

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ADIPÓMETRO DIGITAL

Design and construction of digital adipometer

RESUMEN

Este proyecto nace de identificar una necesidad en el sector de la salud, el cual tiene dificultad para la adquisición de dispositivos de medición, con garantía y soporte nacional, que les facilite a los interesados en medir y analizar el porcentaje graso realizarlo de manera ágil y precisa. Este conocimiento permite diagnosticar y prescribir las actividades que la persona debe realizar, si es un deportista permite monitorizar el porcentaje graso ideal y mantenerlo dentro de estos parámetros de acuerdo al deporte practicado, diseñar la dieta y el entrenamiento a seguir y puede ayudar a identificar talentos deportivos a temprana edad.

PALABRAS CLAVES: Adipómetro, antropometría, adiposo, cineantropometría, cutáneos, densitometría, endomorfo, obesidad, pliegues, somatotipo.

ABSTRACT

The project is born to identify a need in the sector of the health, which has difficulty for the measurement devices acquisition, with guarantee and national support, that facilitate to them interested in measure and to analyze the greasy percentage of the people of agile way and precise. This knowledge can diagnose and prescribe the activities that the person must perform, if is a sportsman permits to monitor the ideal greasy percentage and to maintain it inside these parameters according to the sport practiced, to design the diet and the training to continue and even can help to identify sports talents to early age.

KEYWORDS: Adipometer, anthropometry, cineanthropometry, cutaneous, densitometry, endomorph, fatty, fold, obesity, somatotype.

1. INTRODUCCIÓN

La cineantropometría [1] es el estudio de las mediciones del cuerpo en movimiento y ha sido también definida como la interface cuantitativa entre anatomía y fisiología o entre estructura y función. Esta especialidad evalúa, a través de mediciones diversas, las características humanas de tamaño, forma, proporción, composición, maduración y función. La aplicación de esta ciencia se enfoca a facilitar la comprensión y monitorear el crecimiento y desarrollo, el ejercicio, el rendimiento y la nutrición, y los efectos en el entrenamiento deportivo. Específicamente en el ámbito del deporte, para la detección de talentos, en el rendimiento de deportistas de alta competencia y también cómo la forma del cuerpo, su composición y su función son determinantes en el desempeño [2].

Para la determinación de la composición corporal existen métodos directos, indirectos y doblemente indirectos. El método directo consiste en la disección de cadáveres, donde se realiza un análisis anatómico y químico de sus componentes. Dentro de los métodos indirectos más conocidos se encuentran la densitometría, absorciometría

CARLOS EDUARDO NIETO

Medico Cirujano
Especialista Medicina Deportiva y SO
Coordinador Unidad de Medicina Deportiva
Universidad Tecnológica de Pereira
niceniega@utp.edu.co

LUZ ESTELA VALENCIA A.

Ingeniera Industrial
Universidad Tecnológica de Pereira
levayala@utp.edu.co

PAULA ANDREA VILLA S.

Ingeniera de Sistemas y Computación.
Universidad Tecnológica de Pereira
paula2713@gmail.com

fotónica dual, Tomografía Axial Computada (TAC) y la Resonancia Magnética Nuclear (RMN). Se denominan métodos doblemente indirectos cuando los datos sobre las proporciones y masas resultan de ecuaciones que utilizan a su vez datos originales corregidos o ajustados por ecuaciones previas como es el caso de la antropometría que utiliza fórmulas de regresión a partir del modelo densiométrico.

La antropometría es ampliamente empleada para la evaluación de la composición corporal. Dentro de las medidas antropométricas se encuentran las longitudinales, transversales, diámetros, perímetro y pliegues cutáneos.

