



DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA CÁLCULO DE LA GRASA CORPORAL BASADO EN MEDICIONES ANTROPOMÉTRICAS Y RESISTENCIA DE LA PIEL: UNA INVESTIGACIÓN EN EL AULA DE FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA BIOMÉDICA

Diana Rocío Varón Serna, Julio César Caicedo Eraso, Félix Octavio Díaz Arango

**Universidad de Caldas
Manizales, Colombia**

Resumen

Existe un método novedoso para determinación de la grasa corporal denominada Análisis de Bioimpedancia Eléctrica (ABE), basada en la aplicación de micro-corrientes eléctricas y de la medición de la tensión, con lo que, por la ley de Ohm, se puede obtener el valor de la resistencia.

Este método es sencillo de realizar, de costo relativamente económico comparado con técnicas de referencia como hidrodensimetría y dilución de isótopos. Además, es de bajo riesgo y permite determinar cantidad y %GC. Lamentablemente en Colombia, el acceso del ABE para el consultorio común se encuentra limitado.

Por otro lado, las medidas antropométricas como estatura, peso y circunferencias corporales (muslo, brazo, cintura, cadera) son fáciles de tomar, económicas a nivel de consultorio común y mucho más accesibles que la ABE.

Adicionalmente, con los conocimientos teóricos y prácticos recibidos en la actividad académica y utilizando unos conceptos previos en el área de programación y electrónica es posible realizar la medición de la resistencia de la piel a través de una implementación de sistemas electrónicos basados en hardware y software.

Es así como se propone investigar desde el aula, una estrategia investigativa que implique la interacción de dos disciplinas a través del diálogo y la colaboración de dichas áreas para llegar finalmente a generar nuevo conocimiento, útil para los 2 campos

y en general para la comunidad. Esta propuesta se plantea como alternativa investigativa para integrar los diferentes contextos en los cuales podría desempeñarse el futuro partiendo de la premisa que ninguna disciplina por separado, pueda dar resultados integrales de allí que actualmente, las ciencias biomédicas son fundamentadas en la medicina basada en la evidencia, requiriéndose de avances tecnológicos, lo que ha generado oportunidades para nuevos desarrollos ingenieriles.

Palabras clave: investigación en el aula; ciencias biomédicas; interdisciplinariedad

Abstract

There is a novel method for the determination of body fat called Electrical Bioimpedance Analysis (ABE), based on the application of electric microcurrent and voltage measurement, so that by Ohm's law, the value of the resistance.

This method is simple to perform, relatively inexpensive compared to reference techniques such as hydrodensitometry and isotope dilution. It is also low risk and allows to determine quantity and % GC. Unfortunately in Colombia, EBA access to the common practice is limited.

On the other hand, anthropometric measures such as height, weight and body circumference (thigh, arm, waist, hip) are easy to take, economical at the common practice level and much more accessible than EBA.

Additionally, with the theoretical and practical knowledge received in the academic activity and using some previous concepts in the area of programming and electronics it is possible to perform the measurement of skin resistance through an implementation of electronic systems based on hardware and software.

It is thus proposed to investigate from the classroom a research strategy that involves the interaction of two disciplines through the dialogue and collaboration of these areas to finally generate new knowledge, useful for both fields and in general for the community. This proposal is proposed as an investigative alternative to integrate the different contexts in which the future could play on the premise that no separate discipline, can give comprehensive results from there that currently, biomedical sciences are based on evidence-based medicine, Requiring technological advances, which has generated opportunities for new engineering developments..

