



**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ANTROPOMETRÍA DIGITAL CON
APLICACIÓN EN TELEMEDICINA PARA EL HOSPITAL ALMA MATER**

Joel Leandro Gómez Quintero

Trabajo de grado para optar al título de Bioingeniero

Asesor

John Fredy Ochoa Gómez, PhD Ingeniería Electrónica

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Bioingeniería

Medellín

2023

Referencia

- [1] J. L. Gómez Quintero, “Desarrollo de un sistema de antropometría digital con aplicación en telemedicina para el hospital Alma Mater”, Semestre de industria, Bioingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, 2023.

Estilo IEEE (2020)



Centro de Documentación de Ingeniería, CENDOI

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Cespedes

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina

Jefe departamento: John Fredy Ochoa Gómez

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedicado a mi hermana Lizeth y a mi hermano Alan, que siempre han sabido darme fuerza, motivación y tranquilidad cuando más lo he necesitado.

Agradecimientos

Cordial agradecimiento al hospital Alma Máter en el cual desarrollé mis prácticas, me brindó su apoyo, conocimiento y compromiso con la vida, a los colaboradores del departamento de ingeniería biomédica por su gran compañía durante mi paso por la institución, en especial a las ingenieras Yaneth Garzón y Lucía Uribe, que en su momento cada una como coordinadora del área dispusieron de su tiempo y conocimiento y a mis compañeros de prácticas y colegas que alcanzaron a compartir conmigo durante mis seis meses en la institución.

Le agradezco a todos mis profesores que me forjaron como bioingeniero, en particular al profesor John Fredy como asesor, siempre me acompañó y apoyo en todas las ideas. También agradezco particularmente a los profesores Javier, Juliana, Juan Guillermo y Ana por sus colaboraciones durante la práctica y a Jenny y Jonathan por su ayuda durante mi carrera. A todos mis compañeros y colegas con los que en algún momento llegué a compartir una idea o pensamiento y me han mejorado como profesional.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN	11
II. OBJETIVOS	13
A. Objetivo general	13
B. Objetivos específicos	13
III. MARCO TEÓRICO	14
Antropometría clínica	14
Equipos de medición	14
Tallímetro	14
Cinta métrica	15
Adipometro	15
Medición	15
Estatura	15
Perímetro braquial	15
Perímetro de pantorrilla	15
Telemedicina	15
Procesamiento digital de imágenes	16
Visión por Computadora	16
Imágenes digitales	16
Modelo de cámara	16
IV. METODOLOGÍA	18
Planteamiento metodología de adquisición de imágenes	18
Desarrollo de los algoritmos de CV para la medición	19

Desarrollo de la interfaz de trabajo	20
Evaluación de la tecnología	21
V. RESULTADOS	22
Metodología de adquisición de imágenes	22
Algoritmos para la medición de datos antropométricos	23
Desarrollo de la interfaz de usuario	27
Guía de usuario	28
VI. ANÁLISIS	34
VII. CONCLUSIONES	41
VIII. RECOMENDACIONES	42
REFERENCIAS	43
ANEXOS	46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Mediciones antropométricas obtenidas de forma semi-manual	35
Tabla 2: Medidas antropométricas obtenidas de forma automática.....	36

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1 Modelo “Pinhole” Cámara digital.....	17
Ilustración 2 Modelo de marcadores de pose.....	19
Ilustración 3 Aproximación cilíndrica de la extremidad superior.....	20
Ilustración 4 imágenes obtenidas a través de la metodología de adquisición.....	23
Ilustración 5 puntos de referencia del patrón.....	24
Ilustración 6 Diagrama de flujo del proceso de medición.....	27
Ilustración 7 Guía de usuario.....	28
Ilustración 8 Guía de usuario.....	28
Ilustración 9 Guía de usuario.....	29
Ilustración 10 Guía de usuario.....	29
Ilustración 11 Guía de usuario.....	30
Ilustración 12 Guía de usuario.....	31
Ilustración 13 Guía de usuario.....	31
Ilustración 14 Guía de usuario.....	32
Ilustración 15 Guía de usuario.....	33
Ilustración 16 Guía de usuario.....	33
Ilustración 17 Comparativa ubicación de marcadores corporales.....	39

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

UdeA	Universidad de Antioquia
PDI	Procesamiento Digital de Imágenes
CV	Visión por computadora
AD	Antropometría digital
RGB	Red, Green and Blue
HAM	Hospital Alma Máter
PB	Perímetro Braquial
PP	Perímetro de pantorrilla
TEM	Technical Error Measurement, Medida de error técnico

RESUMEN

En el trabajo se muestra el proceso por el cual se desarrolló un sistema de antropometría digital para el hospital Alma Máter que, por medio de imágenes digitales, es capaz de realizar identificar y cuantificar tres medidas antropométricas con relevancia clínica: la altura, el perímetro braquial y el perímetro de pantorrilla. Se determinó en primer lugar un modelo adecuado de cuerpo humano en las zonas corporales de interés y haciendo uso de algoritmos de visión por computadora, se pudieron calcular los puntos geométricos a partir de los cuales se pueden encontrar las medidas. Una vez identificados estos puntos, se emplean una medición de distancia lineal de los puntos en el espacio de la imagen que se puede relacionar con las medidas físicas de la persona a través de una referencia y con ello, tomar los datos antropométricos finales. Se diseñó además una interfaz de usuario para que los usuarios que deseen usar el sistema digital puedan usarlo de forma fácil y sencilla. Finalmente se prueba el producto final en algunas imágenes y se comparan los resultados obtenidos con las medidas reales, además de proponer mejoras y recomendaciones para una futura implementación en la institución hospitalaria.

***Palabras clave* — Antropometría digital, Visión por computadora, Medición automática de antropometría**

ABSTRACT

The paper shows the process by which a digital anthropometry system was developed for Alma Mater hospital. This system can identify and quantify three anthropometric measurements with clinical relevance: height, arm circumference and calf circumference by employing digital images of a person. First, a suitable model of the human body was determined for the areas of interest in the body and several geometric points, from which the anthropometric measurements are taken, were calculated using the computer vision algorithms. Once these points are identified, a linear distance measurement is applied to the points in the image space, this measure is linked with a reference object and this way, the final anthropometric data is obtained. A user interface is also designed so that the final users of the digital system can use it in an easy and simple way. Finally, the final product is tested on some images and the results obtained are compared with the real measurements, in addition to proposing improvements and recommendations for a future implementation in the hospital institution.

Keywords — **Digital anthropometry, Computer Vision, Automatic Anthropometry Detection**

I. INTRODUCCIÓN

La antropometría es la rama de la ciencia que se ocupa del estudio de la geometría y las proporciones del cuerpo humano. Esta es un área multidisciplinaria que combina conocimientos de la física, las matemáticas y la metrología y las aplica al cuerpo humano, permite medir, comparar y cuantificar las características geométricas del mismo [1]. Una aplicación de mucha importancia de esta ciencia se encuentra en la práctica clínica, donde la medición antropométrica puede verse como una medida indirecta del estado nutricional y de desarrollo de un paciente. Emplear medidas antropométricas estáticas de ciertas partes del cuerpo tales como la altura, perímetros de extremidades, cuello y tronco [2], toda esta información complementa la práctica clínica y permite hacer predicciones sobre el estado nutricional, de desarrollo y de bienestar del paciente.

En la práctica, para tomar todos los datos antropométricos relevantes, se emplean diferentes tipos de dispositivos graduados, comúnmente encontramos entre estos a los tallímetros, cintas métricas, antropómetro, plicómetro entre otros [3]. Si bien estos dispositivos son bastante confiables y dan buenas medidas, en ocasiones su uso puede ser inconveniente ya que requiere de un personal capacitado para su manejo que esté presente presencialmente para tomar las medidas necesarias. Con este proyecto se buscó desarrollar un software prototipo a través del cual tres medidas antropométricas de alta importancia clínica puedan ser obtenidas, estas son perímetro braquial, perímetro de pantorrilla y altura. Para desarrollar el sistema se emplean herramientas de software, lenguaje de programación Python y algoritmos de visión por computadora para poder obtener los datos antropométricos previamente mencionados a partir de simples imágenes digitales, que pueden ser capturadas con una cámara simple. La ventaja que presentaría un sistema como este sobre los métodos tradicionales radica en su facilidad de uso, ya que no se requeriría ninguna preparación para hacer las mediciones adecuadas y además, elimina la necesidad de que el personal asistencial esté presente a la hora de realizar las mediciones, lo que a futuro permitirá aplicaciones en el área de la telemedicina.

Para el desarrollo del trabajo se plantea en primer lugar una metodología de adquisición de imágenes basada en la literatura, que permita capturar la información antropométrica de la mejor manera posible. A continuación, se procede a desarrollar el sistema de procesamiento de las

imágenes, en donde una vez estas son cargadas, se usan algoritmos de procesamiento gráfico y de visión por computadora para hallar ciertos puntos de interés en el cuerpo, a partir de los cuales pueden encontrarse todas las longitudes y los perímetros objetivo. Posteriormente se diseña y aplica una interfaz de usuario que permite el manejo intuitivo de la aplicación. Finalmente se prueba la aplicación en un grupo reducido de imágenes y se determina que tan fielmente puede este sistema capturar las medidas antropométricas necesarias, de lo que se encuentra una alta exactitud. A partir de esto se sugieren mejoras y las condiciones a tener en cuenta para una futura implementación completa del proyecto dentro del hospital.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollar un sistema que a partir de fotografías digitales pueda determinar datos antropométricos con relevancia clínica para una persona.

B. Objetivos específicos

- Proponer una metodología de adquisición de fotografías digitales para la correcta obtención de medidas antropométricas
- Implementar técnicas de procesamiento digital de imágenes sobre fotografías digitales de una persona para la obtención de las medidas de la altura, perímetro braquial y perímetro de pantorrilla.
- Crear una interfaz de usuario que permita al personal clínico del hospital Alma Mater emplear el sistema para obtener los datos antropométricos de una forma facilitada.