2. MEDICIÓN DE LA GRASA CORPORAL

La grasa corporal esta representada por dos componentes, la grasa esencial que es la que participa en el metabolismo energético que en la mujer es de 12% y en el hombre es de 3%. La grasa de depósito cuando se sobrepasa es la responsable del exceso de peso, normalmente en la mujer es de 15-16% y en el hombre es de 12-15%, esta grasa es necesaria para la síntesis de

hormonas como los estrógenos y la testosterona. Para la valoración de la grasa corporal se conocen múltiples ecuaciones y métodos, el método universalmente utilizado es el Índice de Masa Corporal (IMC) (de QUETELET), este índice es la razón entre el peso (expresado en kilogramos) y la talla al cuadrado (expresada en metros). El peso en un deportista se relaciona con la disciplina deportiva que practica y no permite una comparación con datos de referencia de personas no activas como es el que proporciona este método, adicionalmente los atletas con huesos densos y músculos bien desarrollados podrían tener sobrepeso de acuerdo con el IMC, no obstante, tienen poca grasa.

El otro método para el cálculo de la grasa corporal es por medio de la medición de los pliegues cutáneos utilizando un adipómetro. El número y la selección de los pliegues para la medición dependen de la fórmulas que se va a utilizar, los pliegues son los siguientes: tríceps subescapular, bíceps, axilar, pectoral, suprailíaco, supraespinal, abdominal, muslo anterior, muslo, posterior, pantorrilla medial.

2.1 Procedimiento e importancia de la medición del tejido adiposo

El procedimiento para la medición de los pliegues cutáneos es formar un pliegue entre los dedos (dedos índice y pulgar de la mano izquierda) de la mano del evaluador y la pinza de medición (adipómetro) la cual se abre unos 4 cm a 10 se permitiendo luego su cierre (agarre del pliegue). Se eleva una doble capa de piel y su tejido adiposo subyacente en la zona señalada, efectuando una pequeña tracción hacia afuera para que se forme bien el pliegue y queden ambos lados paralelos, y se mantiene hasta que termine la medición. Con la mano derecha se aplica el adipómetro, el cual es el dispositivo con el que se realiza la medida, colocándolo a 1 cm del lugar donde se toma el pliegue con los dedos de la mano izquierda, perpendicular al sentido de éste y en su base a una profundidad de 1cm. La lectura se efectúa aproximadamente es tres segundos después de colocar el adipómetro.

En la actividad física, el conocimiento de la grasa corporal es primordial para que el deportista llegue al momento más importante de la competición, con la cantidad ideal de dicho tejido para obtener el máximo desempeño, y lograr terminar la competencia con el mínimo de grasa necesaria (el ciclista en una carrera por etapas – ej. Tour de Francia) y representa el componente endomorfo en el somatotipo, el cual define el perfil deportivo en niños y adolescentes al ubicarlo en la Somatocarta [3]. Si bien la masa grasa proporciona energía al deportista, en especial de resistencia (deporte de larga duración), contribuye al peso que, en la práctica deportiva, hay que movilizar, siendo por tanto un impedimento cuando sobrepasa los valores adecuados.

En salud conocer la cantidad de grasa corporal es un importante indicador de riesgo de enfermedades cardiovasculares, del aparato locomotor, diabetes y algunos cánceres como del endometrio, colon, próstata y mama.

Dada la importancia que tiene el porcentaje graso se necesita un adipómetro que brinde precisión y eficiencia en este cálculo, de forma tal que sea una herramienta práctica, que mejore el proceso y los tiempos en la entrega de resultados ofreciendo confiabilidad sin realizar operaciones manuales. En este sentido se requiere utilizar ecuaciones para determinar el porcentaje graso.

2.2 Ecuaciones para el cálculo del porcentaje graso

Las ecuaciones definidas por diferentes autores se diferencian por el número de pliegues que utilizan y la población a las cuales son aplicables variando según el género, la edad y la condición física.