Keywords: research in the classroom; biomedical sciences; interdisciplinarity

1. Introducción

La obesidad se define como la acumulación excesiva de grasa corporal que afecta negativamente la salud y el bienestar de las personas (WHO, 2000). El índice de masa corporal (IMC), expresa Aristizábal (2008) es el indicador más ampliamente usado para definir la obesidad. Sin embargo, diferentes trabajos han demostrado que no es un método fiable por sus limitaciones para diferenciar entre la masa grasa y la masa libre

de grasa (Oliveira et al., 2006; Wang et al., 2000). Una persona con sobrepeso y otra que ejercita su cuerpo para ganar masa muscular, con misma estatura e igual peso tendrían un mismo IMC, lo que genera un diagnóstico errado. La composición corporal se puede determinar por diferentes métodos como la hidrodensimetría, la bioimpedancia eléctrica, la dilución de isótopos y los pliegues cutáneos, entre otros (Brodie, 1988) pero como menciona Ellis (citado por Caicedo et al., 2013b) una mejor precisión implica mayores costos y complejidad, lo que limita su uso para la investigación a gran escala en la comunidad.

El Análisis de Bioimpedancia Eléctrica (ABE) es un método para evaluar la composición corporal que se fundamenta en la conducción de la corriente eléctrica por los tejidos corporales (Aristizábal et al., 2007), método económico en comparación con los métodos de referencia, rápido, no invasivo, de escasa dificultad técnica (Lupoli et al., 2004). Sin embargo, tener una herramienta como el ABE no es fácil, por adquisición, mantenimiento y costos para países en vía de desarrollo.

Las medidas antropométricas básicas, técnicas para la determinación de la composición corporal constituyen un medio eficaz y relativamente asequible para la evaluación del estado nutricional (Aglago et al., 2013) incluye mediciones de peso, estatura, circunferencias y longitudes en distintas regiones corporales, solo se necesitan tres instrumentos (báscula, estadiómetro, y cinta métrica) que son de costo más adecuado para países en desarrollo, requieren entrenamiento mínimo y menor mantenimiento, y los valores de repetición puede obtenerse con buena precisión. Es un método seguro (Aristizábal et al., 2007) que no representa riesgos altos o medios para la persona a la cual se le realiza el proceso de obtención de datos. La pregunta de investigación fue ¿en qué medida sería posible calcular la cantidad de grasa corporal (GC) usando un microcontrolador con una ecuación desarrollada con medidas de la resistencia de la piel (R_p) y Medidas antropométricas?

2. Objetivos

- **Objetivo General:** Aportar una herramienta accesible para el diagnóstico del sobrepeso y la obesidad por medio de un dispositivo electrónico para estimación de la GC basada en mediciones antropométricas sencillas y de la R_p .
- **Objetivos Específicos:**
 - Implementar un sistema electrónico para medición de la R_p ,
 - Establecer protocolos para la medición de la GC, R_p y medidas antropométricas
 - Desarrollar una ecuación preliminar para predicción de la GC
 - Implementar un dispositivo electrónico con la ecuación desarrollada y con medición de la R_p
 - Validar el dispositivo electrónico y la ecuación en una muestra piloto comparando los resultados de GC del dispositivo contra los la GC obtenida por ABE.

3. METODOLOGÍA

3.1. Circuito electrónico para medición de resistencia de la piel

Implementación de un circuito electrónico con Arduino a nivel de práctica de laboratorio que permite la medición de la resistencia de la piel bajo el precepto de inocuidad para el paciente basado en un diseño entregado por el profesor que utiliza baterías de 1.5 Volts, por lo que no ofrece ningún riesgo al momento de su implementación, puesta en funcionamiento y de medición en personas. Considerando el cupo máximo de 20 se aplica la metodología QFD (Quality for design) para diseño de hardware basada en la calidad (Castro, 2008; Pahl, 2013), donde las necesidades del usuario se convierten en los requerimientos técnicos del producto. Esta metodología consta de 4 etapas para definir el diseño final (Castro, 2008):

Clarificar y definir la tarea: establecer las especificaciones, respondiendo los “qué” y los “cómo” del funcionamiento.

Determinar las funciones y estructura: analizar las soluciones y mecanismos para cumplir con las especificaciones planteadas.

Buscar principios de solución y sus variantes: mostrar la solución según a las características.

Dividir en módulos realizables: definir los factores más importantes en el desarrollo del proyecto.

Los estudiantes de la actividad académica, deben conformar equipos de trabajo en función de la disponibilidad de espacio y material de nuestros laboratorios en la Facultad.

