (2014). Resting energy expenditure prediction in recreational athletes of 18–35 years: confirmation of Cunningham equation and an improved weight-based alternative. *PloS one*, 9(10), e108460.

Thommpson, J., & Manore, M. (1996) Predicted and Measured Resting Metabolic Rate of Male and Female Endurance Athletes. Volume 96, Issue 1, Pages 30–34. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0002-8223\(96\)00010-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0002-8223(96)00010-7)

Van Remoortel, H., Giavedoni, S., Raste, Y., Burtin, C., Louvaris, Z., Gimeno-Santos, E., ...& PROactive consortium. (2012). Validity of activity monitors in health and chronic disease: a systematic review. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 9(1), 84.

Vanhees, L., Lefevre, J., Philippaerts, R., Martens, M., Huygens, W., Troosters, T., & Beunen, G. (2005). How to assess physical activity? How to assess physical fitness?. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, 12(2), 102-114.

Volp, A. P., de Oliveira, F. E., Alves, R. D. M., Esteves, E. A., & Bressan, J. (2011). Energy expenditure: components and evaluation methods. *Nutr Hosp*, 26(3), 430-440.

120 Validez, correlación y concordancia entre calorimetría indirecta y el sistema de posicionamiento global, acelerometría triaxial y desglose de actividades para la determinación del gasto calórico en entrenamiento de resistencia en atletas de la modalidad de marcha

---

Zhelyazkov, T.(2008). La Resistencia en el deporte contemporáneo: aspectos científicos practices. Comité Paralímpico Colombiano.

Warren, J. M., Ekelund, U., Besson, H., Mezzani, A., Geladas, N., & Vanhees, L. (2010). Assessment of physical activity—a review of methodologies with reference to epidemiological research: a report of the exercise physiology section of the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, 17(2), 127-139.