La variación en género, con respecto a cantidad y distribución del tejido adiposo, se da durante la adolescencia, donde la cantidad de grasa en las mujeres es mayor que en los hombres. Se origina algunas características sexuales secundarias, y esta grasa corresponde a la acumulación de tejido adiposo en la zona femoroglútea y en los senos en el caso de las mujeres. En la infancia, la cantidad de tejido adiposo subcutáneo que recubre los miembros es considerablemente mayor que la que recubre el tronco. Durante la adolescencia, los niños tienden a perder tejido adiposo en los miembros, pero lo ganan en el tronco. En las mujeres la pérdida de tejido adiposo en los miembros es menos pronunciada y se observa mayor acumulación en los hombros, caderas y muslos. La diversificación de las ecuaciones según la actividad física practicada se debe a la composición corporal de un deportista en relación a la composición de una persona inactiva físicamente.

Las ecuaciones comúnmente utilizadas son las definidas por Yuhasz, Durning/Womersley y Jackson /Pollock. La ecuación de Yuhasz fue definida en 1974. Se aplica a deportistas adultos, y se basa en la ecuación de la densidad de Siri [4] para el cálculo del porcentaje de grasa, utiliza seis pliegues cutáneos y los valores ponderados hacen la diferencia en hombres y mujeres. Los pliegues utilizados son los siguientes (se miden en milímetros): tríceps, subescapular, suprailíaco, abdominal, muslo anterior, y pantorrilla.

Mujeres:

$$1) \% \text{GRASO} = \text{Suma 6 Pliegues} * (0,1548) + 3,5803$$

Hombres:

$$2) \% \text{GRASO} = \text{Suma 6 Pliegues} * (0,1051) + 2,585$$

Las ecuaciones antropométricas de Durning/Womersley [5] y Jackson/Pollock [6] son ampliamente utilizadas para evaluar la población adulta sedentaria.

La ecuación de Durning/Womersley emplea la sumatoria de cuatro pliegues cutáneos: bicipital, tricipital, subescapular y suprailíaco. Utiliza los coeficientes C y M de la suma de los cuatro pliegues indicados en la tabla 1 y en la tabla 2 para calcular la densidad total (ecuación 3). Los valores en las tablas se definen de forma global para cada sexo (densidad global) y de forma específica para cada grupo de edad en cada sexo (densidad específica). Para determinar el porcentaje graso se utiliza la ecuación de Siri (ecuación 4):

$$3) D = C - M \cdot \log_{10} \text{SUM cuatro pliegues}$$

$$4) \% \text{grasa corporal} = [(4,95 / D) - 4,5] \cdot 100$$

HOMBRES					
Edad(años)	17-19	20-29	30-39	40-49	50+
C	1,162	1,1631	1,1422	1,162	1,1715
M	0,063	0,0632	0,0544	0,07	0,0779

Tabla 1. Coeficientes C y M para hombres según ha sido definido por Durning/Womersley.

MUJERES					
Edad(años)	16-19	20-29	30-39	40-49	50+
C	1,1549	1,1599	1,1423	1,1333	1,1339
M	0,0678	0,0717	0,0632	0,0612	0,0645

Tabla 2. Coeficientes C y M para mujeres según ha sido definido por Durning/Womersley.

La ecuación de Jackson/Pollock [7] utilizan tres pliegues, para los hombres: pectoral, abdominal y muslo, y para mujeres: tríceps, suprailíaco y muslo. Según los autores se calcula la densidad corporal en hombres y en mujeres (ecuaciones 5 y 6 respectivamente) y luego se determina el porcentaje graso, con la ecuación de Siri (ecuación 4).

$$5) D = 1,10938 - (0,0008267 \cdot (\text{SUM tres pliegues}) + 0,0000016 \cdot [\text{SUM tres pliegues}]^2 - (0,0002574 \cdot \text{edad}))$$

$$6) D = 1,0994921 - (0,0009929 \cdot (\text{SUM tres pliegues}) + 0,0000023 \cdot [\text{SUM tres pliegues}]^2 - (0,0000023 \cdot \text{edad}))$$

En el cálculo del componente endomorfo del somatotipo que permite la detección de talentos y distribución de cargas de entrenamiento se miden tres pliegues: Tricipital, Subescapular y Suprailíaco, y se halla con la ecuación 7.

