

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

*Trabajo de titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniero Electrónico*

PROYECTO TÉCNICO CON ENFOQUE INVESTIGATIVO

**“OBTENCIÓN AUTOMÁTICA DE PARÁMETROS
POSTURALES MEDIANTE EL PROCESAMIENTO
DIGITAL DE IMÁGENES FOTOGRAFICAS”**

AUTOR:

Youssef Moises Abarca Reyes

TUTOR:

Ing. Freddy Leonardo Bueno Palomeque Msc.

Cuenca - Ecuador

2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Youssef Moises Abarca Reyes con documento de identificación N° 110601597-5, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: “OBTENCIÓN AUTOMÁTICA DE PARÁMETROS POSTURALES MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES FOTOGRÁFICAS”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Electrónico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, marzo del 2019



Youssef Abarca Reyes

CI: 110601597-5

AUTOR

CERTIFICACIÓN

Yo declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “OBTENCIÓN AUTOMÁTICA DE PARÁMETROS POSTURALES MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES FOTOGRÁFICAS”, realizado por Youssef Moises Abarca Reyes, obteniendo el *Proyecto Técnico con enfoque investigativo* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, marzo del 2019



Ing. Freddy Leonardo Bueno Palomeque Msc.

CI: 010321765-9

TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Youssef Moises Abarca Reyes con número de cédula 110601597-5, autor del trabajo de titulación: “OBTENCIÓN AUTOMÁTICA DE PARÁMETROS POSTURALES MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES FOTOGRÁFICAS”, certifico que el total contenido del *Proyecto Técnico con enfoque investigativo*, es de mi exclusiva responsabilidad y autoría

Cuenca, marzo del 2019



Youssef Abarca Reyes

CI: 110601597-5

AUTOR

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer al Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica Salesiana (GIIB-UPS) principalmente a mi tutor el Ing. Msc. Freddy Leonardo Bueno, por la ayuda brindada en el desarrollo del presente proyecto. También quiero extender mi agradecimiento a la licenciada en fisioterapia Lilia Toalongo encargada del centro HABILITAR Terapia Física y Neurorehabilitación de la ciudad de Cuenca, y a todos los voluntarios ya que sin ellos el desarrollo de este proyecto no hubiera sido posible.

Youssef Moises Abarca Reyes

DEDICATORIA

Para mis padres Gladis y Golver quienes me han brindado su apoyo y comprensión durante toda la carrera; y especialmente para “*Betty*” quien me ha acompañado durante toda la carrera.

Youssef Moises Abarca Reyes

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
GLOSARIO	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
RESUMEN	X
INTRODUCCIÓN	XI
ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO	XII
JUSTIFICACIÓN	XIII
OBJETIVOS	XIV
OBJETIVO GENERAL.....	XIV
OBJETIVOS ESPECÍFICO	XIV
CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE	1
1.1 Fundamentos teóricos.....	1
1.1.1 Tipos de evaluación postural.....	3
1.1.2 Método Fotogramétrico.....	5
1.1.3 Trabajos relacionados con la postura	8
CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO	11
2.1 Definición de Puntos Anatómicos	12
2.2 Captura de Fotografías	16
2.3 Desarrollo de la aplicación	16
CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	24
3.1 Verificación de datos cuantitativos	24
3.2 Pruebas del sistema LAM en personas	37
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
Conclusiones	44
Recomendaciones.....	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

APÉNDICES.....	52
APÉNDICE A: MODELO DEL REPORTE INDIVIDUAL EN PDF	52
APÉNDICE B: DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO.....	57
APÉNDICE C: REPORTE DE CADA GRUPO ETARIO.....	64

GLOSARIO

LAM: Nombre del sistema propuesto, “Lectura Automática de Marcadores”.

GIIB-UPS: Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica Salesiana.

m: Unidad de medida de longitud – metros.

cm: Unidad de medida de longitud – centímetros.

Kg: Unidad de medida de peso – Kilogramos.

Mpx: Unidad para expresar la resolución de cámaras digitales – Megapíxeles.

BD: Base de datos.

RGB: Siglas en inglés para rojo, verde y azul respectivamente.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. <i>Tipos de Posturas establecidas por Kendall:</i>	2
Figura 2.1. <i>Diagrama de bloques del sistema propuesto.</i>	11
Figura 2.2. <i>Numeración de puntos anatómicos de referencia:</i>	12
Figura 2.3. <i>Primera prueba del filtro de color:</i>	18
Figura 2.4. <i>Segunda prueba del filtro de color:</i>	18
Figura 2.5. <i>Ubicación de centros sobre los marcadores:</i>	19
Figura 2.6. <i>Esquema de fotografía:</i>	20
Figura 2.7. <i>Imagen resultante de la aplicación:</i>	20
Figura 2.8. <i>Interfaz de GUI de la aplicación.</i>	22
Figura 3.1. <i>Esquema de la ubicación de la cámara y de la lona.</i>	25
Figura 3.2. <i>Cuadrícula postural para la evaluación de datos cuantitativos con la colocación de los marcadores de la vista frontal en el plano anterior. Las estrellas rojas mostradas representan los puntos en donde se midió la iluminancia.</i>	27
Figura 3.3. <i>Pruebas de luz: Errores relativos de los ángulos con respecto a la horizontal.</i>	31
Figura 3.4. <i>Pruebas de luz: Error absoluto del ángulo de la pelvis con respecto a la horizontal.</i>	32
Figura 3.5. <i>Pruebas de luz: Errores relativos de las distancias con respecto a la línea de referencia vertical.</i>	32
Figura 3.6. <i>Pruebas de luz: Error absoluto de la distancia de la pelvis con respecto a la línea de referencia vertical.</i>	33
Figura 3.7. <i>Pruebas de luz: Errores relativos de los ángulos con respecto a la vertical.</i>	33
Figura 3.8. <i>Pruebas de distancia: Errores relativos de los ángulos con respecto a la horizontal.</i>	34
Figura 3.9. <i>Pruebas de distancia: Error absoluto del ángulo de la pelvis con respecto a la horizontal.</i>	34
Figura 3.10. <i>Pruebas de distancia: Errores relativos de las distancias con respecto a la línea de referencia vertical.</i>	34
Figura 3.11. <i>Pruebas de distancia: Error absoluto de la distancia de la pelvis con respecto a la línea de referencia vertical.</i>	35

Figura 3.12. <i>Pruebas de distancia: Errores relativos de los ángulos con respecto a la vertical</i>	35
Figura 3.13. <i>Usa del software Kinovea en evaluaciones posturales.</i>	38
Figura 4.1. <i>Línea de tiempo del sistema LAM</i>	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Puntos anatómicos de referencia.....	13
Tabla 2.2. Tabla de resultados para la vista anterior, plano frontal.	14
Tabla 2.3. Tabla de resultados para la vista posterior, plano frontal.	14
Tabla 2.4. Tabla de resultados para la vista lateral derecha, plano sagital.	15
Tabla 3.1. Resultados obtenidos en la cuadrícula postural mediante el uso de escuadras.	26
Tabla 3.2. Resultados obtenidos con el sistema utilizando las fotografías con la cámara Nikon con el flash activado.	29
Tabla 3.3. Resultados obtenidos con el sistema utilizando las fotografías con la cámara Nikon con el flash desactivado.....	29
Tabla 3.4. Resultados obtenidos con el sistema utilizando las fotografías con la cámara del smartphone con el flash activado.....	30
Tabla 3.5. Resultados obtenidos con el sistema utilizando las fotografías con la cámara del smartphone con el flash desactivado.	30
Tabla 3.6. Tabla de resumen de errores de las pruebas de luz.	36
Tabla 3.7. Tabla de resumen de errores de las pruebas de posición.	36
Tabla 3.8. Tabla de error con la cámara Nikon totalmente en automático.	37
Tabla 3.9. Tabla de errores absolutos en participantes adultos: Vista anterior en el plano frontal.	39
Tabla 3.10. Tabla de errores absolutos en participantes adultos: Vista posterior en el plano frontal.	39
Tabla 3.11. Tabla de errores absolutos en participantes adultos: Vista lateral derecha en el plano sagital.....	40
Tabla 3.12. Tabla de errores absolutos en participantes adolescentes: Vista anterior en el plano frontal.....	40
Tabla 3.13. Tabla de errores absolutos en participantes adolescentes: Vista posterior en el plano frontal.....	41
Tabla 3.14. Tabla de errores absolutos en participantes adolescentes: Vista lateral derecha en el plano sagital.	41
Tabla 3.15. Tabla de errores absolutos en participantes niños: Vista anterior en el plano frontal.	42

Tabla 3.16. Tabla de errores absolutos en participantes niños: Vista posterior en el plano frontal.	42
Tabla 3.17. Tabla de errores absolutos en participantes niños: Vista lateral derecha en el plano sagital.....	43
Tabla 4.1 Alternativas de librerías para migrar la aplicación de MATLAB a Python.	47

RESUMEN

La finalidad de este proyecto es proponer un sistema para realizar evaluaciones posturales que, a diferencia del método tradicional donde los fisioterapeutas miden o estiman manualmente las alineaciones de los segmentos corporales, el resultado de la evaluación no esté condicionado por la subjetividad del evaluador. Se desarrolló una aplicación de evaluación postural mediante el uso de la fotogrametría en el plano, con la finalidad de automatizar el registro, cuantificación y evaluación de parámetros posturales. El desarrollo de la aplicación se realizó a través del software MATLAB 2017b. Para el análisis fotogramétrico se consideró el plano frontal en la vista anterior y en la vista posterior, y el plano sagital en la vista lateral derecha. El sistema desarrollado realiza una “lectura automática de marcadores” (LAM) mediante la filtración y segmentación de marcadores en imágenes fotográficas. Una vez ubicados los marcadores en el plano con el uso de las funciones desarrolladas en el software se obtienen los resultados en tablas, donde se encuentra la información de interés para que el fisioterapeuta pueda dar un diagnóstico.