3.2. Medidas de %GC, antropometría y RP (resistencia de la piel)

Realizar la medición del %GC por ABE, de medidas antropométricas y de la resistencia de la piel al grupo de estudiantes de la actividad académica bajo el precepto de voluntariedad y confidencialidad. Todas las mediciones son de riesgo mínimo e inocuo. De todas maneras, se aplicará consentimiento informado.

El %GC con ABE como método de referencia se realiza por medio de un analizador de bioimpedancia eléctrica disponible en nuestra facultad bajo procedimientos estandarizados (González-Correa y Caicedo-Eraso 2012).

Las medidas antropométricas se realizarán siguiendo procedimientos estandarizados (Lohman, 1988) y por duplicado: estatura, peso y 4 circunferencias corporales (cintura, cadera, muslo y brazo), utilizando un tallímetro, báscula y cintas métricas.

La resistencia de la piel, con el circuito electrónico con Arduino implementado a nivel de laboratorio en protoboard. Se reitera que se utilizarán únicamente baterías de 1,5 Volts y bajo ningún punto se podrán utilizar fuentes de voltaje directamente conectadas a la red eléctrica, esto para protección y seguridad de los pacientes. Igualmente se utilizará un circuito opto acoplador basado en infrarrojo que aislará el circuito de alimentación con baterías del circuito de medición con conexión al paciente.

3.3. Desarrollo de la ecuación para predicción del %GC

Se evalúa la correlación entre el %GC y cada una de las variables antropométricas y RP. Se desarrolla con una ecuación aplicando análisis de regresión lineal múltiple usando el %GC obtenida por ABE como variable dependiente y las mediciones antropométricas y de RP como variables independientes. Se evalúa la calidad de la ecuación (bondad de ajuste) basado en coeficiente de correlación, confiabilidad, potencia estadística, varianza de Fisher, índice de Malows y errores estándar de estimación descrito para estimación de grasa corporal (Caicedo-Eraso et al 2013). Todos los análisis se realizan utilizando la versión demo del software estadístico XLSTAT (Addinsoft). Se realiza una validación cruzada con el 50% de la muestra elegida de manera aleatoria aplicando pruebas de normalidad y de diferencias estadísticamente significativas, al igual que el método grafico de Bland & Altman (1983).

3.4. Implementación del aplicativo computacional con la ecuación desarrollada

Se realiza bajo principios de marcos de desarrollo ágiles, garantizando el desarrollo iterativo con adaptación a los cambios que puedan surgir (Paez et al., 2014), bajo el concepto de marco de trabajo para equipos de desarrollo que cuenten con un número de personas no mayor a cinco (Rising y Janoff, 2000), bajo el siguiente esquema metodológico (Schwaber y Sutherland, 2014, Shalloway et al., 2011):

4. Requerimientos de herramientas de software

Software de carácter libre o con licenciamiento académico disponible en la Universidad con acceso a las salas de cómputo del programa de Ingeniería de Sistemas y Computación.

5. Resultados: datos medidos, adquiridos y su evaluación

La **Tabla 1** resume las características del grupo de estudiantes evaluados.

Tabla 1. Caracterización por antropometría y bioimpedancia (n=15)

Característica	Media	DE
Masa grasa (kg)	15,3	8,9
Peso (kg)	70,6	16,1
Estatura (cm)	166,9	9,0
Circunferencia muslo (cm)	53,3	6,6
Circunferencia brazo (cm)	30,3	4,5
Circunferencia cintura (cm)	80,7	15,3
Circunferencia cadera (cm)	99,7	7,8
Resistencia de la piel (Ω)	144263,3	33082,9

Teniendo como variable dependiente la MG se procede a realizar un análisis de correlación de esta con las 7 variables usadas como independientes (peso, estatura, cadera, cintura, brazo, pierna y resistencia de la piel) (**Tabla 2**).