III. MARCO TEÓRICO

Antropometría clínica

La antropometría, entendida como la disciplina que estudia la geometría y proporciones del cuerpo humano es de suma importancia en la práctica clínica ya que brinda al médico y al personal clínico de métodos y herramientas para el diagnóstico de la composición corporal de las personas. Con la aplicación de mediciones antropométricas “se realiza la medición del tamaño corporal, el peso y las proporciones, que constituyen indicadores sensibles de la salud, desarrollo y crecimiento” (Suverza y Haa) [4]. Las mediciones antropométricas corresponden de esta manera a una forma de buscar la salud de los pacientes, buscando información que de indicios de su composición corporal, esto es útil tanto en adultos, donde las medidas están relacionadas con los depósitos de tejido adiposo y estado nutricional general del paciente [5], como en niños e infantes, donde la antropometría es la mejor fuente de información respecto al estado del crecimiento de los pacientes pediátricos [6]. Una buena adquisición de datos antropométricos permite tener un control adecuado sobre el estado nutricional del paciente y desarrollar en base a esto estrategias preventivas de diferentes enfermedades relacionadas, como pueden ser la obesidad, hipertensión o afecciones cardiovasculares. Adicionalmente se pueden encontrar otras aplicaciones de interés de los estudios antropométricos en otros campos tales como la ergonomía y optimización de espacios laborales. [1]

Equipos de medición

Los equipos de medición empleados en el área de la antropometría corresponden a dispositivos mecánicos simples, con algún tipo de graduación que permite medir longitudes, ángulos y arcos. Algunos de los aparatos de medición antropométrica y que se relacionan con el desarrollo del trabajo se describen a continuación:

Tallímetro: Escala métrica con un brazo móvil para graduar la posición y así medir distancias lineales en el paciente, típicamente empleada para determinar la altura de una persona [1]

Cinta métrica: Cinta graduada la cual se emplea en la medición de perímetros corporales [1]

Adipometro: Permite la medición de pliegues sobre el cuerpo [1]

Medición

La forma de medir y registrar los datos antropométricos de interés dependerá de lo determinado por la institución, normatividad vigente y experiencia del profesional del área de la salud para cada institución. Se cuenta además con la norma ISO 7250-1 en la que se definen hasta 56 tipos diferentes de medición, tanto estructurales como funcionales que pueden ser aplicadas a todo tipo de estudios antropométricos. Esta norma da un instructivo de como tomar datos con dispositivos de medición tradicionales. Los avances en medición digital también han dado pie a la creación del estándar ISO 20685-1, la cual describe el procedimiento para toma de mediciones con tecnologías de escáner 3D. A continuación, se describen las tres principales medidas antropométricas a tratar en el proyecto de acuerdo con su definición en la norma ISO 7250-1 [7]

Estatura: distancia vertical desde el suelo hasta el punto más alto de la cabeza

Perímetro braquial: Máxima circunferencia del brazo en el plano transversal

Perímetro de pantorrilla: Máxima circunferencia de la pantorrilla en el plano transversal

Estas son tres medidas esenciales, siendo la más reconocida quizás la estatura, esta es usada junto con el PB (Navarro y Marchini) [5] Como una medida primaria de obesidad en adultos, mientras que *Cuervo et Al* han hecho estudios que revelan la revelan una relación directa entre medidas del PP y el riesgo de desnutrición en adultos mayores [8], los cuales son una población hospitalaria muy importante.

Telemedicina

Según la definición dada por Casado García, telemedicina “se refiere al ejercicio médico a distancia mediante recursos tecnológicos que optimizan la atención, ahorrando tiempo y costes y aumentando la accesibilidad” [9]. Esta es una modalidad de medicina en auge y en Colombia la oferta de servicios de telemedicina incrementó hasta en un 25% entre diciembre de 2020 y

diciembre de 2021 [10]. Esta es una tendencia importante donde la aplicación de la antropometría digital a través de fotografías puede ejercer un papel importante, ya que es el único método de medición antropométrica que no requiere la presencia física de la persona cuyas medidas se van a registrar [11].

Procesamiento digital de imágenes

Es todo conjunto de técnicas para descubrir o resaltar información contenida en una imagen (Domínguez 1996) [12]. El PDI cuenta con varios campos de estudio y tiene aplicaciones muy variadas tales como la exploración espacial, cartografía automatizada o imagenología médica [12] que en los últimos años ha sido objeto de bastantes investigaciones y estudios.

Visión por Computadora

La visión por computadora o Computer Vision (CV) es un amplio campo de estudio, el cual tiene por objeto “Tomar decisiones útiles sobre objetos físicos y entornos basados en imágenes capturadas” (Stockman and Shapiro) [13]. Esto puede entenderse como todo el conjunto de herramientas y métodos para la construcción de modelos basados en la información contenida en una imagen y a partir de ahí, realizar una descripción de lo que se ve [13].

Imágenes digitales

Una imagen digital es un arreglo de filas y columnas, a las que cada una de sus celdas, llamadas píxeles, les corresponde uno, o múltiples valores numéricos, dependiendo del tipo de imagen. Estos valores representan la intensidad de cierto color para imágenes a color, o el brillo en caso de imágenes a blanco y negro. Adicionalmente existen también imágenes de profundidad, las cuales contienen un canal más, el cual contiene información respecto a la profundidad de los objetos, este tipo de imágenes se dice que se encuentran en dimensión “2.5D” [14]

Modelo de cámara

Las cámaras digitales que se usan a diario y que son empleadas en los métodos de antropometría digital basados en fotografía se estudian empleando el modelo “Pinhole Camera Model”. Este modelo, el cual se ilustra en la figura 1, considera a la cámara como un punto fijo, este es el obturador por el cual pasan todos los rayos, debido a la intensidad lumínica de cada uno

de los rayos provenientes del objeto se produce una señal en el sensor de la cámara digital, el cual genera a su vez una señal de respuesta que es interpretada como la intensidad del píxel. Es crucial mencionar que el objeto real, la cámara y la imagen digital se encuentran en sistemas de coordenadas cartesianas diferentes, para conocer la ubicación de los objetos reales en base a la fotografía es necesario conocer los parámetros intrínsecos de la cámara estos son los focos en dirección cartesiana x y y , y los puntos principales también en cada una de las direcciones, estos puntos representan la diferencia longitudinal o distancia en pixeles entre los dos sistemas de coordenadas.

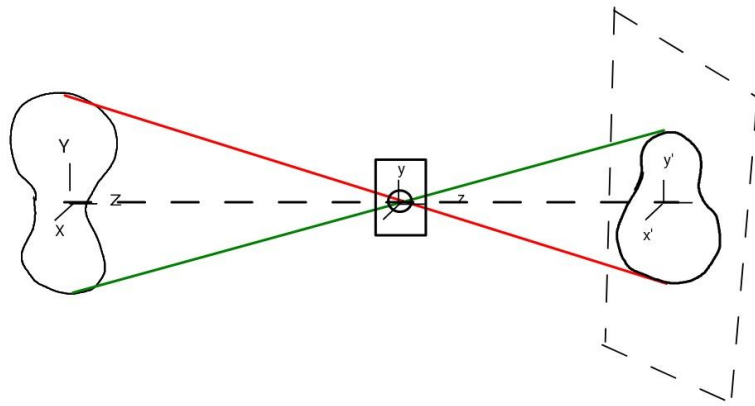


Ilustración 1 Modelo “Pinhole” Cámara digital

Para una cámara determinada, es posible determinar los parámetros intrínsecos si se conoce al menos la ubicación de un punto. Sea $P(X,Y)$ un punto cualquiera con coordenadas X,Y en el plano del objeto real y p' (x',y') la representación de ese punto en el sistema de coordenadas de la cámara, las relaciones entre las coordenadas de P y p' están dadas por las ecuaciones (1) para el eje X y (2) para el eje Y .

$$X = fx * x' + cx \quad (1)$$

$$Y = fy * y' + cy \quad (2)$$

Donde fx, fy son los focus en cada uno de los ejes y cx, cy los puntos principales, o distancia entre ejes. Si se llevan estas ecuaciones a una matriz homogénea se obtiene la ecuación matricial en (3):

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Esta matriz representa una transformación de la imagen.

IV. METODOLOGÍA

De acuerdo con objetivo y fase del proyecto se emplearon las siguientes metodologías.

Planteamiento metodología de adquisición de imágenes

En primer lugar, se planteó una metodología de adquisición de imágenes, que planteara un procedimiento sencillo pero efectivo para obtener imágenes de calidad con la calidad suficiente para evitar la pérdida de información y cálculos erróneos. Para el desarrollo de esta metodología se hizo en primer lugar una lista de requisitos desde la parte clínica y las mediciones antropométricas, para ello se usaron tres fuentes:

- La metodología contenida en las normas ISO 7250-1 y 20685-1 [15] de mediciones antropométricas y mediciones antropométricas por escáner 3D. A pesar de que estas normas no contienen apartados relacionados con mediciones antropométricas a partir de la fotografía digital, se tomó la información adaptándola en la medida de lo posible a las necesidades del proyecto.
- La experiencias y metodologías empleadas por el personal asistencial del Hospital Alma Máter.
- Referenciación bibliográfica en otros proyectos del área, en particular *Trivedi et Al* [16] y *Liu Y, Sowmya A, y Khamis H* [17] utilizaron dos metodologías de procesamiento diferente, aun así, llegaron a la misma conclusión: tres imágenes diferenciadas son suficientes para una buena adquisición de AD.

La metodología debe además cumplir con ciertos aspectos para su posterior uso, evaluación y mejora, esta debe ser repetible, fácil de seguir y debe poder ser contrastada con otras posibles metodologías que se planteen a futuro

Desarrollo de los algoritmos de CV para la medición

Para el desarrollo de los algoritmos de procesamiento que permiten obtener los resultados, se emplearon herramientas propias del lenguaje de programación Python, el cual ofrece gran flexibilidad para el trabajo en CV. En particular se usó de forma intensiva las librerías OpenCV [18] para el manejo de imágenes y el framework MediaPipe [19], ambas de código abierto, para la estimación de marcadores en el cuerpo, a partir de los cuales se comienza una aproximación de la geometría corporal.

Inicialmente se comienza utilizando el modelo de puntos de referencia (Landmark Pose Model) para encontrar los marcadores, todos los posibles marcadores se muestran en la figura 2 [19] sin embargo, sólo se usan los necesarios para las mediciones de la altura y las extremidades la imagen que se esté procesando, estas serían ojo, hombro, codo, rodilla, tobillo y talón, este último es una medida indirecta de la posición del suelo para la determinación de la altura. Estos puntos son marcados en cada imagen.