El desarrollo del sistema propuesto consta de dos etapas de prueba, la primera etapa que sirvió para la verificación de los resultados cuantitativos y la segunda etapa, que consiste en evaluaciones posturales realizadas en diferentes grupos etarios. Para la captura de fotografías en la primera etapa se utilizó tres tipos de cámara: una cámara profesional, una cámara de celular y una cámara deportiva mientras que para la segunda etapa se usó la cámara que dio mejores resultados. Tanto para la colocación de los marcadores, como para la colocación de la cámara se establecieron protocolos basados en la literatura revisada. Se tomaron fotografías de cuerpo entero en las vistas establecidas para cada plano, colocando marcadores en los puntos anatómicos considerados de interés para los fisioterapeutas según el centro “*HABILITAR Terapia Física y Neurorehabilitación*” de la ciudad de Cuenca. Los resultados del sistema propuesto, para las pruebas que se realizaron en personas, fueron comparados con evaluaciones realizadas manualmente en el software Kinovea. Como resultado se obtuvo un sistema confiable que disminuía notablemente el tiempo de realización de evaluaciones posturales, donde los resultados son cuantificables y no dependen de la subjetividad del evaluador.

INTRODUCCIÓN

El Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica Salesiana (GIIB-UPS) junto con el centro HABILITAR Terapia Física y Neurorrehabilitación de la ciudad de Cuenca desarrolló el sistema LAM (Lectura automática de marcadores) para realizar evaluaciones posturales. El sistema desarrollado permitirá a los fisioterapeutas realizar evaluaciones posturales de forma automatizada obteniendo resultados más cuantificables y permitiendo la opción de registro de los resultados para llevar el seguimiento de los parámetros posturales de los pacientes.

El presente documento consta de cuatro capítulos. El primer capítulo aborda el estado del arte de las aplicaciones y métodos desarrollados para realizar evaluaciones posturales, centrándose en el método fotogramétrico, debido a que este método conforma las bases del desarrollo del sistema propuesto. El segundo capítulo abarca el marco metodológico seguido para el desarrollo de los protocolos del sistema LAM, explicando cada una de las fases seguidas para el desarrollo de estos y de la aplicación en software especializado. El tercer capítulo comprende el análisis de resultados de la implementación del sistema LAM tanto para la verificación de los datos cuantitativos como para la implementación del sistema en el campo profesional. Por último, en el capítulo cuatro se exponen las conclusiones y recomendaciones del proyecto desarrollado.

Con el desarrollo de este proyecto se espera que los médicos especialistas dentro del área de la fisioterapia, de estar a su alcance, puedan contar con una herramienta para realizar evaluaciones posturales que ofrezca obtener parámetros posturales de forma automática y cuantificable.

ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

El estudio de la postura humana es relativamente nuevo con respecto a otras áreas de la ciencia médica y ha adquirido una importancia e impacto significativo en los últimos años en especial en el área de la fisioterapia, a pesar de que la evaluación de la postura sigue siendo una ciencia inexacta [1]. La postura se ha definido como la alineación de segmentos corporales en un momento determinado [2]; adicionalmente, es un importante indicador de salud, debido a que las anomalías posturales están asociadas con un gran número de trastornos, incluyendo síndromes de dolor generalizados o trastornos musculoesqueléticos regionales y respiratorios [3], [4], [5]. Las anomalías posturales están asociadas al riesgo de caídas y dolor cervical presentes en los ancianos [6], [7], [8]. El realineamiento postural es una meta que a menudo buscan los médicos, dentistas y fisioterapeutas [9], [10].

En la práctica clínica, las evaluaciones de la postura se realizan como parte del examen físico. Cuando se realizan en la clínica, las evaluaciones posturales son a menudo subjetivas, y las anomalías son inspeccionadas visualmente. Esta forma de evaluación cualitativa tiene baja sensibilidad, así como baja confiabilidad. Depende en gran medida de experiencias pasadas y de interpretaciones subjetivas. En consecuencia, se requieren instrumentos estandarizados y validados para realizar evaluaciones más precisas y sistemáticas. La postura puede evaluarse cualitativa y cuantitativamente a través de la interpretación rigurosa de imágenes fotográficas que también pueden usarse para monitorear los resultados del tratamiento. Varias empresas independientes han desarrollado software de evaluación postural, que a menudo consiste en marcadores digitales para imágenes fotográficas y herramientas para evaluar la postura. Las mediciones cuantitativas permiten a los médicos e investigadores no sólo realizar una evaluación precisa de los cambios posturales, sino también controlar la mejoría. Sin embargo, más estudios son necesarios para validar y estimar la fiabilidad de cada uno de estos sistemas [11].

JUSTIFICACIÓN

Una de las mejores formas de detectar una postura inadecuada en las personas, es medir o estimar manualmente las alineaciones de los segmentos corporales. Esta es la manera tradicional que usa un fisioterapeuta para evaluar la postura de una persona, requiriendo una gran cantidad de tiempo para realizarlo y muchas de las veces el resultado de la evaluación postural depende de la experticia del fisioterapeuta.

Existen programas de computadoras que han reemplazado los métodos convencionales con la finalidad de ofrecer un mejor servicio, pero estos no se ajustan a las necesidades de nuestro entorno, debido a que requieren de conocimientos especializados para aplicarlos y en la mayoría de estos programas los resultados se tienen que obtener manualmente. Por estos motivos, en conjunto con el centro HABILITAR Terapia Física y Neurorehabilitación de la ciudad de Cuenca y el Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB-UPS), proponen desarrollar una aplicación mediante software que permita adquirir las relaciones de los segmentos corporales más significativos, mediante procesamiento de imágenes fotográficas, ofreciendo una herramienta a los médicos especialistas para realizar la evaluación y ofrecer resultados cuantitativos.

El grupo objetivo de este proyecto es el “Grupo de Investigación de Ingeniería Biomédica” (GIIB-UPS) de la Universidad Politécnica Salesiana-Cuenca y el centro HABILITAR Terapia Física y Neurorehabilitación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Obtener parámetros posturales mediante el procesamiento digital de imágenes fotográficas a través de un software para automatizar el registro, cuantificación y evaluación de estos parámetros en el área de la fisioterapia.

OBJETIVOS ESPECÍFICO

- Estudiar y definir los segmentos corporales en los cuales se basa la fisioterapia para realizar evaluaciones posturales.
- Desarrollar un algoritmo capaz de realizar la identificación de los segmentos a partir de marcadores dentro de una imagen fotográfica para obtener su ubicación en el plano.
- Implementar en el algoritmo los principios de fotogrametría para el cálculo de los ángulos, distancias y/o alturas de los segmentos corporales.
- Determinar la eficiencia de la aplicación mediante el desarrollo de un protocolo de pruebas, comparando las mediciones obtenidas con el método tradicional y con el sistema propuesto a diferentes grupos etarios.

CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE

Se realizó una revisión de la literatura con las siguientes palabras claves: posture, postural, assessment y photogrammetry. Las bases de datos que se incluyeron para esta revisión son: Google Scholar, IEEE Xplore, ScienceDirect, Scopus, además de otras fuentes. Se seleccionaron artículos científicos de un periodo comprendido entre el 2014 y 2018, de libre acceso y que contenían texto completamente en inglés, por ser considerado el idioma internacional. Se incluyeron revisiones de literatura sobre evaluación postural, artículos donde se exponían nuevos métodos para realizar evaluaciones posturales y artículos donde la evaluación postural era usada con fines investigativos. Los artículos donde los estudios involucran pruebas en sujetos que sufrían de alguna patología ósea y/o muscular fueron excluidos. Doce de los veinte artículos encontrados se consideraron de relevancia para esta revisión de la literatura.

1.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La postura se define como la alineación de los segmentos del cuerpo en un momento determinado [2]. Una postura se considera ideal cuando los segmentos corporales están alineados de tal manera que se requiere el mínimo esfuerzo muscular para mantener la estabilidad vertical. En diversos estudios se considera a la postura como un importante indicador de salud, dado que este brinda información que puede ayudar al mejoramiento del rendimiento laboral y académico [12], [13], así como puede contribuir a un mejor desempeño de los atletas [14], [15], también muchas empresas e industrias realizan este tipo de evaluaciones con el fin de mejorar su nivel de ergonomía [16], [17], [18].

Los cambios en la postura son el resultado de la genética, la edad y los hábitos adoptados a lo largo de la vida, en especial en las etapas de la niñez y adolescencia, esto conlleva a que la postura se relacione con las condiciones de dolor, en especial con los dolores de espalda que es un problema muy común entre los escolares y jóvenes [12], [13]. La baja frecuencia de actividad física y sus actividades sedentarias tales como permanecer sentados largos periodos de tiempo en muebles incómodos, llevar mochilas pesadas en forma inadecuada, son las razones por las que este sector de la población participa en diversos estudios relacionados con

la postura, donde se busca realizar evaluaciones posturales con métodos no invasivos o perjudiciales para la salud de los involucrados [12], [13].

Los factores mencionados anteriormente pueden ocasionar una postura inadecuada en las personas. Según Kendall [19] la postura se puede establecer en cuatro tipos (figura 1.1) siendo estas la postura ideal, cifolordótica, espalda plana y espalda arqueada. Profundizando un poco más en el libro de Kendall “Músculos Pruebas Funcionales Postura y Dolor” se determina que existen otros tipos de postura, pudiendo ser estas: Lordótica o postura militar que a diferencia de la postura cifolordótica la columna vertebral no presenta cifosis (curvatura anormal de la columna vertebral de convexidad posterior); y la postura de la cabeza hacia delante.