Tabla 2. Correlación entre Masa Grasa (MG) y 7 variables independientes

Variabes independientes	Índice de correlación
Peso (kg)	0,904
Estatura (cm)	0,044
Circunferencia muslo (cm)	0,433
Circunferencia brazo (cm)	0,694
Circunferencia cintura (cm)	0,605
Circunferencia cadera (cm)	0,751
Resistencia de la piel (Ω)	-0,083

MG: masa grasa = (%Grasa)x(Peso) / 100

Dado que algunas correlaciones son fuertes y otras débiles, se procede a aplicar regresión lineal múltiple para varios modelos, tomando siempre como variable dependiente la MG y las siete variables independientes (**Tabla 3**).

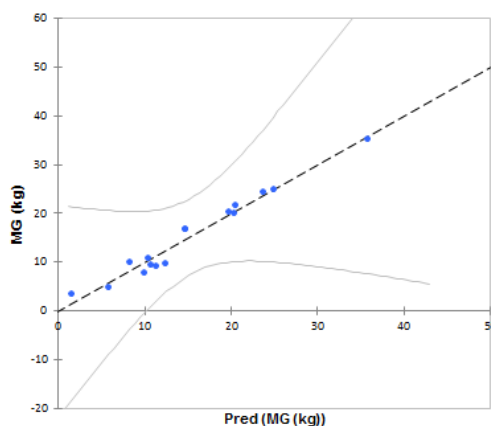
Tabla 3. Modelos de regresión con MG como variable dependiente

Variabes independientes	Correlación	Error de predicción MG (kg)
Peso, Brazo, Cadera	0,82	3,84
Peso, Brazo, Cadera, Cintura	0,82	3,76
Peso, Brazo, Cadera, Cintura, Muslo	0,80	3,96
Peso, Brazo, Cadera, Cintura, Muslo, Resistencia de la piel	0,79	4,03
Peso (P), Brazo (B), Cadera (Cd), Cintura (Ct), Muslo (M), Resistencia de la piel (R), Estatura (E)	0,94	2,15

Se escogió como mejor modelo aquel con mayor correlación (0,94) y menor error de predicción para MG (2.15 kg), el cual corresponde a la ecuación:

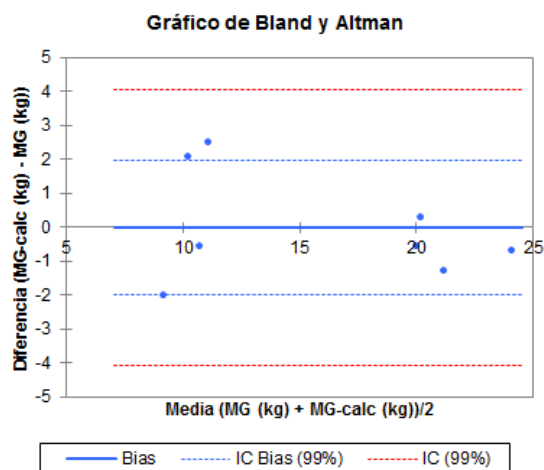
$$MG = 2,506 + 0,279P + 0,568B + 0,305Cd + 0,199Ct - 0,185M - 0,393E + 3,374 \times 10^{-5}R$$

Ecuación 1



Finalmente, para la validación del mejor modelo escogido:

1. Al aplicar el método de t-Student bilateral pareada ($p < 0,05$), previa comprobación de la normalidad de los datos, se encontró que no hay diferencia estadísticamente significativa entre la MG medida con el bioimpedanciometro contra la MG grasa calculada con la **Ecuación 1** ($p_{obtenida} = 0,985$).
2. Al aplicar el método gráfico de Bland y Altman (1986) entre la MG medida con el bioimpedanciometro contra la MG grasa calculada con la **Ecuación 1**, se encontró que no hay diferencia estadísticamente significativa entre los 2 métodos (Bias = -0,011) y además que los datos no se alejan más allá de los 3.5 kg de predicción, que este caso es el valor límite para considerar una predicción aceptable en la medición de masa grasa.