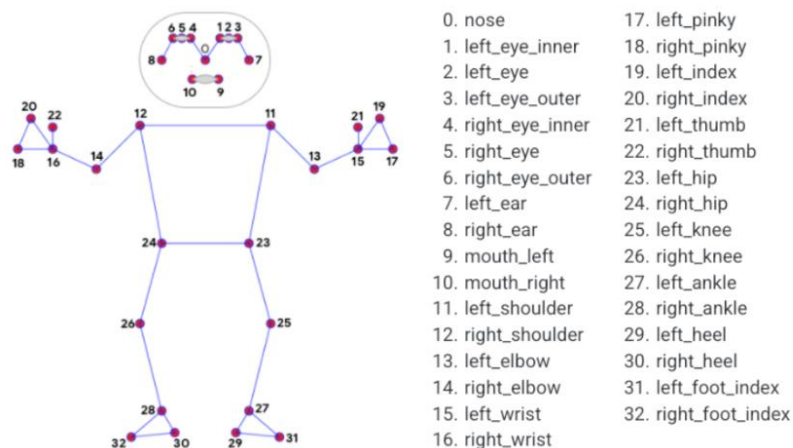


Ilustración 2 Modelo de marcadores de pose

Para encontrar los perímetros de cada uno de los brazos y las pantorrillas, en primer lugar, se debe determinar la altura a la cual se calcula el perímetro, para ello se emplea una aproximación

cilíndrica de las extremidades, donde el perímetro de la extremidad puede aproximarse al perímetro de un cilindro envolvente sobre la misma, tal como se muestra en la figura 3. En vista de que ni el brazo ni la pantorrilla son de perímetro uniforme, se toma la máxima circunferencia sobre cada extremidad que se localiza, en altura, aproximadamente en el punto medio, el cual también se marca sobre la imagen.

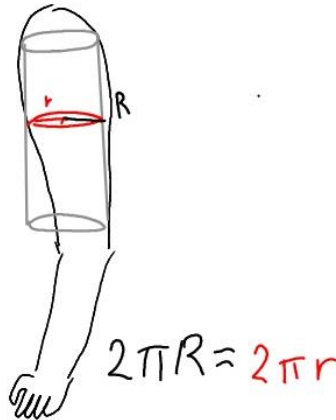


Ilustración 3 Aproximación cilíndrica de la extremidad superior

Para determinar la circunferencia se debe hallar el diámetro, esto se hizo encontrando los puntos extremos de cada extremidad en dirección horizontal, empleando el algoritmo de detección de Canny [20], el cual consiste en un proceso de filtrado, búsqueda del gradiente y eliminación de píxeles fuera de los bordes, este algoritmo se implementa con la librería OpenCV.

Finalmente, al aplicar el proceso de calibración, se halla la matriz de transformación de la imagen usando como referencia el objeto patrón, de esta forma pueden convertirse los puntos de coordenadas de imagen a coordenadas de objeto y aplicando geometría y aritmética básica, pueden ser calculadas las tres medidas de interés.

Desarrollo de la interfaz de trabajo

El manejo de los algoritmos es difícil para los usuarios que no poseen conocimientos de desarrollo de software, por esta razón se implementa una interfaz general de usuario (GUI), basado

en el paradigma de la programación orientada a eventos y utilizando la librería PyQt5 [21] como base de trabajo.

Evaluación de la tecnología

Para la evaluación del trabajo se registraron 15 paquetes de tres fotos obtenidas a partir de la metodología planteada tal como se muestra en la figura 4. A partir de estos paquetes obtenidos se agregan al programa para obtener las mediciones realizadas a través de este. A estos datos se les compara a través del porcentaje de error con las mediciones antropométricas reales, altura, PB, PP obtenidas a través de métodos tradicionales, con los cuales se espera obtener resultados que no pasen de los 0.5 cm según

V. RESULTADOS

Metodología de adquisición de imágenes

Se planteo una metodología de adquisición de imágenes basada en ideas de la literatura, las necesidades a nivel computacional para obtener imágenes de buena calidad y la experiencia del personal clínico en la toma de medidas antropométrías con elementos tradicionales, el resultado paso a paso se enlista a continuación.

1. Localizar al paciente en un espacio estable y bien iluminado, con un fondo de un solo color, de preferencia blanco.
2. Quitar los zapatos, gorros, anteojos y otro tipo de accesorios del paciente. Los brazos y la pantorrilla deben estar completamente descubiertos.
3. Preparar la cámara para la adquisición de imágenes, esta puede ser una cámara digital dedicada o bien emplear la aplicación de cámara de un dispositivo móvil.
4. Localizar un objeto de referencia para la calibración de la cámara en la adquisición automática de AD.
5. Acomodar al paciente en posición anatómica mirando de frente a la cámara, sin tapar el objeto de referencia, asegurándose de que se encuentra erguido y apoyando completamente la planta de los pies sobre el suelo. Capturar una foto en este momento.
6. Indicar al paciente realizar un giro de 90° en sentido antihorario, de tal forma que el plano sagital del cuerpo quede paralelo al plano de la cámara, con los ojos apuntando en dirección derecha en la cámara. Capturar una foto en este momento.

7. Indicar al paciente realizar un giro de 180° , de tal forma que el plano sagital del cuerpo quede paralelo al plano de la cámara, con los ojos apuntando en dirección izquierda en la cámara. Capturar una foto en este momento.

8. Asegurarse de que las fotografías fueron capturadas correctamente y enviarlas al personal clínico que usará la aplicación de AD.

Una vez aplicada la metodología correctamente, se obtendrá como resultado tres fotografías como las que se muestran en la figura 4.a, 4. b y 4.c.

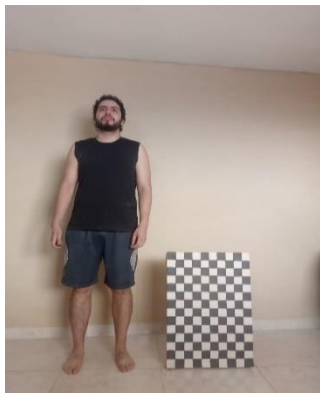


Figura 4.a



Figura 4. b



Figura 4.c

Ilustración 4 imágenes obtenidas a través de la metodología de adquisición

Figura 4.a: Posición frontal obtenida de la metodología

Figura 4.b: Posición lateral derecha obtenida de la metodología

Figura 4.c: Posición lateral izquierda obtenida de la metodología

Algoritmos para la medición de datos antropométricos

El proceso de medición antropométrica comienza con la carga de la imagen, esta se realiza con la ayuda de la librería PyQt con la que se desarrolló la interfaz general de usuario, gracias a esto puede emplearse el navegador para escoger la imagen de forma gráfica y su dirección local queda guardada en una variable global, lo que permite utilizar la imagen en cualquier punto del programa una vez ya fue cargada.

Se procede a realizar una calibración e identificación del patrón con la cámara. La calibración permite reducir las distorsiones radiales y tangenciales que se hubiesen producido en la imagen.

Primero se encuentran los puntos de las imágenes usando la función *findChessboardCorners* de openCV, la cual tiene como parámetros de entrada la dirección de la imagen, que se pasa como argumento de entrada con la variable global y la dimensión de la cuadrícula *ixj*, que en este caso se toma de forma variable, comenzando con una dimensión de 2x2 y aumentando una dirección en el eje horizontal y otra en el vertical respectivamente, hasta que encuentra una dimensión clara que puede identificar. Una adaptación del código que permite hacer esto se encuentra a continuación:

```
for i in range(3,10)
    for j in range(3,14):
        if f_find:
            [ret, corners] = cv2.findChessboardCorners(imagen, [i,j])#ret,
            if ret == True:
                ii=i
                jota=j
                corners_x=corners[:,0,0]
                corners_y = corners[:, 0, 1]
                f_find=False
```

Un ejemplo de los puntos encontrados se muestra como ejemplos en la ilustración 5



Ilustración 5 puntos de referencia del patrón

Este proceso se repite con las tres imágenes de las diferentes vistas y la variable `corners` del método, aplicado a cada una de las imágenes, se guarda en una lista llamada `imgpoints`, estos son los puntos de imagen.

Para tomar los puntos de objeto, para identificarlos en todas las imágenes, en este caso es un sencillo proceso ya que, al ser sólo tres imágenes, se pueden agregar directamente los objetos a una lista llamada `objpoints`, estos son los mismos ya que denotan simplemente los puntos del patrón que no cambian, con la dimensión ya obtenida, un código para hacer eso se muestra a continuación:

```
objpoints=[]
for o in range(3):
    objp = np.zeros((jota * ii, 3), np.float32)
    objp[:, :2] = np.mgrid[0:ii, 0:jota].T.reshape(-1, 2)
    objpoints.append(objp)
```

Luego se aplica la calibración con la función `calibrateCamera`, que toma las listas de puntos y funciones de corrección como argumentos, este último de forma opcional. Su salida son las matrices y coeficientes de distorsión de la cámara, que a su vez son entradas de la función `undistort` que permite corregir distorsiones por cámara y calcular mejor las distancias lineales de un espacio 3D capturado en una imagen 2D. Esta función arroja una nueva imagen del mismo tamaño y formato que la original, las correcciones son en su mayor medida invisibles al ojo, pero su efecto en la distancia entre píxeles permite obtener una medición ligeramente mejor.

```
ret, mtx, dist, rvecs, tvecs = cv.calibrateCamera(objpoints, imgpoints,
imagen.shape[::-1], None, None)
new_imagen = cv.undistort(imagen, mtx, dist, None)
```

Algunos métodos de refinamiento para la obtención de los datos de calibración serán objeto de discusión en la sección de análisis de resultados. Por último, a la nueva imagen se le aplica una última búsqueda de puntos en el patrón. Se toma la diferencia en píxeles entre cuadros consecutivos y se promedia, dando como resultado el número de píxeles por cuadro, identificado como `px_x` para una distancia horizontal y como `px_y` para una distancia vertical. El lado de cada cuadro se sabe que mide 5cm, por lo tanto, la distancia lineal en unidades reales de dos puntos cualquiera, en

el eje de coordenadas está dada por $(\frac{5cm*dx}{px_x}, \frac{5cm*dy}{px_y})$ donde dx y dy son las distancia horizontal y vertical, respectivamente, en pixeles.