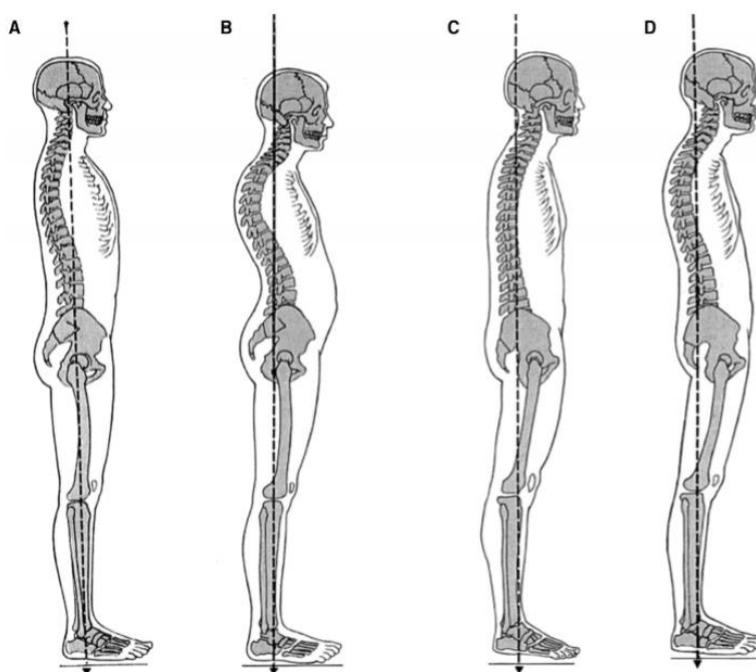


Figura 1.1. Tipos de Posturas establecidas por Kendall:
A) Ideal, B) Cifolordótica, C) Espalda plana, D) Espalda arqueada [19].

Hoy en día los defectos posturales son comunes no solo en la población general, sino también en profesionales del deporte [14]. Las evaluaciones posturales se han convertido en una herramienta importante para la evaluación de la salud en general y el riesgo de lesiones musculoesqueléticas de los deportistas [14], [15]. Los resultados de estas evaluaciones ayudan a los entrenadores técnicos y a sus equipos profesionales a preparar entrenamientos personalizados para cada atleta, optimizando de esta manera el rendimiento de los deportistas.

Otra área de interés dentro de la fisioterapia es la industria, debido a que el problema de varias de estas son las condiciones de trabajo desfavorables, en términos de posturas de trabajo inadecuadas, es uno de los problemas más importantes en todas las evaluaciones de seguridad y salud. Los riesgos ergonómicos en los sectores de producción y servicios pueden causar daños graves a la salud y la calidad de vida de los trabajadores, resultando esto en pérdidas de eficiencia y, a largo plazo, en pérdidas sociales, de salud y económicas para los empleadores y para la economía en general [16].

En varios países del mundo una evaluación postural se considera como uno de los exámenes estandarizados para ingresar a cualquier tipo de institución especialmente para los niños, atletas y trabajadores. Esta evaluación es realizada por maestros de educación física, fisioterapeutas y médicos, donde se considera que las desviaciones posturales están relacionadas con factores como la altura, el peso, la edad, el sexo, el estado de salud y el acondicionamiento muscular [15].

1.1.1 TIPOS DE EVALUACIÓN POSTURAL

En la actualidad existen diversos métodos para realizar evaluaciones posturales en los cuales se destacan:

Método de observación visual: Es el método más común que se utiliza para evaluar la postura en la práctica clínica. No requiere ningún equipo, debido a que el evaluador obtiene datos cualitativos mediante la observación y los resultados de este tipo de evaluaciones son muy pobres [14]. Por estas razones, las alteraciones posturales menores no se pueden detectar, convirtiéndolo a este método en ineficiente y poco práctico para fines investigativos.

Método de la plomada: El uso de la plomada para la evaluación de la postura, junto con una cuadrícula, es muy común dentro del área de la fisioterapia, dado su bajo costo y simplicidad. La postura se evalúa de acuerdo con las pautas dadas por Kendall [14]. Al igual que el anterior método la desventaja de este es que tampoco produce datos cuantificables para fines investigativos.

Goniometría: Es otro método usado en el área de la fisioterapia. El método consiste en usar un goniómetro para la medición de ángulos posturales. A diferencia de los anteriores métodos este brinda información cuantitativa, lo cual dentro del área

investigativa le ha dado una confiabilidad de buena a excelente. La evaluación realizada mediante este método depende mucho de la precisión y subjetividad del evaluador; conlleva una gran cantidad de tiempo realizarlo; y representa cierta dificultad para el evaluador debido a que se debe leer el goniómetro mientras el terapeuta sostiene el brazo del goniómetro de forma horizontal.

Método fotográfico y de digitalización: Este método apareció en base al anterior, es muy popular y ha estado en uso desde hace mucho tiempo, ya que proporciona a los fisioterapeutas datos cuantificables y reproducibles. Se toman fotografías de los sujetos con marcadores sobre el cuerpo luego se digitalizan estas fotografías y mediante software se miden los ángulos posturales mediante relaciones trigonométricas, por lo general este proceso se hace de forma manual.

Método radiográfico: Es el método considerado como el “estándar de oro” [14] y es uno de los métodos más recientes. El análisis postural se realiza mediante radiografías parciales o completas del cuerpo, es un método preciso y exacto que resulta bastante costoso y que puede ser perjudicial para la salud. Por esta razón, se siguen usando los métodos anteriores y desarrollando nuevos métodos menos riesgosos.

Método fotogramétrico: Es la evolución del método fotográfico y de digitalización. En este método se toman fotografías del sujeto en el plano frontal y/o sagital para su análisis. Este método toma en consideración las relaciones espaciales entre la fotografía y la realidad, obteniendo datos cuantificables, reproducibles y confiables. Existen diversas opciones de software para realizar evaluaciones de este tipo y para validar los resultados se compara con los resultados obtenidos mediante el método visual, goniometría y radiográfico.

Topografía de Moiré: Es un método que usa patrones de Moiré sobre la superficie corporal para realizar una evaluación postural, para generar estos patrones es necesario usar una luz que se proyecte a través de una rejilla en la superficie corporal, se marcan los puntos de referencia anatómicos y posteriormente se toma una fotografía para ser analizada por especialistas dentro del área de la fisioterapia [20].

Otras herramientas para la evaluación postural que se pueden mencionar son el posturómetro, que es un dispositivo electrónico de medición y diagnóstico de la postura; y la regla flexible, que solo se suele usar para medir las curvaturas espinales.

1.1.2 MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO

Como ya se mencionó anteriormente el método fotogramétrico ha sido de gran interés para los investigadores en los últimos años debido a su gran flexibilidad, su confiabilidad en las medidas, su poca dependencia de la subjetividad del evaluador y que a través de este no se expone a los sujetos a radiaciones que pueden resultar perjudiciales.

Existe una gran diversidad de programas de software para realizar evaluaciones posturales mediante el método fotogramétrico entre ellos se destacan: PAS/SAPO, AutoCAD, MATLAB, ImageJ, Adobe Photoshop, ALCimagem 2000, CorelDraw, Peak Motus motion analysis system, Kinovea [21], BioPrint de BIOTONIX [22] entre otros realizados por equipos multidisciplinarios [23]. Las ventajas de este método es que no se expone a los sujetos a radiaciones nocivas, proporciona datos con un alto nivel de confiabilidad, según los artículos investigados, y además proporciona datos objetivos y reproducibles que se pueden guardar y analizar más adelante.

Entre las desventajas de este método se destaca que, debido a la gran variedad de software disponibles, no existe una estandarización de protocolos, lo que dificulta su uso para fines clínicos, de investigación o de salud colectiva, ya que en todos los estudios se muestra una gran diferencia en la forma que se emplean. En la investigación científica, al momento de seleccionar un software se debe establecer los protocolos de colocación de marcadores en los diferentes puntos anatómicos, como también el protocolo de colocación de la cámara, la elección de estos dependerá de los objetivos establecidos de la investigación. La colocación de los marcadores se debe realizar manualmente por un evaluador experimentado. En el protocolo de la colocación de la cámara se debe decidir la distancia entre la cámara y el sujeto (1.50 a 3.00 m), y la altura de la cámara desde el suelo (0.90 a 1.20 m), y estos factores varían según los estudios publicados [23]. Singla *et al.* [24] recomiendan estandarizar los métodos de medición angular para que haya

uniformidad entre los estudios para generar datos normativos de los ángulos posturales.

Otra complicación es la gran variedad de métodos matemáticos empleados en una evaluación fotogramétrica. Los métodos matemáticos utilizados para proporcionar mediciones y diagnósticos posturales deben especificar todos los aspectos necesarios para su validación. Gustavo Ramón Suárez [25] establece que los métodos matemáticos aplicados en su sistema “Análisis postural por imagenología computarizada” (APIC V-8) emplean principios de la fotogrametría, donde el fundamento básico para el cálculo matemático es el plano cartesiano, a través de este establece los cálculos de la distancia entre dos puntos, el factor de escala y el ángulo entre dos vectores.

Estudios relacionados con el método fotogramétrico

Ruivo *et al.* [12] utilizaron el método fotogramétrico para evaluar la postura cervical y del hombro en adolescentes de 15 a 17 años. Los ángulos que se analizaron en este estudio para la evaluación postural fueron: el ángulo sagital de la cabeza, el ángulo cervical y el ángulo del hombro. Para la evaluación se utilizó el software PAS/SAPO. El estudio se realizó con la finalidad de evaluar la relación entre el dolor con la alineación postural cervical y del hombro. Los resultados del presente estudio mostraron que la medición fotogramétrica es una herramienta confiable para evaluar la postura sagital de pie. También se descubrió que el sexo tiene un efecto importante en la postura y el dolor de cuello.

Bruna Nichele da Rosa [13] utilizó el método fotogramétrico para evaluar el comportamiento de las variables posturales en escolares durante un periodo de cuatro años, 42 escolares se sometieron a la evaluación postural, donde el principal interés de los autores era evaluar el comportamiento de las variables posturales y los factores asociados, como el dolor de espalda y los hábitos de vida. Para este estudio se utilizó DIPA software (Digital Imaged-based Postural Assessment). Para la toma de fotografías los escolares usaban trajes de baño, estaban descalzos y tenían el pelo recogido si era necesario y las fotografías se tomaron en el plano sagital, en la vista lateral derecha y en el plano frontal, en la vista posterior. Los resultados demostraron que DIPA es un software bastante eficiente para este tipo de evaluación y los autores concluyeron que debería haber más educación de salud para los estudiantes sobre los

malos hábitos que conducen al dolor de espalda y que este tipo de evaluaciones podría incluirse fácilmente en los programas de regreso a la escuela.