$$7) \text{ENDOMORFO} = -0,7182 + 0,1451 (\text{SUM tres pliegues}) - 0,00068 (\text{SUM tres pliegues})^2 + 0,0000014 (\text{SUM tres pliegues})^3$$

3. DISEÑO DEL ADIPÓMETRO DIGITAL

A pesar de los avances tecnológicos en el sector de la salud se utilizan dispositivos manuales que no ofrecen eficiencia en la lectura y en el cálculo de los datos. En el caso de utilizar adipómetros manuales para cálculo del porcentaje graso las lecturas de las medidas de los pliegues se leen en una regleta, que se anotan y se van sumando, y el resultado se introducen en la ecuación elegida por el especialista, según las condiciones iniciales del paciente, el cálculo del porcentaje graso se realiza con ayuda de una calculadora o hoja electrónica, para finalmente, ser almacenados ya sea en una hoja de cálculo o en la historia clínica. Este procedimiento puede presentar los siguientes inconvenientes:

- Error en la lectura, por calibración o por errores humanos.
- Lentitud en el proceso.
- Errores en el cálculo de la ecuación
- Falta de disponibilidad para emplear estos datos en otros estudios complementarios.

Conociendo la ausencia de un dispositivo que cumpla con los requerimientos anteriores para satisfacer las necesidades del mercado, se desarrolla un dispositivo, el cual se denomina ADIDI, este es el acrónimo de ADIpómetro DIgital. El diseño de un adipómetro digital debe garantizar una medición correcta y la entrega de datos confiables que permitan diagnosticar de forma oportuna y ágil enfermedades asociadas con estos datos. Además de lo anterior, aprovechar las ventajas que brinda el almacenamiento de datos digitales.

3.1. Consideraciones para el diseño del adipómetro digital

A continuación se detallan los aspectos relevantes que se consideraron durante el diseño:

- Mecanismo de medición no invasivo y sin condiciones previas.
- Variedad de ecuaciones para diferentes condiciones iniciales.
- Interfase para introducir datos iniciales del paciente.
- Algoritmo para calcular el porcentaje graso.
- Visualización del resultado.
- Almacenamiento de datos por grupos o individual.
- Transferencia de datos al computador.
- Integración de los datos a una base de datos.

3.2 Diseño del adipómetro

El diseño que se muestra a continuación es un prototipo del dispositivo. Los aspectos que se tienen en cuenta para la realización de este diseño son los siguientes:

- Pinzas con presión constante para evitar errores humanos y garantizar la exactitud en la toma de la medida.
- Botón de interrupción de fácil alcance para el usuario.
- Estudio ergonómico donde se incluyó un análisis funcional y biomecánico para la adaptación al usuario y facilitar su uso.
- Distribución eficiente de los componentes (pantalla, teclado, puerto etc.).
- Adaptabilidad para la alimentación (batería, corriente DC).

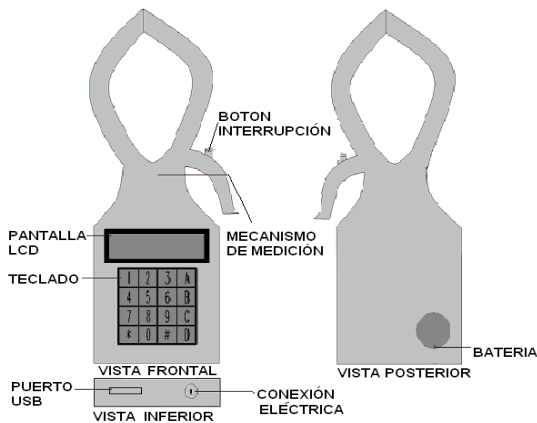


Figura 1. Diseño externo del adipómetro.