Para la obtención de las medidas finales resta solamente encontrar los puntos adecuados en cada región anatómica para tomar sus diferencias y calcular así la distancia lineal. Para la medición manual estos puntos son los marcados como entrada por el usuario y es uno de los métodos principales de obtención de las medidas. La medición automática es una segunda estrategia que aprovecha la funcionalidad del framework mediapipe para la selección de puntos de interés como los que se observan en la figura dos. Para las medidas antropométricas que tenemos como objetivo interesa identificar puntos como los ojos y talones para calcular la altura, codos y hombros para el perímetro braquial y rodillas y tobillos para la circunferencia de pantorrilla.

Una vez se encuentra la distancia lineal, en unidades reales, de los puntos se deja la altura como la distancia lineal de la punta de la cabeza al suelo (identificado por el talón), mientras que la circunferencia de brazo y pantorrilla se calcula empleando el diámetro obtenido como medición lineal. Las medidas se guardan en una base de datos para su posterior visualización, para esta entrega se empleó un documento de MSEXcel con filas y columnas que se actualizan de forma automática cada vez que se termina el proceso, sin embargo, otras opciones deben explorarse para una implementación real a nivel institucional.

El flujo de proceso llevado a cabo se puede ver resumido en el flujograma de la ilustración 6.

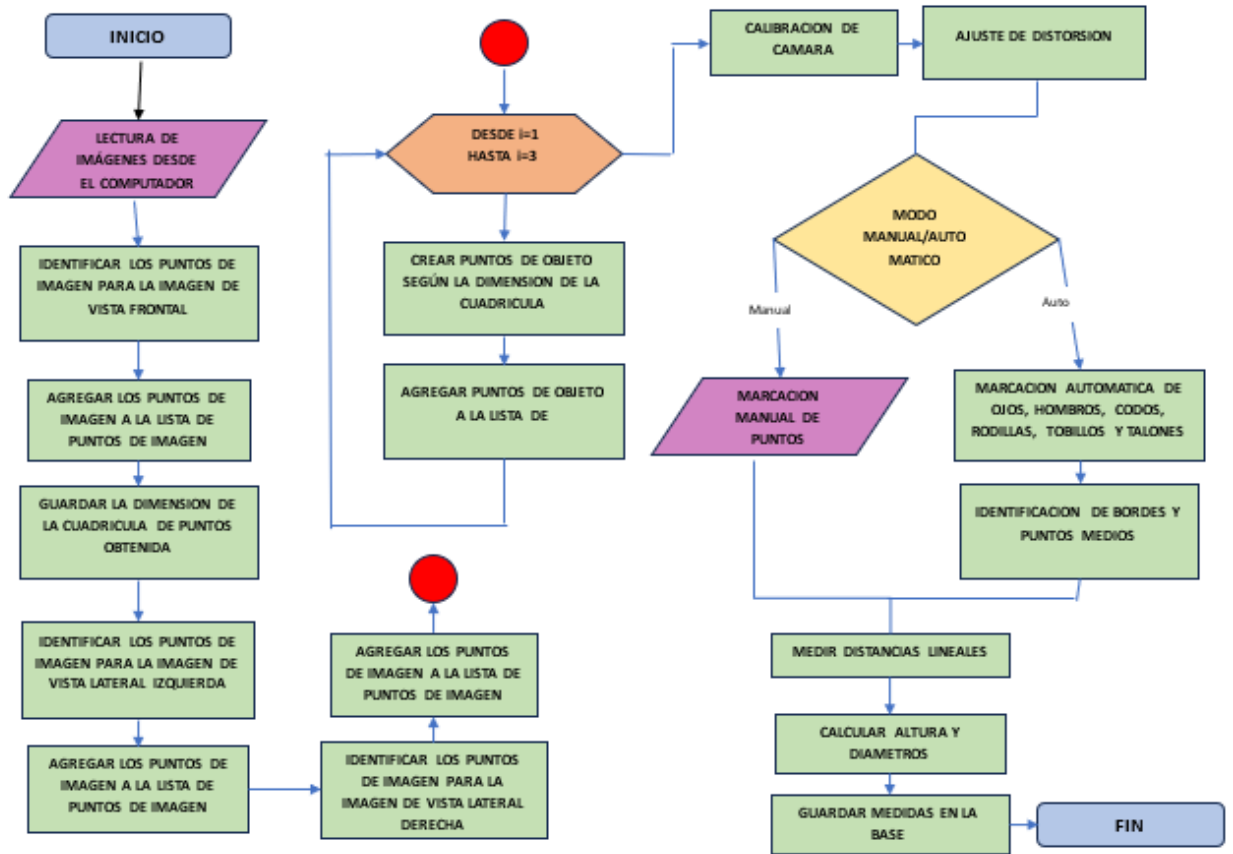


Ilustración 6 Diagrama de flujo del proceso de medición

Desarrollo de la interfaz de usuario

En las páginas subsiguientes se muestra el producto final del proceso de planeación, diseño y generación de la interfaz de usuario, junto con la implementación de los algoritmos de medición antropométrica, a través de la guía de usuario de la aplicación. El recorrido a través del programa se hace como se describe a continuación, paso a paso desde su instalación hasta su ejecución, en conjunto con las ilustraciones de la 7 a la 16 para su fácil entendimiento.

Guía de usuario

1. Ejecute el instalador de la aplicación.

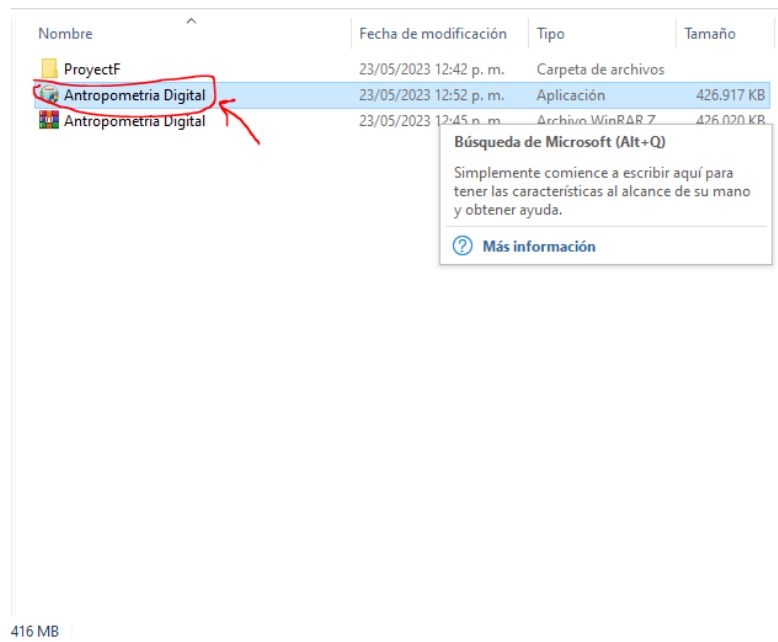


Ilustración 7 Guía de usuario

2. Seleccione la ubicación de la aplicación y presione *Install*.

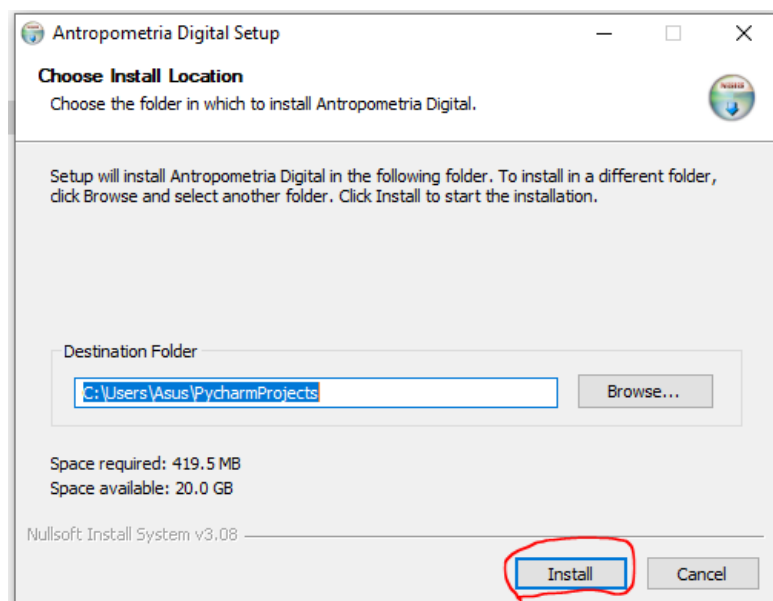


Ilustración 8 Guía de usuario

3. Una vez instalado, vaya a la carpeta de instalación y ejecute el archivo main.py

Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
.idea	🟢	23/05/2023 1:01 p. m.	Carpeta de archivos	
__pycache__	🟢	23/05/2023 1:01 p. m.	Carpeta de archivos	
DB	🟢	23/05/2023 1:01 p. m.	Carpeta de archivos	
GUI	🟢	23/05/2023 1:01 p. m.	Carpeta de archivos	
chesscorners	🟢	11/04/2023 10:45 p. m.	JetBrains PyCharm	3 KB
frontal	🟢	19/05/2023 11:50 a. m.	JetBrains PyCharm	10 KB
main	🟢	23/05/2023 3:31 a. m.	Aplicación	429.473 KB
main	🟢	23/05/2023 2:58 a. m.	JetBrains PyCharm	9 KB
PruebasAntropometricas	🟢	17/05/2023 10:31 p. m.	JetBrains PyCharm	3 KB
vistaLateral	🟢	14/05/2023 1:02 a. m.	JetBrains PyCharm	6 KB
vistaRateral	🟢	14/05/2023 1:02 a. m.	JetBrains PyCharm	6 KB