Silveira *et al.* [23] analizan el uso de la fotogrametría como herramienta para evaluación postural de la columna vertebral, con el fin de identificar los procedimientos matemáticos aplicados al evaluar la postura espinal, los estudios que se analizaron involucraban a adultos, seguimiento de niños y adolescentes. Los autores descubrieron que se utilizaban metodologías muy diferentes, en especial en las rutinas matemáticas empleadas en los diferentes programas de evaluación postural, y muchos de estos programas no explican los métodos usados para generar los resultados, lo cual resulta ser un gran problema en la práctica clínica e investigativa. Por lo que los autores concluyen que se deberían especificar los métodos matemáticos usados en estos programas desarrollados en software para tener un enfoque claro de que estos tienen validez, aunque la eficiencia de este método en el área de la fisioterapia es indiscutible.

Singla *et al.* [24] realizaron una revisión de la literatura para establecer que ángulos posturales son importantes en una evaluación fotogramétrica de la postura del cuerpo superior para la evaluación postural de: la cabeza, el cuello, el hombro y el tórax. De todos los ángulos analizados se consideran importantes: el ángulo craneovertebral, ángulo sagital de la inclinación de la cabeza, ángulo sagital hombro-C7 (7ma cervical) y el ángulo de flexión torácica, ya que mostraron una correlación de moderado a fuerte con ángulos similares medidos en las radiografías, proporcionando una evaluación fiable y fácil de las regiones de la cabeza, el cuello, el hombro y la región torácica. José Luís Pimentel do Rosário [1] presenta un enfoque similar solo que, aplicado a todo el cuerpo tanto en el plano frontal como en el sagital, pero acá se busca establecer la ubicación de los marcadores anatómicos más usados para este tipo de evaluaciones. Después de haber revisado todos los artículos, incluidos en esta revisión, los autores sugieren que los marcadores deben ser colocados en los siguientes puntos anatómicos: maléolo; cabeza de peroné; tuberosidad de la tibia; trocánter mayor del fémur; ángulo anterior y/o borde lateral posterior del acromion; apófisis espinosas (particularmente C7); ángulo inferior de la escápula; manubrio del esternón; protuberancia mental; y la muesca intertrágica. Las espinas ilíacas, tanto superior anterior como posterior superior, solo deben usarse con sujetos delgados.

1.1.3 TRABAJOS RELACIONADOS CON LA POSTURA

Trask *et al.* [17] estudiaron los efectos de la visibilidad de la postura sobre la variabilidad entre los observadores en las evaluaciones de la postura del brazo y tronco. Tres observadores evaluaron la postura del tronco y brazo a partir de grabaciones de video. Los observadores incluyeron a 2 hombres y una mujer sin cursos específicos pero que tuvieron una capacitación para poder evaluar la postura. El estudio demostró que existe una varianza entre observadores y que esta depende mucho del nivel de visibilidad que tengan estos sobre las posturas mostradas en las grabaciones. Como ya se mencionó anteriormente la observación es subjetiva, dado que los observadores se basan en experiencias previas para calificar la postura, esto depende mucho del ángulo de la cámara, el tamaño de las partes del cuerpo y el rango de movimiento observado, y la iluminación.

Otras propuestas interesantes en torno al análisis postural es el uso en la industria para mejorar la ergonomía, en [16] y [18] se propone el monitoreo de las acciones del trabajador, estableciendo tres niveles de criticidad por cada acción que realicen, verde para baja criticidad, amarillo para moderada y roja para alta. Savino *et al.* [18] analizaron las operaciones realizadas por los operadores de una planta de ensamblaje de automóviles mediante observación directa y grabaciones de video, a cada acción realizada se la clasificó en cada uno de los diferentes niveles de criticidad propuestos, dando como resultado que el método propuesto se puede usar para el reconocimiento rápido de posturas críticas. Un enfoque mucho más interesante aportan Savino junto con Battini y Riccio [16] cuando mediante el uso de termografía y lógica difusa se diseñó un sistema para realizar evaluaciones posturales de cuerpo completo, llevando las evaluaciones cualitativas típicas de una persona a un entorno booleano a través de reglas inferenciales, de modo que los resultados no se vean afectados por la subjetividad del evaluador, creando así un nuevo protocolo de análisis postural mediante mapas visuales intuitivos y con evaluación objetiva. Ambos métodos fueron comparados con otros métodos utilizados en la industria para medir el nivel de calidad ergo de una estación como son la evaluación rápida de miembros superiores (RULA), la lista de verificación de métodos repetitivos ocupacionales (OCRA), la evaluación rápida de todo el cuerpo (REBA) y el sistema de análisis de postura de trabajo Ovako (OWAS).

Otros estudios que se han realizado alrededor del análisis postural es el uso de la baropodometría, que está basado en el estudio de la distribución de las cargas que soportan los pies, el porcentaje de peso soportado por cada pie y la relación de simetría entre ellos. José Luis Pimentel do Rosário [26] hace una revisión de literatura sobre este tema debido a que las evaluaciones posturales todavía son científicamente inexactas y que existe un respaldo científico que asocia a la postura y a los problemas de equilibrio con enfermedades. El estudio concluye que la baropodometría tiene el potencial dentro del área de la postura, pero se debería mejorar la calidad de la técnica para que tenga una validez clínica y científica. Sin embargo, esta técnica se asocia fuertemente con el equilibrio, y también destaca que, aunque la postura está fuertemente relacionada con el equilibrio, no son lo mismo, es muy difícil imaginar a una persona con buena postura y poco equilibrio, pero es posible imaginar una mala postura con un buen equilibrio [1], esto se debe a que, si los segmentos desalineados del cuerpo se compensan, su proyección resultante del centro de gravedad se encontrará entre los pies. Por esta razón se concluye que el análisis postural se puede apoyar con la baropodometría, apoyándose de la proyección del centro de gravedad obtenida a través de una plataforma de fuerza, pero la baropodometría no se puede valer por sí sola para realizar una evaluación postural.

En todos los artículos que se trabajó con personas la participación de todos los sujetos fue voluntaria y obtenido con el consentimiento informado por escrito, y fueron aprobados por algún Comité de Ética.

CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se abordará la metodología que se utilizó para realizar el sistema LAM, explicando cada una de las etapas seguidas para el cumplimiento de los objetivos planteados. Las etapas de las cuales consta el proyecto son la definición de los puntos anatómicos, la captura de fotografías, el desarrollo de la aplicación y la forma en la cual se presenta la información.

En la primera etapa una vez que se revisó la literatura y se consultó con la fisioterapeuta a cargo del centro HABILITAR, se definieron los puntos anatómicos de interés para realizar evaluaciones posturales, además de definir la información requerida por el fisioterapeuta para dar un diagnóstico. En la siguiente etapa se establece el protocolo para la captura de fotografías, donde los principales recursos que se analizaron son la altura de la cámara, distancia entre el participante y la cámara, y la iluminación del espacio. En la etapa de desarrollo se realizó principalmente la preparación de las imágenes incluyendo esto la filtración y segmentación, posteriormente se desarrollaron las funciones que permiten la obtención de los parámetros posturales. Por último, en la etapa final se estableció presentar los parámetros posturales en un formato de informe PDF, además de adjuntar los mismos en una base de datos (BD) de Excel. En la figura 2.1. se muestra el diagrama de bloques del sistema propuesto.

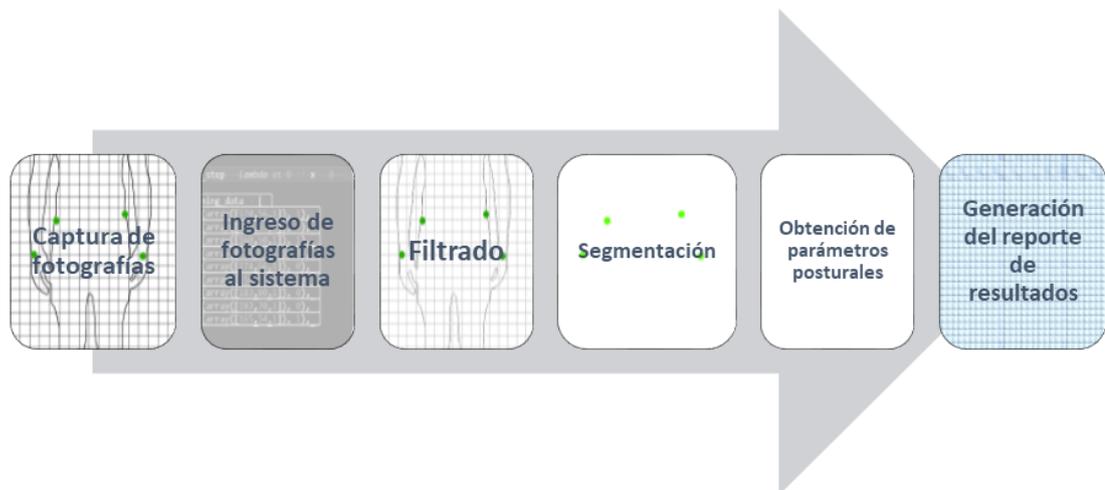


Figura 2.1. Diagrama de bloques del sistema propuesto.

2.1 DEFINICIÓN DE PUNTOS ANATÓMICOS

Una vez realizado el estado del arte sobre aplicaciones y métodos que existen para llevar a cabo una evaluación postural, en especial los artículos donde se definieron qué puntos anatómicos son considerados importantes en una evaluación fotogramétrica de la postura, y haber consultado con el centro HABILITAR, los puntos anatómicos que se consideraron para el desarrollo del sistema se muestran en la figura 2.2, y en la tabla 2.1 se especifica la posición anatómica de cada uno de los puntos en cada una de las vistas que se analizarán.