3.3 Construcción electrónica del adipómetro ADIDI

El mecanismo de medición del adipómetro consta de una pinza de polipropileno cuya abertura máxima es de 10cm, esta abertura produce un cambio en una resistencia variable que se conecta al microcontrolador que lee la diferencia de voltaje, el dato es leído cuando el usuario presiona el botón de interrupción, el cual se acciona cuando se ha realizado correctamente el procedimiento de medición del pliegue. Durante el proceso de la toma de la medida se debe garantizar una presión constante de 10 g/mm², en los terminales de la pinza.

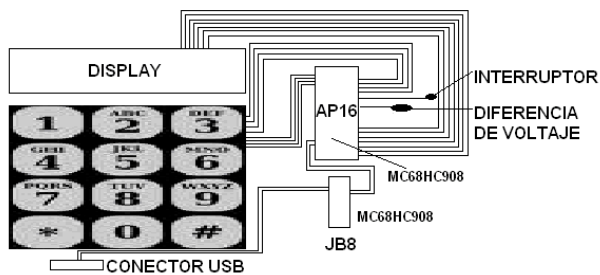


Figura 2. Esquema electrónico del adipómetro.

La diferencia de voltaje que se obtiene en la medición, se envía al microcontrolador quien a su vez recibe los datos provenientes del teclado. Después el microcontrolador realiza los cálculos aplicando la fórmula seleccionada y entrega el resultado a través de la pantalla LCD.

A través del software de almacenamiento se transmiten los datos del adipómetro ADIDI al computador, donde se pueden almacenar, consultar y exportar a un archivo de Excel.

3.4 Descripción de los componentes electrónicos del adipómetro ADIDI

En este diseño se eligió el microcontrolador Motorola MC68HC908xx el cual es el componente principal del circuito y es el encargado de realizar los cálculos y el almacenamiento de datos. Este es un microcontrolador de 8 bits, consta de 42 pines con una arquitectura de alto rendimiento, posee una memoria RAM de 1024 bytes donde se almacenan los datos ingresados por el usuario y los calculados por el dispositivo. La memoria ROM de 16384 bytes es la que soporta el algoritmo que se programa para el funcionamiento del dispositivo.

Los principales módulos de éste microcontrolador son:
PUERTO A: Es un puerto de propósito general de 8 bits de lecto-escritura, físicamente tiene 8 pines desde el número 26 hasta el 33. Cuando este puerto no se configura de propósito general se utiliza como puerto de Conversión Análogo a Digital (ADC), con una resolución de 10 bits. Este módulo ADC es utilizado para la conversión del voltaje que se genera en la lectura de la medida, la ventaja esencial de la resolución que provee este módulo es en la precisión que da la conversión del voltaje análogo a un valor digital de 10 bits. Cuatro pines de este módulo son utilizados para la salida de datos hacia el display.

PUERTO B: Es un puerto de propósito general de 8 bits de lecto-escritura, físicamente tiene 8 pines. Cuando éste puerto no se configura de propósito general se utiliza para comunicación serial utilizando el pin número 15 para recepción y el número 17 para transmisión. Esta es la línea de datos de entrada al microcontrolador Motorola MC68HC908xxxx que es el encargado de la conexión USB. También se utiliza un pin de este módulo para la conexión del teclado que sirve de interfaz de entrada de datos del usuario.

PUERTO C: Es un puerto de propósito general de seis bits de lecto-escritura, físicamente tiene seis pines. Tres pines de éste módulo son utilizados para las líneas de control del display.

PUERTO D: Es un puerto de lecto-escritura de propósito general, posee físicamente 8 pines, los cuales se pueden configurar como entradas o salidas. Éste puerto se puede configurar también con una función denominada KBI, que es un módulo por interrupción, uno de estos pines es utilizado para definir la lectura de la medida en un momento determinado. Adicionalmente se utilizan siete pines para la conexión del teclado.

El microcontrolador Motorola MC68HC908xx se encarga de la comunicación USB, posee display que es la interfaz de salida de los datos y un teclado para el ingreso de datos del usuario. Este microcontrolador es de 8 bits y cuenta con un módulo de comunicación USB 1.1, que permite implementar dispositivos de baja velocidad, cuenta con una memoria ROM de 8 KB y una ROM de 256 bytes. Este microcontrolador es el encargado de la transferencia de datos al computador por medio de un software de almacenamiento.