Ilustración 9 Guía de usuario

4. Se abrirá el menú principal con varias opciones, en primer lugar, presione el botón Calibración

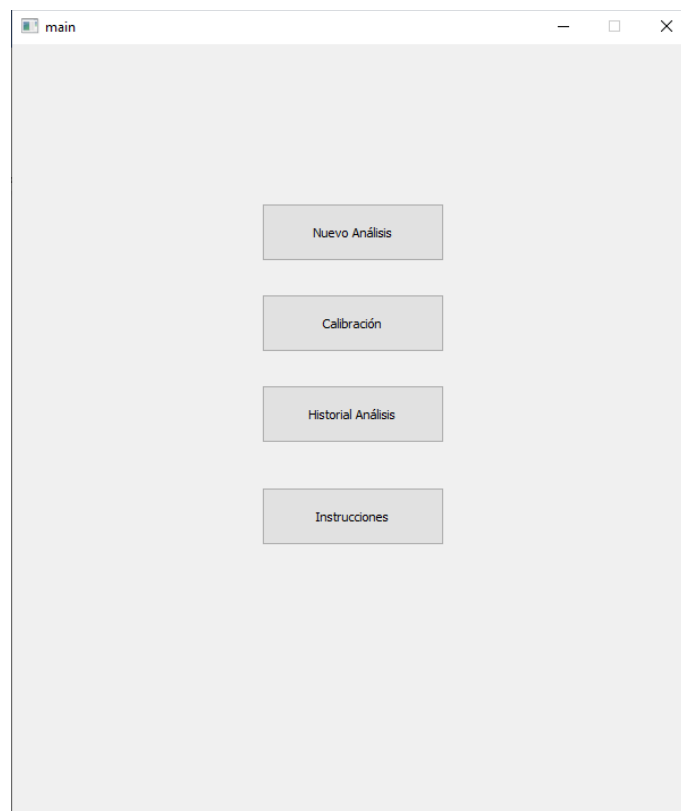
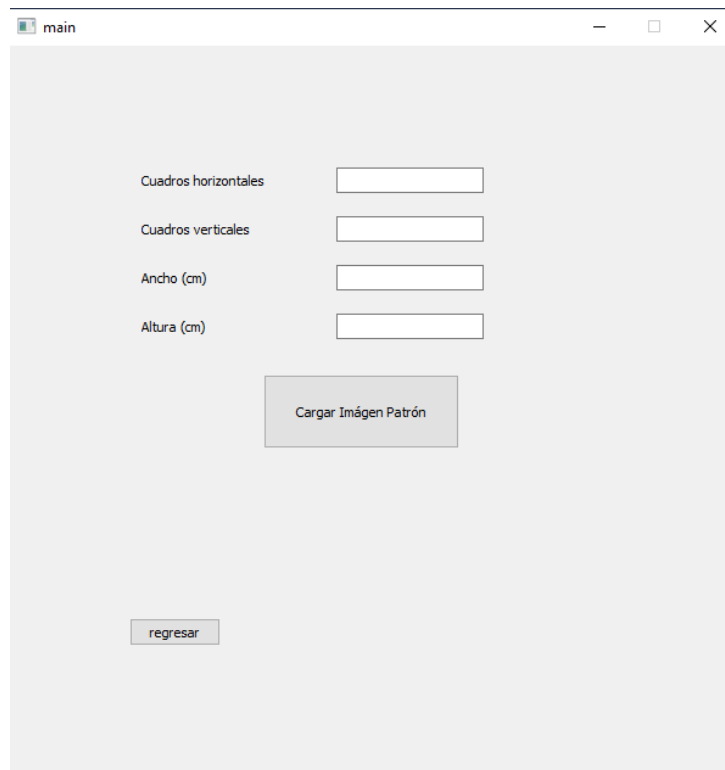


Ilustración 10 Guía de usuario

5. Una vez en el menú de calibración debe ingresar los datos del elemento patrón ingresado, este debe ser un patrón tipo ajedrezado y se ingresa la información de longitud, altura y número de cuadros, posteriormente presionar el botón Cargar Imagen Patrón, un mensaje de confirmación aparecerá y puede regresar al menú principal. Esta configuración permanecerá mientras la aplicación este abierta y puede cambiarse en cualquier momento. Si se cierra y se abre nuevamente la aplicación debe realizarse el proceso otra vez.



The image shows a screenshot of a software application window titled "main". The window contains a calibration form with the following elements:

- Four input fields for data entry:
 - Cuadros horizontales
 - Cuadros verticales
 - Ancho (cm)
 - Altura (cm)
- A button labeled "Cargar Imagen Patrón" centered below the input fields.
- A button labeled "regresar" located at the bottom left of the window.

Ilustración 11 Guía de usuario

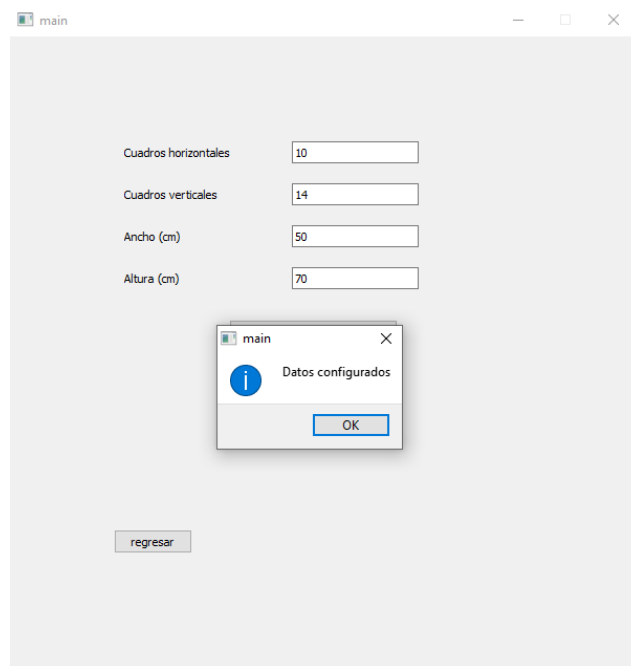


Ilustración 12 Guía de usuario

- Al regresar al menú principal presione el botón Nuevo Análisis, esto lo llevará al menú de análisis antropométricos. Este menú tiene tres botones a través de los cuales puede cargar la imagen adecuada según la metodología de adquisición. Presione el botón para cargar la imagen y una vez estén todas cargadas, puede seleccionar medición manual o automática.

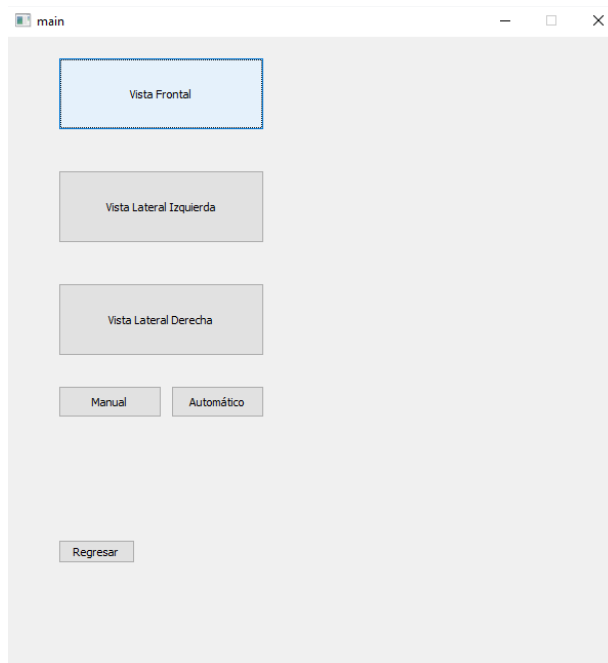


Ilustración 13 Guía de usuario

- Si desea hacer una medición manual, solo es necesario cargar una imagen frontal. Presione el botón Vista Frontal y seleccione la imagen desde su equipo. Cuando se cierre el menú de carga de imagen presione el botón Manual, la imagen que cargó aparecerá (esto puede tardar un tiempo) y deberá ingresar 6 puntos: uno en la frente, otro en el suelo, dos en el borde de los brazos y dos en el borde de la pantorrilla. Cuando los seis puntos sean detectados una gráfica con los datos aparecerá. Puede dibujar unos nuevos seis puntos sobre la imagen para medir nuevamente. Para cerrar presione la tecla ESC que lo llevará nuevamente al menú de análisis.

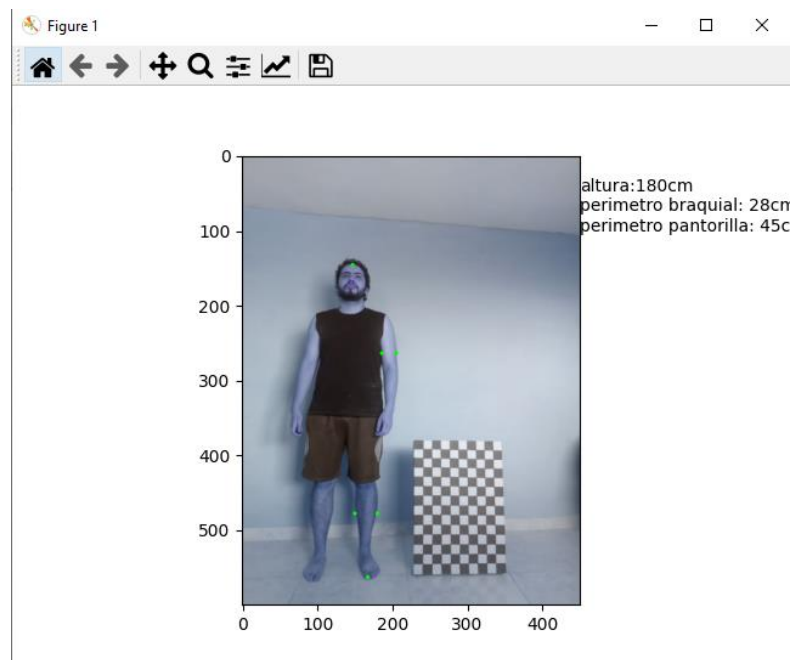


Ilustración 14 Guía de usuario

- Para el modo automático de medición debe cargar las tres fotos empleando el botón apropiado, ya sea vista frontal, lateral izquierda o lateral derecha y presionar el botón Automático, el programa entregará los resultados en unos momentos en una nueva imagen de tres vistas.