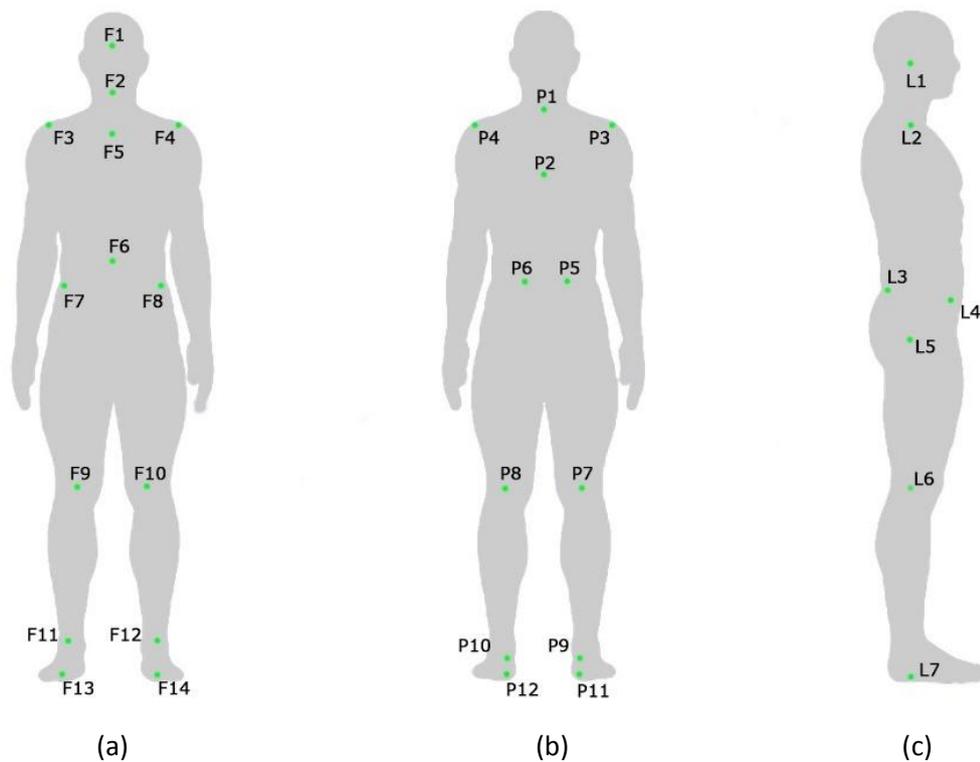


Figura 2.2. Numeración de puntos anatómicos de referencia:
(a) para la vista anterior del plano frontal, (b) para la vista posterior del plano frontal, (c) para la vista lateral derecha del plano sagital.

Tabla 2.1 Puntos anatómicos de referencia.

PUNTOS ANATÓMICOS DE REFERENCIA					
Vista anterior del plano frontal		Vista posterior del plano frontal		Vista lateral derecha	
<i>Pnt.</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Pnt.</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Pnt.</i>	<i>Ubicación</i>
F1	Entrecejo	P1	Apófisis espinosa de la 7ma vértebra cervical	L1	Oído
F2	Mentón	P2	Apófisis espinosa de la 5ta vértebra dorsal	L2	Articulación acromioclavicular
F3	Articulación acromioclavicular derecha	P3	Articulación acromioclavicular derecha	L3	Espina ilíaca anterosuperior
F4	Articulación acromioclavicular izquierda	P4	Articulación acromioclavicular izquierda	L4	Espina ilíaca posterosuperior
F5	Horquilla del manubrio esternal	P5	Espina ilíaca posterosuperior derecha	L5	Trocánter mayor del fémur
F6	Ombigo	P6	Espina ilíaca posterosuperior izquierda	L6	Tuberosidad tibial
F7	Espina ilíaca anterosuperior derecha	P7	Hueco poplíteo derecho	L7	Articulación transversal del tarso
F8	Espina ilíaca anterosuperior izquierda	P8	Hueco poplíteo izquierdo		
F9	Rótula derecha	P9	Tendón de Aquiles derecho		
F10	Rótula izquierda	P10	Tendón de Aquiles izquierdo		
F11	Tobillo derecho	P11	Calcáneo derecho		
F12	Tobillo izquierdo	P12	Calcáneo izquierdo		
F13	Dedo gordo derecho				
F14	Dedo gordo izquierdo				

Con los puntos anatómicos definidos se establecieron los resultados requeridos por el fisioterapeuta para que este pueda dar un diagnóstico. Los datos requeridos se muestran en tablas, los formatos de las tablas de resultados para cada una de las vistas a analizar fueron propuestos por el centro HABILITAR, cada una de estas tablas consta de tres partes.

Para los resultados de la tabla 2.2, en la primera parte el parámetro descendido representa cuál de los dos lados de la vista anterior (derecho o izquierdo) esta descendido o si estos se encuentran alineados. En la segunda parte el parámetro dirección representa la inclinación del segmento corporal o la del punto de referencia, si este está a la derecha, izquierda o alineado con respecto a la línea

vertical de referencia. Por último, el parámetro dirección de la tercera parte representa si el pie tiene una rotación externa o interna.

Tabla 2.2. Tabla de resultados para la vista anterior, plano frontal.

Segmento Corporal	Descendido	Ángulo
Hombros		
Pelvis		
Rodilla		
Referencia	Dirección	Distancia
Frente		
Hombros		
Ombbligo		
Pelvis		
Rodillas		
Pies		
Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Pie Izquierdo		
Pie Derecho		

Los parámetros de la parte uno y dos de la tabla 2.3, se representan de igual manera que los de la tabla 2.2. En la tercera parte de esta tabla se indica si la persona tiene un pie varo o valgo [27].

Tabla 2.3. Tabla de resultados para la vista posterior, plano frontal.

Segmento Corporal	Descendido	Ángulo
Hombros		
Pelvis		
Rodilla		
Referencia	Dirección	Distancia
Hombros		
7ma Cervical		
5ta Torácica		
Pelvis		
Rodillas		
Tobillos		
Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Pie Izquierdo		
Pie Derecho		

Por último, los resultados de la tabla 2.4, el parámetro dirección representan si la inclinación del segmento corporal o la del punto de referencia es anterior, posterior o está alineada con respecto a la línea vertical de referencia. Los ángulos de todas las tablas se muestran en grados y las distancias en centímetros.

Tabla 2.4. Tabla de resultados para la vista lateral derecha, plano sagital.

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Cabeza-Hombro		
Hombro-Pelvis		
Caderas-Rodillas		
Rodillas-Pies		
Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Pelvis		
Referencia	Dirección	Distancia
Cabeza		
Hombros		
Pelvis		
Caderas		
Rodillas		

De los resultados de estas tablas y utilizando otros puntos anatómicos dentro de los ya establecidos, se adicionará en el reporte individual del paciente la siguiente información:

- Vista Anterior
 - Línea escapular descendida: Derecha/Izquierda
 - Línea pélvica descendida: Derecha/Izquierda
 - Cabeza inclinada: Derecha/Izquierda con ángulo de ____
 - Cabeza rotada: Derecha/Izquierda
 - Rodilla Derecha: Valga/Vara
 - Rodilla Izquierda: Valga/Vara

- Vista Posterior
 - Rotación dorsal posterior: Derecha/Izquierda
 - Rotación pélvica posterior: Derecha/Izquierda
 - Pie Derecho: Valgo/Varo
 - Pie Izquierdo: Valgo/Varo

- Vista Lateral Derecha
 - Postura: _____
 - Proyección postural: Anterior/Centrada/Posterior

Se realizó una revisión del libro de Kendall, “Músculos Pruebas Funcionales Postura y Dolor” [19] y del libro de Bernard Bricot “Reprogramación Postural” [27] para tener una visión clara al momento de desarrollar la aplicación y saber cuáles son los resultados y cuál debería ser su interpretación para obtener los parámetros posturales. Los puntos anatómicos y las tablas de resultados fueron influenciados por el sistema BioPrint de BIOTONIX, que es un sistema de pago para la evaluación

postural que permite mediante marcadores reflectantes analizar la postura, mediante el escaneo y corrección de imágenes [22], [28].

2.2 CAPTURA DE FOTOGRAFÍAS

Para la captura de fotografías, los principales aspectos que se deben analizar son la altura de la cámara, distancia entre el participante y la cámara, y la iluminación del espacio. Este tipo de información varía en cada uno de los artículos que fueron revisados en la literatura, en especial en los artículos [14], [17], [23], [24], donde la distancia entre la cámara y el sujeto varía de 1.50 a 3.00 metros, y la altura de la cámara desde el suelo 0.90 a 1.20 metros. En las fotografías el participante tiene colocados marcadores en los puntos anatómicos definidos en el punto anterior. Las fotografías se tomaron en cada una de las vistas establecidas, con ayuda de un trípode ubicado a 2.50 metros de distancia del sujeto y colocando el lente de la cámara a una altura de 1.10 metros. La resolución de la cámara a utilizar tiene que ser superior o igual a los 12 megapíxeles (Mpx) y el modo de configuración estar en automático.

Las fotografías, al momento que se realizaron las pruebas, se tomaron utilizando tres cámaras distintas: una semiprofesional, una cámara de celular de gama media y una cámara deportiva, con el fin de comparar los resultados de cada una de estas y establecer qué tipo de cámara resulta óptima para el sistema propuesto. Los planos que se tomaron en cuenta para la toma de fotografías son el plano frontal en la vista anterior y posterior, y el plano sagital en la vista lateral derecha.

2.3 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

Con la obtención de las fotografías en cada uno de los planos se investigó las prestaciones de procesamiento digital de imágenes presentes en el software especializado a utilizar. Para realizar la aplicación se utilizó el software MATLAB 2017b. MATLAB tiene un Toolbox dedicado para el procesamiento, análisis y desarrollo de algoritmos de imágenes (Image Processing Toolbox). Entre las principales funciones que se pueden llevar a cabo se encuentran la segmentación de imágenes, reducción de ruido, transformaciones geométricas, etc. Además de permitir manipular regiones de interés [29]. A continuación, se detallan los pasos que se siguieron para realizar la aplicación:

Primeramente, se desarrolló un algoritmo para realizar la filtración y segmentación de los marcadores de los puntos anatómicos seleccionados. Para esto se utilizó marcadores (etiquetas adhesivas) de color verde, el color verde se usó debido a la escala cromática de Von Luschan [30] donde una vez extraídas las componentes RGB (Roja, Verde y Azul por sus siglas en inglés) de cada una de las baldosas de color de piel, se obtuvo que el color menos predominante en la piel es la componente azul (B), seguido por la verde (G) y el más predominante la componente roja (R), debido a que los marcadores adhesivos de color verde son los más comunes de encontrar, estos fueron los que se utilizaron.