6. Conclusiones

La técnica de ABE proporciona estimaciones aceptables de la MG y del %GC, es más cómodo y menos invasivo para el paciente que otros métodos y más exacto que la antropometría, por lo tanto, es una buena opción el análisis de la composición corporal (Dartagnan Pinto, 2012), sobre todo porque si estima MG y %GC. No obstante, una de las limitaciones es que la mayoría de las ecuaciones de predicción para el análisis de composición corporal han sido desarrolladas en población caucásica (Schifferli et al., 2011) y además ABE como método su acceso por costos estaría limitado para el consultorio general.

Se observa un buen grado de correlación de los datos obtenidos entre la nueva ecuación encontrada en cuanto el método usado como referencia en esta investigación, ABE y la ecuación hallada por medio de regresión lineal múltiple. En Argentina, se evaluó la correlación entre métodos antropométricos de índice de masa corporal y circunferencia de cintura con ABE en 230 niños entre 4 y 6 años de edad y se encontraron buena correlación entre ambos métodos (Sánchez 2012). Este resultado es un fundamento para la utilización de éste tipo de metodologías, las cuales, resultan mucho más económicas que otros métodos. Con esto queda en evidencia que el uso

de esta ecuación encontrada ofrece una alternativa viable para el cálculo de la MG y MLG de una manera rentable y aplicable para atención en el consultorio médico general de la población colombiana.

Se recomienda utilizar esta ecuación en poblaciones con similares características similares a la población en la cual se desarrolló. De todas maneras, como la generada en este estudio, la cual necesita ser validada en una muestra independiente y con el uso de distintas marcas de equipos de bioimpedanciometría, antes de ser recomendada para su uso generalizado (Schifferli et al., 2011).

Se observa un buen grado de correlación de los datos obtenidos con el procedimiento de referencia al observar los resultados del procedimiento. Esto hace evidencia del alto grado de correlación que se da utilizando la ecuación resultante para el cálculo de la MLG en la población objetivo. Este cálculo da un buen fundamento para el uso de éste tipo de metodologías, las cuales son mucho más económicas que otras con las cuales también se obtienen resultados precisos, más su uso están limitadas a personas con mejores condiciones económicas.

Con esto evidenciamos que con el uso de esta ecuación se ofrece una alternativa viable para el cálculo de la MG por medio de herramientas de medición más accesibles para la población colombiana, demostrando la practicidad de métodos como el ABE, el cual es un método práctico y adecuado para el uso en investigaciones (Caicedo-Eraso et al, 2013).

Finalmente, la incorporación de la práctica investigativa como herramienta pedagógica en el aula, fortalece la investigación formativa, favorece la relación entre investigación y docencia y es una herramienta clave en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

7. Referencias

- Aglago et al 2013. Development and validation of bioelectrical impedance analysis equations for predicting total body water and fat-free mass in North-African adults, European Journal of Clinical Nutrition
- Aristizabal et al 2007. Evaluación de la composición corporal de adultos sanos por antropometría e impedancia bioeléctrica.
- Baumgartner 1996. Human Body Composition. Chap 5 (Human Kinetics Ed)
- Bland & Altman 1983. Measurement in Medicine: the Analysis of Method Comparison Studies.
- Bland & Altman. (1983). Measurement in Medicine: the Analysis of Method Comparison Studies.
- Caicedo Erasó JC, González Correa CA and González Correa CH. Bioelectrical impedance analysis (BIA) equations validation against hydrodensitometry in a Colombian population. Journal of Physics: Conference Series 434(2013) 012065
- Caicedo-Eraso JC, Gonzalez-Correa CH, Gonzalez-Correa CA (2013). Preliminary bioelectrical impedance analysis (BIA) equation for body composition