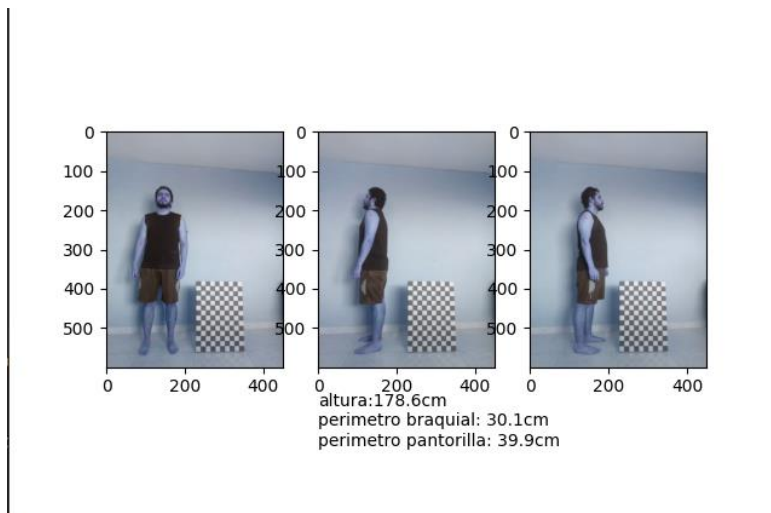


Ilustración 15 Guía de usuario

9. Para finalizar, puede revisar todos los estudios realizados con la información de fecha, altura, PB y PP presionando el botón Historial Análisis del menú principal.

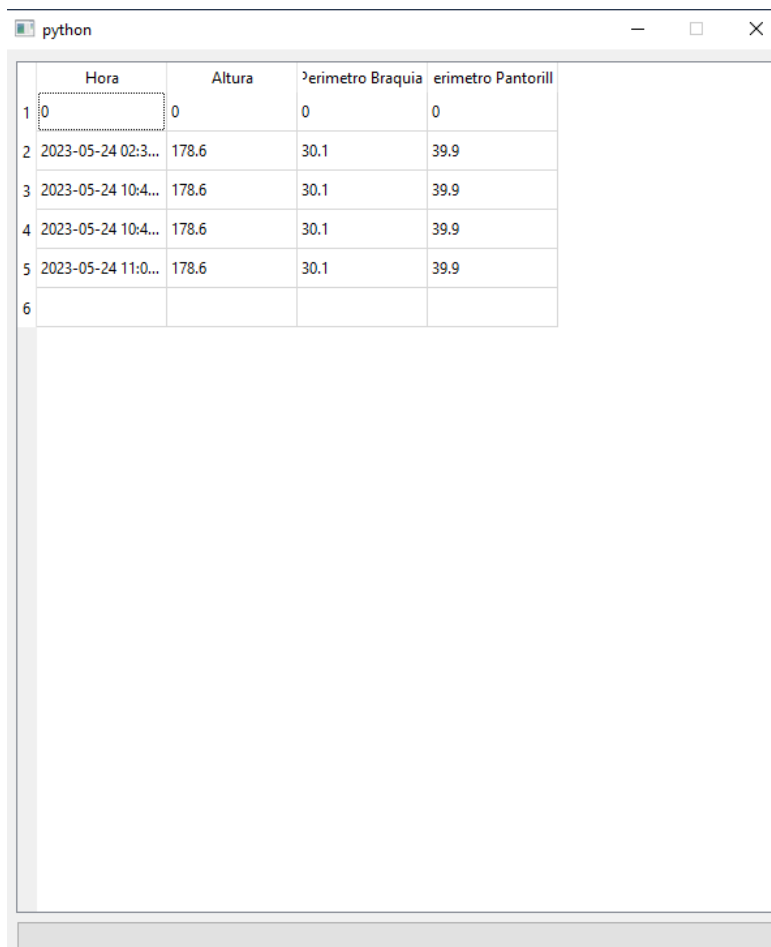


Ilustración 16 Guía de usuario

VI. ANÁLISIS

En el proceso de evaluación se utilizaron 15 paquetes de tres fotos obtenidos a través de la metodología de adquisición diseñada, a partir de un mismo sujeto control, del cual se conocían los datos antropométricos altura = 178.0 cm, PB= 30.0 cm y PP= 39.5cm. Los paquetes de fotos empleados se muestran en el anexo A. Si bien el programa puede tomar la medida con muchas cifras decimales, el valor consignado y el cual se muestra en el historial se registra solamente con una cifra significativa, para evitar la confusión del personal y en cierta forma imitar la resolución de los métodos tradicionales de medida.

Ambas estrategias de medición (manual y automática) fueron empleadas en el mismo set de datos para comparar los resultados obtenidas en las dos. Las mediciones manuales obtenidas a través de la aplicación se colocaron en la tabla I, junto con la diferencia a la medida real, posteriormente se calcula el error TEM (Technical Error Measurement) .

El error TEM es una medición de error basada en la desviación estándar empleada típicamente en el área de la antropometría para determinar la calidad y fiabilidad de grupos de datos, tanto en grupos inter-sujeto como intra-sujeto [22] . Este valor se calcula para el grupo de muestras y como presentan *S. Ulijaszek* y *D. A. Kerr* y [22] está dado por la ecuación (3)

$$TEM = \sqrt{(\Sigma D^2)/2N}, \quad (3)$$

Donde D es la diferencia en metros y N el número de muestras.

Tabla 1 Mediciones antropométricas obtenidas de forma manual

Altura		Perímetro Braquial		Perímetro de pantorrilla	
Estimación (cm)	Diferencia (cm)	Estimación (cm)	Diferencia (cm)	Estimación (cm)	Diferencia (cm)
180.0	2.0	28.9	1.1	45.3	5.8
178.3	0.3	33.1	3.1	36.3	3.2
180.1	2.1	31.1	1.1	37.0	2.5
180.1	2.1	33.2	3.2	38.0	1.5
179.7	1.7	32.4	2.4	38.2	1.3
178.2	0.2	29.9	0.1	36.2	3.3
179.0	1.0	30.3	0.3	39.1	0.4
179.7	1.7	31.1	1.1	42.2	2.8
176.3	1.7	32.2	2.2	40.5	1.0
178.4	0.4	32.2	2.2	37.6	1.9
178.4	0.4	33.0	3.0	38.5	1.0
179.1	1.1	31.2	1.2	39.1	0.4
178.2	0.2	32.2	2.2	38.2	1.3
179.0	1.0	31.1	1.1	39.1	0.4

Los valores de error asociados son los que se muestran a continuación.

Para la altura:

$$TEM_{manual} = 0.0092m = 0.92cm$$

Para PB:

$$TEM_{manual} = 0.0136m = 1.36cm$$

Para PP:

$$TEM_{manual} = 0.0164m = 1.64cm$$

El segundo modo de funcionamiento es el modo automático, el cual requiere cargar las tres fotografías obtenidas de la medición. De igual manera que con el modo manual, se consignaron los resultados obtenidos en la tabla II junto con el error para cada medición.

Tabla 2: Medidas antropométricas obtenidas de forma automática

Altura		Perímetro Braquial		Perímetro de Pantorrilla	
Estimación (cm)	Diferencia (cm)	Estimación (cm)	Diferencia (cm)	Estimación (cm)	Diferencia (cm)
186,1	8,1	32	2	39,7	0,2
178,3	0,3	30,1	0,1	39,9	0,4
186,2	8,2	31,8	1,8	39,6	0,1
185,5	7,5	30,8	0,8	-1	-
178,6	0,6	30,1	0,1	39,5	0
178,2	0,2	33,6	3,6	39,9	0,4
178,3	0,3	33,1	3,1	39,5	0
178,3	0,3	33,5	3,5	39,6	0,1
178,3	0,3	30,2	0,2	39,9	0,4
185,4	7,4	20,5	9,5	-1	-
186,8	8,8	20,9	9,1	102,8	63,3
186,1	8,1	32	2	39,7	0,2
175,1	2,9	30,6	0,6	-1	-
185,5	7,5	30,8	0,8	-1	-

En el caso de las mediciones automáticas contamos con datos bastante atípicos, debido a que no hay ningún tipo de entrada humana en el proceso es factible que el sistema no estime correctamente y en algunos casos no pueda encontrar los puntos necesarios para el cálculo de las medidas, como en el caso de la medición del PP de las fotos 4,11,14 y 15, esto es representado por un resultado -1, el cual no se tendrá en cuenta para el cálculo del error TEM. Adicionalmente se retiró el resultado número 12, el cual puede evidenciarse que no logró encontrar el punto adecuado. De esta manera se encuentran los siguientes resultados:

Para la altura:

$$TEM_{auto} = 0.0388m = 3.88cm$$

Para el PB

$$TEM_{auto} = 0.0271m = 2.71cm$$

Para el PP

$$TEM_{auto} = 0.0017m = 0.17cm$$

Tradicionalmente no es sencillo estimar el error aceptable en un conjunto de datos antropométricos, si bien la norma ISO 20685-1 describe procedimientos para mantener un estándar de medición en medidas antropométricas, estos sólo aplican para métodos de escáner 3D, ya que la adquisición de datos antropométricos a través de fotografías digitales no es una metodología muy usada. Se aplicó entonces una comparativa empleando la medida del error técnico (TEM).

Ulijaszek y Kerr, en su publicación *Anthropometric measurement error and the assessment* [22] lograron hacer una recopilación exhaustiva de varios estudios antropométricos realizados tanto en adultos y niños. De esta forma lograron recopilar una tabla para analizar la validez de las medidas según el TEM, clasificados de acuerdo con el sexo y la edad de los pacientes. Los valores de referencia para el máximo TEM aceptable se consignan en el anexo B. Esta metodología ha sido revisada y empleada por otros autores con buenos resultados. [23]

Para el análisis de los resultados obtenidos se trabajó con los valores de referencia de un adulto de sexo masculino en el rango de los 18 a los 65 años, que corresponde con la demografía del sujeto de prueba. Se escoge un coeficiente de confianza $R=0.95$, con el cual se considera que el 95% de la varianza en la medida se debe a valores externos al elemento de medición, en este experimento en particular ese 5% de varianza se debe principalmente a las condiciones al momento de capturar el paquete de fotos como puede ser iluminación, configuración de la cámara y fondo en caso de las mediciones automáticas. El posicionamiento del paciente, el cual es crucial para una buena medición se controló a partir de la buena aplicación de la metodología de adquisición.

Para las mediciones antropométricas se tiene que la altura, medida de forma manual, cuenta con un $TEM=0.92\text{cm}$, el cual es menor que el TEM máximo aceptable para la altura de 1.52cm ($R=0.95$). Para el PB el TEM máximo aceptable es de 0.73cm , muy inferior al obtenido para la muestra que es de 1.36cm . Los autores *Ulijaszek y Kerr* no definen un TEM máximo aceptable para el perímetro de pantorrilla, sin embargo, en su meta-investigación lograron encontrar hasta ocho estudios diferentes, donde se mide esta característica con un TEM promedio de 0.29cm ($R=0.99$), inferior al obtenido por la aplicación de 1.64cm , aunque en esta ocasión dichos estudios manejan un R bastante superior al de los otros datos.