Al exportar una imagen en MATLAB esta está constituida por tres canales un rojo, un verde y un azul, de estas componentes solo el canal verde es de interés. Se extrae este vector de la matriz que compone la imagen, una vez extraída esta tendrá valores comprendidos entre 0 a 255. Al extraer solo un canal de una imagen esta se mostrará en forma monocromática, donde el valor más alto está representado por el color blanco y el más bajo por el color negro. Para obtener los marcadores que se encuentran en la fotografía, se transforma la imagen original a escala de grises, y se resta esta del canal verde que se extrajo anteriormente. Para limpiar la imagen de ruido y mejorar la resolución de los marcadores se aplicó un filtro de mediana, donde cada píxel de salida contiene el valor de la mediana en un vecindario de 3 por 3 alrededor del píxel correspondiente de entrada.

Ya con la imagen filtrada se procede a binarizar la matriz resultante con un nivel bajo de intensidad, el valor de este nivel está entre 0 y 1. Después de haber realizado varias pruebas con diferentes tipos de iluminación y comparando los resultados con otro software (python), se determinó que el nivel óptimo para realizar el binarizado es el 32% del valor máximo normalizado de la imagen filtrada. Es posible que existan unos agujeros en medio de los marcadores, así que es necesario rellenarlos mediante el comando `imfill` ("Imagen binarizada", 'holes'). En las figuras 2.3 - 2.5 se muestran los resultados de estas pruebas.

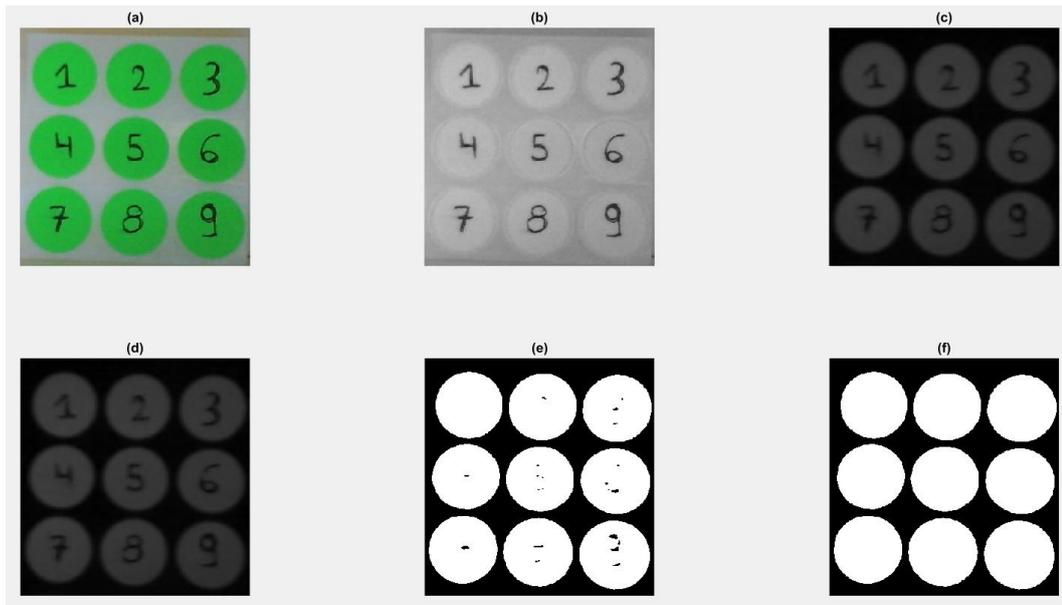


Figura 2.3. Primera prueba del filtro de color:

(a) Imagen original, (b) Imagen monocromática de la componente verde, (c) Diferencia entre el canal G y la imagen en escala de grises, (d) Imagen resultante al aplicar un filtro de mediana, (e) Binarización de la imagen, (f) Rellenado de los espacios vacíos en los marcadores.

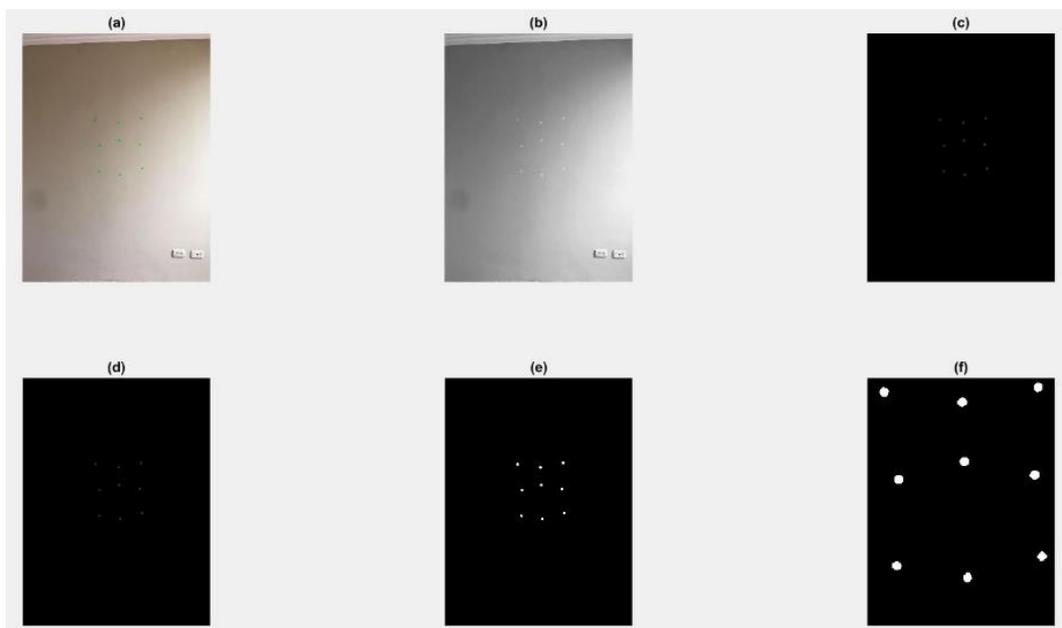


Figura 2.4. Segunda prueba del filtro de color:

(a) Imagen original, (b) Imagen monocromática de la componente verde, (c) Diferencia entre el canal G y la imagen en escala de grises, (d) Imagen resultante al aplicar un filtro de mediana, (e) Binarización de la imagen, (f) Rellenado de los espacios vacíos en los marcadores.

Para poder ubicar los puntos en el espacio se utilizó la función `regionprops` de MATLAB, permitiendo ubicar los centros de cada uno de los marcadores, para posteriormente, dependiendo de ciertos criterios de ubicación en el plano, etiquetar cada uno de los marcadores con el punto anatómico que debe representar.

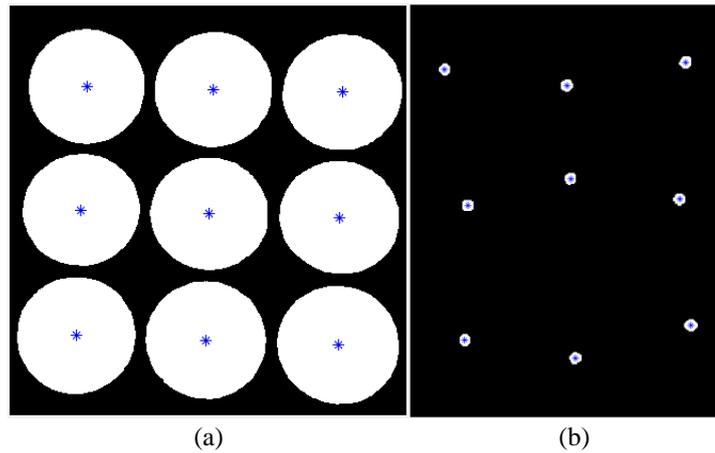


Figura 2.5. Ubicación de centros sobre los marcadores:
a) Primera imagen de prueba, b) Segunda imagen de prueba.

Se ubicaron dos marcadores adicionales para que sirvan como referencia al momento de cuadrar la imagen y obtener el factor de escala para transformar los píxeles a centímetros. Estos puntos adicionales están ubicados uno a cada lado de la persona y separados con una distancia de 100 centímetros (R1 y R2), figura 2.6.

Para etiquetar los marcadores con su punto anatómico respectivo se ordenó la matriz de centros, teniendo el conocimiento previo que los puntos están ordenados conforme estos estén ubicados sobre el plano de izquierda a derecha. Además, se incluyeron puntos adicionales mediante software, puntos derivados de los ya establecidos y otros puntos que son utilizados como referencia para generar una cuadrícula que le permitirá al fisioterapeuta tener una referencia visual, como se muestra en la figura 2.7.