El display que se utiliza para desplegar información al usuario, es un componente donde se pueden visualizar dos líneas de 16 caracteres. La tensión nominal de alimentación es de 5V con un consumo menor a 5 mA.

El teclado es un componente que cuenta con ocho líneas de control, cuatro columnas y cuatro filas, que a su vez se configuran como entradas y como salidas del microcontrolador. Cuando una tecla es accionada, el estado de los bits de entrada (columna) cambia, generando una interrupción a través del puerto designado, y de esta manera se realiza la identificación de la tecla accionada.

El adipómetro digital ADIDI se presenta en dos referencias ADIDI REF.001 y ADIDI REF.002, la diferencia es dada por la conexión USB, el software de almacenamiento que posee el ADIDI REF.001 y la capacidad de almacenamiento. La capacidad de almacenamiento de datos del adipómetro digital ADIDI REF.001 es de 40 registros y ADIDI REF.002 es de 20 registros. Cada registro contiene un código de identificación, edad, sexo, actividad física y el porcentaje graso calculado para cada uno de los pacientes.

En la representación del código de identificación (número de la cédula) se requieren diez bits, para la edad dos bits (0-99 años), para el sexo un dígito que esta contemplado con la letra F (Femenino) o M (Masculino), la actividad física con un carácter que puede ser S (Sedentario) o D (Deportista) y el porcentaje graso se representa por dos dígitos numéricos y un símbolo (%). Este registro tendrá un tamaño máximo de 17 bytes y teniendo en cuenta la capacidad de almacenamiento del microcontrolador que es de 1024 bytes se pueden almacenar hasta 60 registros como máximo.

3.5 Software de almacenamiento del adipómetro digital

Este software se encarga de realizar la transferencia de los datos desde el adipómetro digital ADIDI REF.001 al computador, donde están disponibles para ser almacenados, realizar consultas o exportar datos a un formato XLS de un archivo en Excel. En la Figura 3 se indica la pantalla principal del software de almacenamiento donde aparecen las opciones.

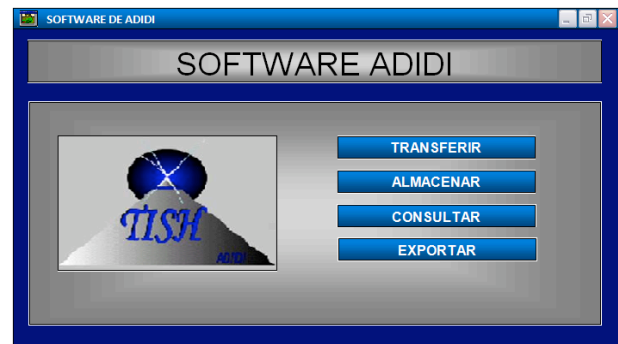


Figura 3. Pantalla principal del software de almacenamiento

La opción transferir permite realizar la transferencia de los datos a la aplicación y su visualización para luego ser almacenados o exportados a un archivo en formato XLS. Por medio de la opción **Consultar** se obtiene información de la base de datos con respecto a criterios de búsqueda definidos a partir del nombre e identificación.

El software ADIDI es un módulo que se articula con un sistema de información más amplio donde se evalúan las capacidades condicionantes en deportistas (fuerza, resistencia, velocidad y flexibilidad) y se lleva un control de pacientes con su historial clínico.

El software ADIDI es desarrollado en lenguaje de programación Python, entre las características más importantes que posee este lenguaje se encuentran:

- Es libre
- Multiplataforma
- Orientado a objetos
- Fuertemente tipificado porque una vez que se asigna un tipo de dato este no puede ser cambiado.
- Extensible: esta escrito en C en una arquitectura modular y puede ser extendido adicionando nuevas características o API's.
- Ampliar librerías: Python incluye una instalación estándar que contiene cerca de 200, pero se pueden descargar librerías adicionales que se requieran para múltiples aplicaciones.