Se encontró que los datos de la altura superaron las pruebas estadísticas y pueden considerarse de buena calidad para un adulto de sexo masculino, mientras que las circunferencias tanto en el brazo como en la pantorrilla no cumplieron con el rigor metrológico que se requiere para la aplicación. La principal causa de este fenómeno se debe a una falla fundamental en la aplicación de la medición manual, ya que en este modo es necesario hacer clic sobre la imagen para poner los marcadores antropométricos, de esta forma es muy improbable que el usuario de la aplicación presione el punto exacto donde se debe realizar la medición, lo que se traduce en una inexactitud pronunciada en el sistema, ya que en una medición tan chica como puede ser una circunferencia corporal, las diferencias en milímetros tienen gran influencia sobre el resultado de la medición final. Adicionalmente este proceso tiene falla en su reproducibilidad, e incluso una misma fotografía puede resultar en mediciones diferentes debido a que no hay seguridad de marcar siempre el mismo punto de referencia.

Para los datos obtenidos de forma automática, se compararon nuevamente a través del TEM máximo permitido, en primer lugar, se trabajará con la altura para el cual su TEM 3.88cm es superior al TEM máximo permitido de 1.52cm ($R=0.95$) sin embargo en este caso en particular, al observar la tabla II en la cual se consignan los resultados, es fácil observar que hay ciertos datos en particular que están modificando el resultado del error TEM en particular las fotografías 1,3,4,11,12,13 y 15, mientras que en el resto de fotografías se obtuvieron resultados más cercanos al valor real medido.

Esta diferencia es bastante notable a pesar de que ambas fotografías fueron tomadas con la misma metodología. En primer lugar, se revisaron las matrices de transformación del proceso de calibración, pero no se encontraron diferencias significativas entre cada una de las fotos con alturas diferentes. Una inspección detallada de las fotos luego de ser procesadas muestra una característica interesante, en las fotos donde se sobrestimó la altura, el punto de detección calculado por el software fue colocado justo sobre el cabello, mientras que en las otras no, y el punto demarcado quedó más alineado con la línea entre la frente y el cabello. Como se puede observar en un ejemplo para la posición frontal en las figuras 17.a y 17.b.



Figura 17.a fotografía 2, punto marcado sobre la cabeza, altura=178.3cm



Figura 17.b fotografía 15, punto marcado sobre el cabello, altura =185.5cm

Ilustración 17 Comparativa ubicación de marcadores corporales

Esta diferencia marcada por el algoritmo de CV parece pequeña en la imagen, pero es lo suficientemente significativa para producir un error bastante grande en el resultado final.

Los resultados de altura automática deben por lo tanto ser sometidos a una etapa de procesamiento adicional para controlar el error producido por la marcación del pelo.

Además, para el PB automático se cuenta con un ETM de 2.71cm, superior al máximo permitido de 0.73cm ($R=0.95$) mientras que para el perímetro de pantorrilla, luego de eliminar los datos atípicos se tiene un TEM de 0.17cm el cual, al no existir un criterio de ETM, se compara con el promedio de error técnico de medida para los estudios el cual es de 0.29cm ($R=0.99$) lo que indica un buen performance del programa luego de la eliminación de los datos no adecuados.

Se encuentra que los datos que tienen mayor confiabilidad fueron los obtenidos a través de la metodología manual, ya que estos al ser seleccionados por una persona son más resistentes a la presencia de datos atípicos, aunque les haga falta precisión.

La metodología de adquisición funciona de manera esperada, las fotografías son lo suficientemente claras y mantienen una relación a nivel de calibración similar, las mejoras al sistema de medición se deben trabajar desde los algoritmos, los cuales deben ser optimizados para obtener soluciones más significativas.

Una solución propuesta a este problema es la combinación de los dos tipos de medición. Se plantea la posibilidad de generar un algoritmo de medición que parta desde los puntos de entrada que ingresa el usuario al sistema, una vez estos puntos sean leídos el algoritmo de CV puede determinar los puntos exactos en el vecindario de los puntos marcados, de esta forma se combina la capacidad de la medición manual para no reducir los resultados atípicos junto con la precisión y exactitud que puede brindar el software. La parte de detección automática puede ejecutarse en varias ocasiones con el objetivo de acercar el dato final hacia un promedio de todas las mediciones, aunque esto requiera un proceso de optimización más profunda y tener en cuenta en límite en el gasto de tiempo y recurso computacional para cada medición.

Adicionalmente, se plantea que desarrollar esta nueva medición combinada podría facilitar la metodología de adquisición, ya que por al marcar los puntos manualmente no es necesario contar con las tres vistas diferentes para encontrar los puntos. De esta forma podrían descartarse los pasos número seis, siete y ocho de la metodología.

Adicionalmente a las mejoras en el planteamiento de la metodología, y a algoritmos que incluyan hacer el proceso de detección de forma repetitiva se pueden considerar otras estrategias como estandarizar el equipo de adquisición, o emplear nuevas funciones para el refinamiento de la calibración aunque ambos procesos requieren de más recursos y de tiempo para comparar adecuadamente el rendimiento.

Respecto al desarrollo de la aplicación final e implementación, más allá del prototipo se debe discutir a fondo con el área de TICs del hospital, con el fin de estandarizar la presentación y el manejo de bases de datos con los del resto de aplicaciones usadas en la institución.

Más trabajo sería necesario para una implementación definitiva del sistema de adquisición antropométrica digital, aunque se puede apreciar que los resultados son bastante cercanos a las mediciones esperadas se requiere un refinamiento y ajuste cuidadoso del código para llegar a tener la validez necesaria en un ambiente clínico, además de realizar más pruebas en diferentes sujetos.

VII. CONCLUSIONES

Se observó que es factible implementar métodos de antropometría digital obtenidos a través de herramientas tecnológicas basadas en el procesamiento digital de imágenes y visión por computadora. Si bien este tipo de adquisición y metodologías no son comunes en ningún tipo de industria, es posible obtener datos significativos sin la necesidad de tener al paciente presente, lo cual brinda nuevas oportunidades a nivel de telemedicina. El desarrollo a nivel teórico desde la parte de la computación es suficiente para la creación de soluciones innovativas en el área.

Tras el análisis de los datos se determinó que la metodología de adquisición diseñada y los algoritmos desarrollados no fueron suficientes para obtener muestras de datos significativas en todos los casos, solamente la altura obtenida con ayuda manual y el perímetro de pantorrilla de forma automática tuvieron errores lo suficientemente pequeños para ser considerados en un verdadero estudio. La principal cause de esto es la dificultad en lograr la consistencia de los datos lo que representa una pérdida importante la precisión de la medición. Si bien muchas de las medidas tuvieron resultados adecuados, las pequeñas imprecisiones en ciertas fotografías fueron suficiente para afectar el resultado final de los estudios.

Se deben plantear nuevas estrategias que combinen tanto la experticia manual del personal clínico, el poder de procesamiento de la visión por computadora e incluso herramientas de inteligencia artificial, de esta forma se podrían conseguir resultados más consistentes que sumados a la exactitud que brindan los sistemas de computación, podrían mejorar el rendimiento de la aplicación. La metodología de adquisición planteada puede simplificarse si se plantean nuevos métodos para la adquisición dentro del algoritmo. El desarrollo de la interfaz gráfica debe evaluarse con el personal que lo podría llegar a utilizar y optimizar su tiempo de rendimiento.

Para concluir, se puede afirmar que es posible encontrar un método de adquisición de datos antropométricos de forma digital, que no requiera la presencia en persona del personal clínico y que brinde datos con significancia clínica, pero se deben perfeccionar, refinar y ajustar los procesos ya desarrollados para facilitar su uso y obtener datos de mejor calidad.

VIII. RECOMENDACIONES

Del desarrollo de la aplicación surgen tres principales temáticas a tratar para una futura buena implementación de un sistema de antropometría digital en el hospital Alma Mater y otras instituciones hospitalarias.

En primer lugar, se deben considerar una modificación a los algoritmos de CV, emplear un flujo de trabajo donde se combinen tanto la entrada manual como la detección automática en la medición, para buscar combinar sus respectivas características de precisión y exactitud en una misma medida.

Se deben buscar nuevas herramientas y formas de mejorar la metodología de adquisición, controlar mejor las variables como iluminación y calidad de la imagen. Adicionalmente sería una gran adición encontrar una forma de eliminar por completo la presencia del patrón de calibración, como lo hacen por ejemplo *Trivedi et Al* [16] para esto se pueden utilizar herramientas de machine learning y CV para determinar, a distancias fijas la relación de profundidad de las imágenes y con esto obtener las matrices de calibración necesarias.

Desarrollar herramientas necesarias para la exportación de los datos a la historia clínica, aumentar el número de variables a considerar, por ejemplo, medición de perímetros cefálicos en infantes son también adiciones bienvenidas que pueden mejorar considerablemente el campo de uso de la aplicación. Finalmente se puede considerar adaptar el sistema a dispositivos portátiles, exportar como aplicación móvil o desarrollar un dispositivo electrónico basado en microcontroladores, con cámara individual, a través del cual se puedan controlar mejor los parámetros de trabajo.