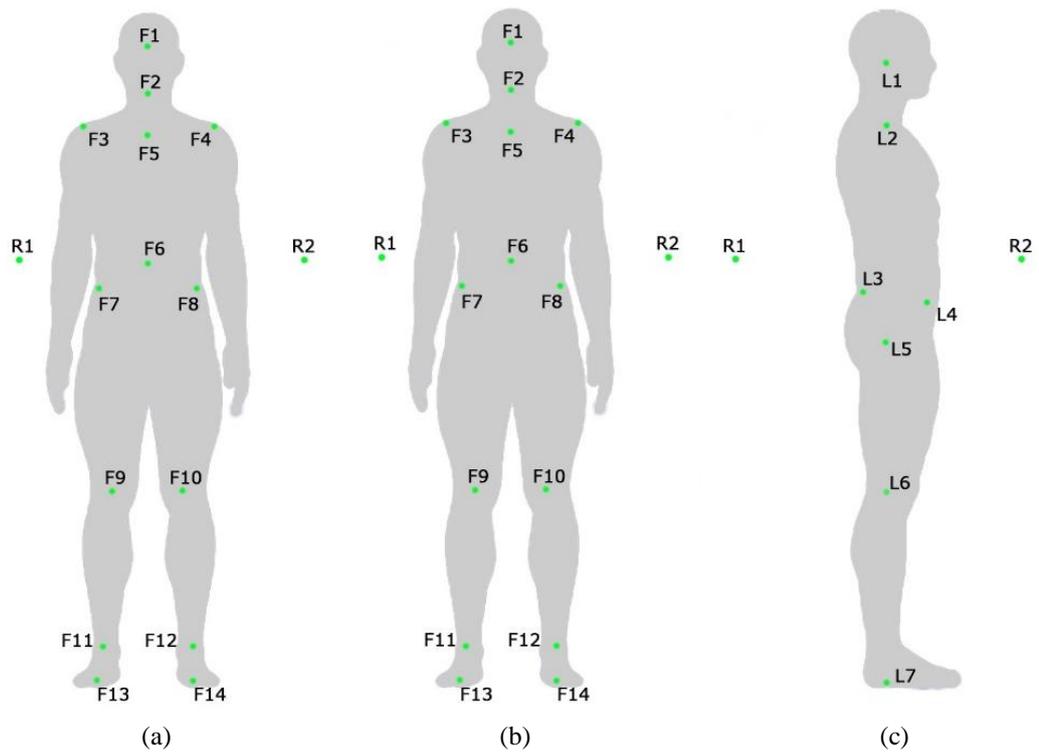


Figura 2.6. Esquema de fotografía:
 (a) Vista anterior, plano frontal, (b) Vista posterior, plano frontal, (c) Vista lateral derecha, plano sagital.

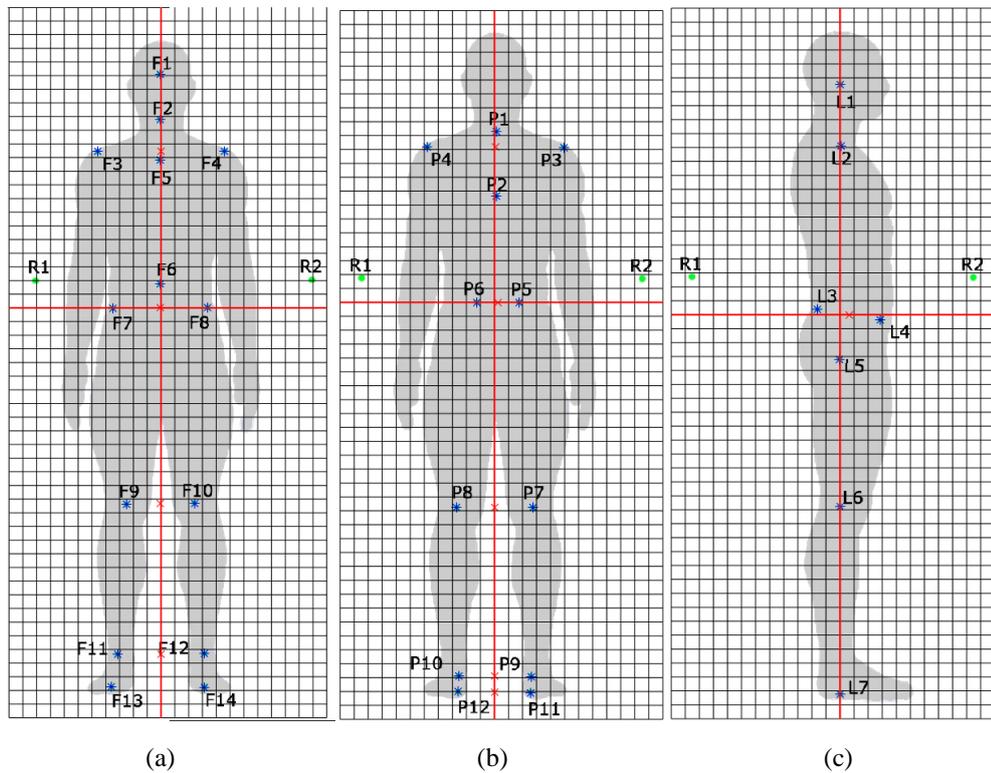


Figura 2.7. Imagen resultante de la aplicación:
 (a) Vista anterior, plano frontal, (b) Vista posterior, plano frontal, (c) Vista lateral derecha, plano sagital.

Ya con los marcadores identificados se aplicó los principios de fotogrametría en el plano para el cálculo de los ángulos, distancias y/o alturas de los segmentos corporales. Estos principios son una serie de funciones, aplicadas en el plano cartesiano, que fueron creadas en MATLAB para llenar las tablas de resultados con la información requerida por el fisioterapeuta. Los cálculos que se realizaron son la distancia entre los dos puntos, el factor de escala, y el ángulo entre dos puntos con respecto a la línea horizontal y la línea vertical.

Distancia entre dos puntos (D_{1-2}): Cada uno de los puntos cuenta con dos coordenadas, una coordenada x para el eje horizontal y una coordenada y para el eje vertical. Por lo cual la distancia entre dos puntos se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$D_{1-2} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (1)$$

Factor de escala: Dado que las coordenadas que se obtienen con el programa están en píxeles, el resultado de la distancia estará también en píxeles, por lo cual es necesario convertir estas distancias a centímetros. Con los dos marcadores de referencia previamente establecidos cuya distancia ya es conocida (100 centímetros) se hace el siguiente cálculo:

$$D_{cm} = \frac{100 \text{ cm}}{D_{R_1-R_2}} * D_{1-2} \quad (2)$$

Donde:

D_{cm} : es la distancia en centímetros.

$D_{R_1-R_2}$: es la distancia en píxeles entre los puntos de referencia.

Ángulo entre dos puntos con respecto a la línea horizontal y la línea vertical: Para el cálculo de estos parámetros se usa el comando *angle* de MATLAB, donde para los ángulos medidos con respecto a la línea horizontal la función es $angle((x_2 - x_1) + (y_2 - y_1) * 1i)$ y para los ángulos medidos con respecto a la línea vertical la función es $abs(angle((x_2 - x_1) + (y_2 - y_1) * 1i) - pi/2)$. El resultado de estos ángulos está en radianes y el punto de referencia es el punto (x_1, y_1) .

Las tablas de resultados también se guardarán en un reporte individual con la información de cada participante y también se adjuntarán en una BD en Excel. Para mejorar el uso de la aplicación se realizó una interfaz gráfica en GUIDE (GUI) de MATLAB (Figura 2.8). Es necesario que los participantes de la evaluación proporcionen la siguiente información: nombre, fecha cuando se realizó la evaluación, edad, género, peso en kilogramos, talla en centímetros y ocupación, ya que según la bibliografía esta es la información estándar que se pide en este tipo de evaluación, el peso debe ser ingresado en kilogramos (kg) y la talla en centímetros (cm), en caso de utilizar decimales se deberá separa la cifra con el uso de la coma.



Figura 2.8. Interfaz de GUI de la aplicación.

En la figura 2.8 se muestra cómo queda la interfaz de la aplicación una vez terminada. La interfaz consta de cuatro botones los cuales son “CALCULAR”, “REPORTE PDF”, “ADJUNTAR EN BD” y “LIMPIAR PANTALLA”. El primero ejecutará el algoritmo para la filtración, segmentación, y aplicación de los principios fotogramétricos, dando como resultado las imágenes y las tablas. El segundo botón sirve para generar el reporte individual, el reporte individual se guarda en una carpeta con el nombre del paciente y el archivo se guardará en PDF con la fecha en la cual se realizó la evaluación. El tercer botón es para el reporte grupal, este se ira adjuntando en una hoja de Excel cada una de las diferentes tablas, este documento se guarda en un documento llamado “Datos”. Por último, el botón final sirve para limpiar la pantalla los datos y las tablas presentes en la interfaz.

En el apéndice A se muestra un ejemplo del formato de reporte individual, esta es la forma en la cual se presenta la información tanto al fisioterapeuta como al participante.

CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La implementación y el análisis de resultados constan de dos partes, la primera de estas fue para la verificación de datos cuantitativos y la segunda fue para comprobar la eficiencia del sistema implementado en un ambiente profesional. Para la primera parte se realizaron pruebas en una cuadrícula postural, en la cual se colocaron los puntos de la vista frontal, y mediante el sistema LAM se verificaron los datos cuantitativos. Para la segunda etapa se realizaron pruebas en personas con ayuda y supervisión del centro HABILITAR Terapia Física y Neurorehabilitación de la ciudad de Cuenca.

3.1 VERIFICACIÓN DE DATOS CUANTITATIVOS

La cuadrícula postural tiene dimensiones de 1.00 x 2.00 metros y el diseño de la cuadrícula en ésta tiene un ancho de 0.80 x 1.90 metros con divisiones de 0.20 x 0.20 metros y subdivisiones de 0.05 x 0.05 metros. Se realizó la impresión de la cuadrícula postural en lona, pero al tener dudas sobre la exactitud de las medidas en la impresión, solo se tomaron en cuenta las divisiones como referencia de alineamiento horizontal y vertical.

Se marcaron los centros de los marcadores y se colocaron sobre la lona, posteriormente se tomaron las fotografías simulando que son los puntos que se encuentran en la vista anterior (Tabla 2.1). Se escogió la vista anterior en el plano frontal ya que esta es la que posee más puntos y otorga más información, haciendo comparaciones de distancias y ángulos con respecto a la horizontal y vertical del plano. Las relaciones de los marcadores se midieron manualmente con escuadra. En la figura 3.1 se muestra el montaje de la lona en un esquema del espacio que se utilizó para realizar las pruebas.