- assessment in young females from Colombia. J Phys Conf Ser; 434:012066. Doi:10.1088/1742-6596/434/1/012066
- Carvajal Escobar, Y. (2010). Interdisciplinariedad: Desafío para la educación superior y la investigación, Luna Azul no.31 No. 31(Rev. 2010-05-11)
 - Castro, F.D. (2008). Metodología de proyecto centrada na casa da qualidade. Tesis de maestría, universidad de federal rio grande do sul, Porto Alegre, Brasil.
 - Ellis KJ, 2001. Selected Body Composition Methods Can Be Used in Field Studies. The journal of nutrition.
 - Ellis KJ. Selected body composition methods can be used in field studies. J Nutr 2001; 131: 1589S-95S.
 - Gallagher, D., Visser, M., Sepulveda, D., Pierson, R. N., Harris, T. & Heymsfield, S. B. (1996) How useful is body mass index for comparison of body fatness across age, sex, and ethnic groups? Am. J. Epidemiol. 143: 228–239.
 - Gonzalez-Correa CH, Caicedo-Eraso JC. (2012). Bioelectrical impedance analysis (BIA): a proposal for standardization of the classical method in adults. J Phys Conf Ser 2012;407:012018. Doi:10.1088/1742-6596/407/1/012018
 - Heyward VH, Cook KL, Hicks VL, Jenkins KA, Quatrochi JA, Wilson WL. Predictive accuracy of three field methods for estimating relative body fatness of nonobese and obese women. International journal of sport nutrition. 1992;2:75–86
 - Kyle et al 2003. Body Composition Interpretation: Contributions of the Fat-Free Mass Index and the Body Fat Mass Index. Nutrition Volume 19, Numbers 7/8, 2003
 - Kyle UG, Schutz Y, Dupertuis YM, Pichard C. (2003). Body Composition Interpretation: Contributions of the Fat-Free Mass Index and the Body Fat Mass Index. Vol. 19, pp 7-8
 - Lohman et al 1988. Anthropometric standardization reference manual
 - Lohman, Timothy G ; Toche, Alex F, and Martorell, Reinaldo. 1988. Anthropometric Standardization Reference Manual. Human Kinetics Books, Champaign-IL.
 - Ministerio de Salud y Protección Social de la República de Colombia. Resolución Numero 8430 De 1993.
 - Pahl, G., & Beitz, W. (2013). Engineering design: a systematic approach. Springer Science & Business Media
 - Sánchez J. & Adela M. 2012. Uso de la bioimpedancia eléctrica para la estimación de la composición corporal en niños y adolescentes. Anales Venezolanos de Nutrición
 - Schifferli et al 2011. Formulación de una ecuación para predecir la masa grasa corporal a partir de bioimpedanciometría en adultos en un amplio rango de edad e índice de masa corporal. Departamento de Nutrición, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.
 - Van del Linde, G. (2007). ¿Por qué es importante la interdisciplinariedad en la educación superior? Cuadernos de Pedagogía
 - WHO (World Health Organization). 2004. Obesity: Preventing and managing the global epidemic. Technical Report Series, No. 894. Geneve. 2004.
 - World Health Organization (2013). Obesity and overweight, Fact sheet N°311

- World Health Organization (WHO). Obesity: preventing and managing the global epidemic. In: Report of World Health Organization Consultation on Obesity. Geneva 3-5 June, 1997. Geneva: World Health Organization; 1998. p.1-276.
- World Health Organization, 2013. Obesity and overweight, Fact sheet N°311

Sobre los autores

- **Diana Rocío Varón Serna.** Ingeniera Electrónica, Tecnóloga en Mantenimiento de Equipo Biomédico, Instructor en Primeros Auxilios y Soporte Vital Básico. Profesora, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas. Profesora, Facultad de Ingeniería, Universidad autónoma de Manizales Email: diana.varon@ucaldas.edu.co, diana.varons@autonoma.edu.co
- **Julio Cesar Caicedo Eraso.** Doctor en Ciencias Biomédicas, Especialista en Gerencia Educativa, Especialista en Telecomunicaciones, Ingeniero Electrónico. Profesor, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas. Email: julioc.caicedo@ucaldas.edu.co
- **Félix Octavio Díaz Arango.** Doctor en Ciencias Económicas y Administrativas (Universidad para la Cooperación Internacional - UCI), Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Magister en Gerencia de Programas Sanitarios en Inocuidad de Alimentos, Ingeniero de Alimentos. Profesor, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas. Email: felix.diaz@ucaldas.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2017 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)