REFERENCIAS

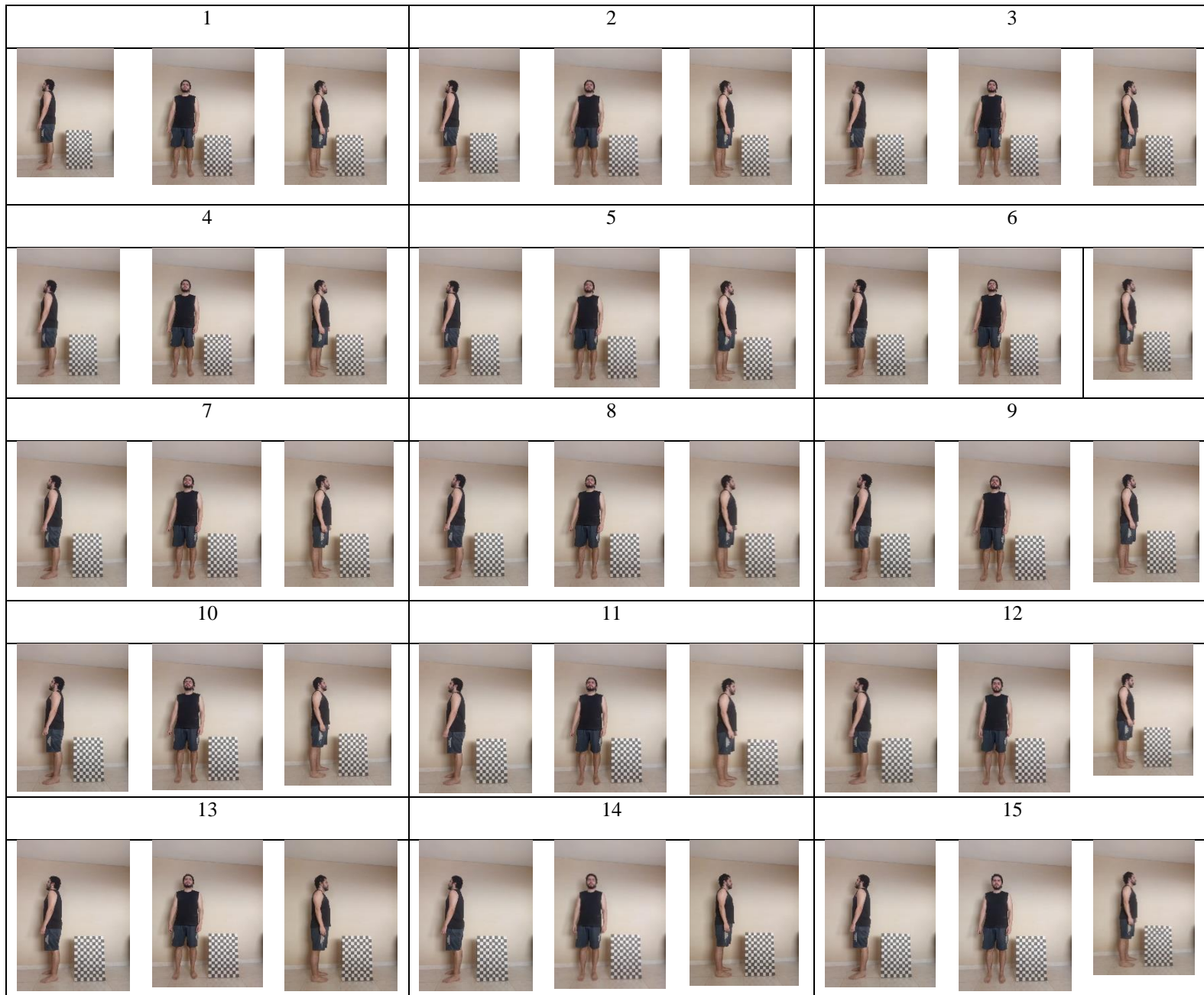
- [1] E. Valero Cabello, «Antropometría,» Ministerio de Trabajo e Inmigración, Madrid, s.f..
- [2] Y. Prieto Cordovés, C. Hernández Cuan, G. Oliveros Viamontes, V. Morales Pérez y I. Mederos Pérez, «PERÍMETRO BRAQUIAL PARA DIAGNOSTICAR ESTADO NUTRICIONAL EN NIÑOS DE DOS A CINCO AÑOS,» *Revista Argentina de Anatomía Online*, vol. 5, nº 3, pp. 107 - 113, 2014.
- [3] J. F. Rodríguez Huertas, «Antropometría: Introducción,» Universidad de Granada, s.f s.f s.f. [En línea]. Available: <https://bit.ly/439mOla>. [Último acceso: 02 05 2023].
- [4] A. Suverza Fernandez y K. Haua Navarro, «Manual de Antropometría,» de *Manual de Antropometría*, México DF, Universidad Iberoamericana Ciudad de México, 2009, pp. 19-32.
- [5] A. Marliere Navarro y M. J. Sérgio, «Uso de medidas antropométricas para estimar,» *Nutrire*, vol. 19, nº 20, pp. 31-47, 2000.
- [6] H. Montesinos-Correa, «Crecimiento y antropometría: aplicación clínica,» *Acta pediátrica de México*, vol. 35, nº 2, pp. 159-165, 2014.
- [7] International Organization for Standardization - ISO, *Basic human body measurements for technological design*, Londres, Reino Unido: ISO, 2017.
- [8] D. M. Cuervo, A. Ansorena, M. García, I. González Martínez, J. Astiasarán y A. Martínez, «Valoración de la circunferencia de la pantorrilla como indicador de riesgo de desnutrición en personas mayores,» *Nutrición Hospitalaria*, vol. 24, nº 1, pp. 63-67, 2009.
- [9] M. Casado García y Á. Santervás Sanz, «Estado del arte de la telemedicina en España y Europa,» sin editorial, Madrid, sf.
- [10] Ministerio de la Salud y Protección Social, «minsalud.gov.co,» Ministerio de Salud y Protección Social, 22 03 2022. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3orMb2O>. [Último acceso: 02 05 2023].
- [11] R. Nariño Lescay, A. Alonso Becerra y A. Hernández González, «ANTROPOMETRÍA. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTACIÓN DE LAS DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS,» *Revista EIA*, vol. 13, nº 26, pp. 47-59, 2016.

-
- [12] A. Domínguez Torres, «Procesamiento digital de imágenes. Perfiles Educativos,» Perfiles Educativos, Ciudad de México, México, 1996.
- [13] L. Shapiro y G. Stockman, «Computer Vision,» de *Computer Vision*, Seattle, Washington, Pearson, 2001, pp. 13-26.
- [14] P. V. P. Narayanan, A. Goswami, N. Kumar, S. Aggrawal, S. Dwivedi, S. Reddy K y S. Kumar Penta, «CVIT,» Centre for Visual Information Technology, s.f. s.f. s.f.. [En línea]. Available: <https://bit.ly/45KqA6z>. [Último acceso: 02 05 2023].
- [15] International Organization for Standardization - ISO, *3-D scanning methodologies for internationally compatible anthropometric databases*, Londres, Reino Unido: ISO, 2018.
- [16] A. Trivedi, M. Jain, N. Kumar Gupta, M. Hinsche, P. Singh, M. Matiaschek, T. Behrens, M. Militeri, C. Birge, S. Kaushik, A. Mohapatra, R. Chatterjee, R. Dodhia y J. Lavista Ferres, «Height Estimation of Children under Five Years using Depth Images,» n.t., Baran district, Rajasthan, India, 2021.
- [17] Y. Liu, A. Sowmya y H. Khamis, «Single camera multi-view anthropometric measurement of human height and mid-upper arm circumference using linear regression,» Jacobus P. van Wouwe, TNO, Países Bajos, 2018.
- [18] Open CV, «Open CV,» Open CV, s.f s.f s.f. [En línea]. Available: <https://opencv.org/>. [Último acceso: 02 05 2023].
- [19] S. A. Gaffar Shakhari, «Pose Estimation using OpenCV,» Analitics Vydhia, 20 05 2021. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3MD7Ixd>. [Último acceso: 02 05 2023].
- [20] Open CV, «Canny Edge Detection,» Open CV, s.f. s.f. s.f. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3WQcVqx>. [Último acceso: 02 05 2023].
- [21] Riverbank Computing Limited, «PyQt5 5.15.9,» Riverbank Computing Limited, s.f s.f s.f. [En línea]. Available: <https://pypi.org/project/PyQt5/>. [Último acceso: 02 05 2023].
- [22] S. Ulijaszek y D. A. Kerr, «Anthropometric measurement error and the assessmen of nutritional status,» *British Journal of Nutrition* (, vol. 82, nº 1, p. 165–177, 1999.
- [23] M. D. Marrodán, M. D. Cabañas, A. Gómez, M. González-Montero de Espinosa, N. López-Ejeda, M. D. Marrodán, M. D. Cabañas, A. Gómez, M. González-Montero de Espinosa, N. López-Ejeda, M. D. Marrodán, M. D. Cabañas y A. Gómez, «Errores técnicos de medida en

el diagnóstico de la desnutrición infantil: datos procedentes de intervenciones de Acción Contra el Hambre entre 2001 y 2010,» *nutrición clínica y dietética hospitalaria*, vol. 33, n° 2, pp. 7-15, 2013.

ANEXOS

ANEXO A Paquetes de fotografías obtenidas a través de la metodología de adquisición empleadas en las pruebas de la aplicación.



ANEXO B. Tabla de evaluación para la TEM máxima aceptable según edad y sexo [23]

Edad de la población (años)	TEM Máximo Aceptable				
	Altura (m)	Peso (kg)	Perímetro braquial (mm)	Pliegue cutáneo del tríceps (mm)	Pliegue cutáneo subescapular (mm)
R=0.95, sexo masculino					
1 – 4.9	0.0103	0.21	3.1	0.61	0.43
5 – 10.9	0.0130	1.20	5.2	0.97	0.87
11 - 17.9	0.0169	5.94	7.5	1.45	1.55
18 – 64.9	0.0152	13.06	7.3	1.38	1.79
65+	0.0152	10.80	7.4	1.29	1.74
R=0.99, sexo masculino					
1 – 4.9	0.0046	0.04	1.4	0.28	0.19
5 – 10.9	0.0058	0.24	2.3	0.43	0.39
11 - 17.9	0.0076	1.19	3.3	0.65	0.69
18 – 64.9	0.0068	2.61	3.3	0.62	0.80
65+	0.0068	2.16	3.3	0.58	0.78
R=0.95, sexo femenino					
1 – 4.9	0.0104	0.22	3.0	0.65	0.47
5 – 10.9	0.0138	1.61	5.4	1.05	1.08
11 - 17.9	0.0150	8.66	7.8	1.55	1.74
18 – 64.9	0.0139	16.74	9.8	1.94	2.39
65+	0.0135	11.70	9.8	1.86	2.27
R=0.99, sexo femenino					
1 – 4.9	0.0047	0.04	1.3	0.29	0.21
5 – 10.9	0.0062	0.32	2.4	0.47	0.48
11 - 17.9	0.0067	1.73	3.5	0.69	0.78
18 – 64.9	0.0062	3.35	4.4	0.87	1.07
65+	0.0060	2.34	4.4	0.83	1.02

tomado de Ulijaszek y Kerr [23]