En el almacenamiento de los datos se utiliza el servidor de bases de datos PostgreSQL, el cual es libre, multiplataforma y brinda ventajas en alta concurrencia, integridad de los datos, herencia y ejecución de funciones.

4. CONCLUSIONES

En la actividad física, el conocimiento de la grasa corporal es primordial para que el deportista llegue al momento más importante de la competición, con la cantidad idónea de dicho tejido como elemento

coadyuvante para obtener el máximo desempeño y es uno de los componentes corporales en el somatotipo que define el perfil deportivo en niños y adolescentes.

En los últimos años se ha retomado el ejercicio y la actividad físico deportiva dentro de procesos de prevención, promoción y tratamiento de enfermedades, por lo cual los gimnasios y centros de acondicionamiento físico participan con actividades de prescripción del ejercicio, necesitando una evaluación previa, que incluye la Adipometría, requiriendo la toma de los pliegues, que a su vez les sirve para el seguimiento y como elemento motivador para la persona evaluada.

En salud conocer la cantidad de grasa corporal es un importante indicador de riesgo de enfermedades cardiovasculares, del aparato locomotor, diabetes y algunos cánceres como del endometrio, colon, próstata y mama.

El adipómetro digital ADIDI tiene conexión USB, que permite la rápida transferencia de datos y es compatible con otros dispositivos móviles, como PDA's y celulares.

Una de las características diferenciadoras del adipómetro digital ADIDI es el software de almacenamiento, que no lo tienen los adipómetros digitales que se encuentran en el mercado.

Promocionar el adipómetro digital ADIDI resaltando sus ventajas y su precisión, desde una perspectiva de cambio cultural.

La conformación de una empresa de producción, comercialización, mantenimiento y actualizaciones de adipómetros digitales, es viable dado que tiene mercado y ventajas comparativas. El mercado representado en los profesionales de la salud en medicina deportiva, estética y nutrición.

El software de almacenamiento, se desarrolla modularmente para articularse con un sistema de información más amplio dentro del área de la cineantropometría.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Ross W, Habbelinck S, Brown R, Faulkner R. Kinantropometry landmarks and terminology. Shepard RJ, H Lavallo H (eds). Physical fitness assessment. Springfield:1978
- [2]. Acero J. Cineantropometría: fundamentos y procesos. Pamplona Norte de Santander: Universidad de Pamplona; 2002. p.77-150.

- [3]. Heath B, Carter J. A modified somatotype. Am J Phys Anthropol 1976; 27:54-74.
- [4]. Siri WE. Gross composition of the body. Advances in biological and medical physics. Lawrence JH, Tobias CA eds. New York:1956.
- [5]. Revista Española de Salud Pública, Print ISSN 1135-5727 Rev. Esp. Salud Publica vol.75 no.3 Madrid May/June 2001
- [6]. Jackson AS, Pollack ML, Ward A. Generalized equation for predicting body density of women. Med Sci Sport Exerc 1982; 12:175-82.
- [7]. Aristizabal, Juan Carlos, Restrepo, María Teresa, Estrada, Alejandro. Body composition assessment by anthropometry and bioelectrical impedance. Biomédica, abr./jun. 2007, vol.27, no.2, p.216-224.
- [8]. Lohman T, Roche A, Martorell R. Anthropometry standardization reference manual. Illinois USA: Inc. Champaign, Human Kinetic Publishers.
- [9]. Daza Lesmes, Evaluación clínico-funcional del movimiento corporal humano.
- [10]. Mark J. Hammond, Andy Robinson, Python Programming on Win32
- [11]. Python Web Programming de Steve Holden de Fredrik Lundh
- [12]. Ross WD, Kerr DA. Fraccionamiento de la masa corporal: un nuevo método para utilizar en nutrición clínica y medicina deportiva.