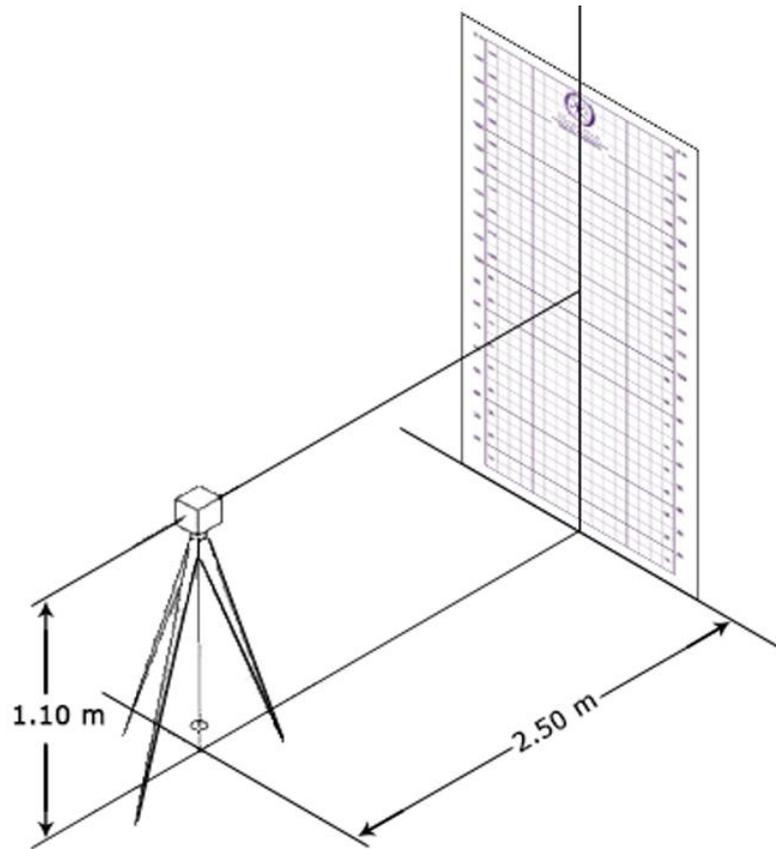


Figura 3.1. Esquema de la ubicación de la cámara y de la lona.

Los materiales utilizados para estas pruebas se muestran a continuación:

- Cámara profesional Nikon D750.
- Lente 24-120mm VR.
- Smartphone Xiaomi Redmi Note 5.
- Cámara Action Cam FULL HD.
- Trípode Vivitar Take a Stand 62.
- Lona impresa con la cuadrícula postural.
- Flexómetro kyoto 5m y juego de escuadras.
- Luxómetro AMPROBE LM-120.
- Etiquetas circulares adhesivas de 1.5 centímetros de diámetro.

Se colocó la lona sobre la superficie de la pared, respetando las medidas marcadas en ella, posteriormente se colocaron marcadores sobre ésta (marcadores F1-F14 junto con los dos marcadores de referencia). La cámara se posicionó de forma paralela a la superficie de la pared a una distancia de 2.50 metros y a una altura de 1.10 metros (Figura 3.1). Los resultados que se obtuvieron realizando las mediciones manualmente se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Resultados obtenidos en la cuadrícula postural mediante el uso de escuadras.

Segmento corporal o referencia	Real
Ángulos con respecto a la horizontal	
Hombros	-21,70
Pelvis	0,00
Rodilla	-9,37
Distancia con respecto a la línea de referencia [cm]	
Frente	5,00
Hombros	2,50
Ombiligo	-3,00
Pelvis	-2,50
Rodillas	0,00
Pies	3,50
Ángulos con respecto a la vertical	
Pie Izquierdo	-11,37
Pie Derecho	26,68
Inclinación de la Cabeza	45,29
Rodilla Der.	9,51
Rodilla Izq.	11,35

Los resultados arrojados por el programa son positivos, pero este también ofrece una característica de orientación que puede ser izquierda/derecha, varo/valgo, rotación interna/rotación externa o alineado. A causa de lo anterior, es necesario asignar a cada característica de orientación un símbolo para posteriormente poder comparar los resultados obtenidos con los resultados de la tabla 3.1. Se estableció el símbolo positivo para resultados que arrojen derecha, varo, rotación externa y alineado; y negativo para los que arrojen izquierdo, valgo y rotación interna.

Se realizaron pruebas con intensidades de luz baja, con el fin de encontrar hasta qué punto el sistema es capaz de responder correctamente. Estas pruebas permitieron encontrar cual es el nivel del error de sistema propuesto, según como varia la iluminancia y el tipo de cámara. Con ayuda del luxómetro se midió la iluminancia según el “Protocolo para la evaluación de la luminancia e iluminancia en los lugares de trabajo”, perteneciente al instituto de Salud Pública del Gobierno de Chile [31].

Para medir la iluminancia en la superficie de trabajo se siguieron los siguientes pasos:

- a) Definir las zonas críticas en la superficie que se desea medir la iluminancia, para nuestro caso puntual se seleccionaron tres puntos alrededor de la superficie de la lona, donde se apreció que la incidencia de luz era más baja. Un punto central en la parte superior y otros dos puntos en la parte inferior a cada lado de los puntos más bajos, como se muestra en la figura 3.2.

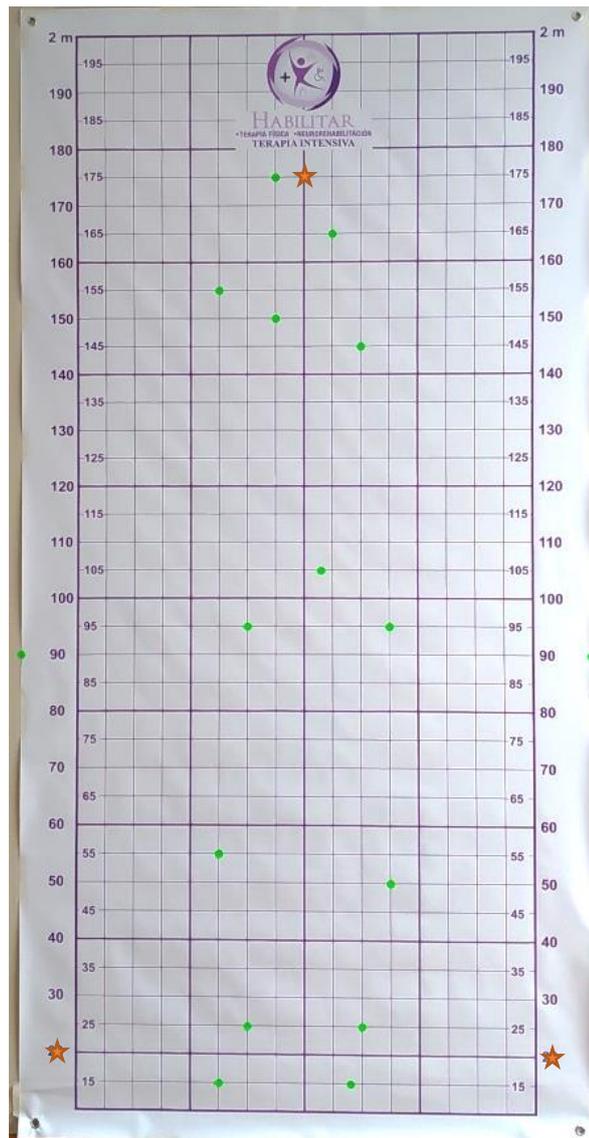


Figura 3.2. Cuadrícula postural para la evaluación de datos cuantitativos con la colocación de los marcadores de la vista frontal en el plano anterior. Las estrellas rojas mostradas representan los puntos en donde se midió la iluminancia.

- b) Se realizaron cuatro mediciones en un tiempo de treinta segundos en cada uno de los puntos críticos establecidos, es importante asegurarse antes de

realizar las mediciones que la lectura del luxómetro sea cero. Esto se debe verificar con el sensor del instrumento tapado con la tapa original del mismo.

- c) Se promediaron los resultados de estos puntos y se consideró a esta medición como el nivel de iluminancia de la superficie.

Nota: Como la medición se realizó en un mural el sensor se posicionó en forma vertical.

Se siguieron los mismos pasos para cada uno de los diferentes niveles de iluminancia que se utilizaron para las pruebas. Las pruebas se realizaron sin que la luz del día intervenga, esto se realizó así debido a que la luz del día puede cambiar en cualquier instante y alterar las mediciones. Cabe recalcar que por este motivo las pruebas fueron realizadas en condiciones de luz pobres, por lo que los resultados pueden generar un menor margen de error en condiciones favorables de luz o con fotografías realizadas en un estudio fotográfico.

Los niveles obtenidos en luxes fueron las siguientes:

- Toma 1 = 29.92
- Toma 2 = 15.08
- Toma 3 = 7.77
- Toma 4 = 4.06
- Toma 5 = 2.11
- Toma 6 = 1.09
- Toma 7 = 0.56
- Toma 8 = 0.31

Con cada uno de estos niveles de iluminancia se tomaron las fotografías, con la cámara Nikon en modo enfoque automático, con el flash desactivado, y con el flash activado. Para la configuración de la cámara deportiva (Action Cam SJ7000) se estableció la resolución de fotografía en la más alta (14 Mpx), la calidad de la fotografía Alta y el ISO automático, las demás opciones de configuración se mantuvieron por defecto. Por último, la cámara del smartphone (Xiaomi Redmi Note 5 pro) se utilizó la configuración por defecto de la cámara stock con el flash desactivado, y con el flash activado.

Como se puede apreciar en las tablas 3.2 y 3.3 con la cámara profesional Nikon se pudieron obtener resultados con todas las tomas, y con el smartphone se obtuvo resultados hasta la toma 7 (Tablas 3.4 y 3.5). Lastimosamente con la cámara deportiva no se consiguieron resultados debido a que, en condiciones desfavorables de luz, la cámara inserta demasiado ruido a las fotografías además que la forma de ojo de pez que tiene la lente distorsiona la imagen.

Tabla 3.2. Resultados obtenidos con el sistema utilizando las fotografías con la cámara Nikon con el flash activado.

	Real	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8
Ángulos con respecto a la horizontal									
Hombros	-21,70	-21,65	-21,55	-21,70	-21,71	-21,73	-21,62	-21,50	-21,50
Pelvis	0,00	0,03	0,09	-0,06	-0,05	-0,08	0,06	0,10	-0,03
Rodillas	-9,37	-9,27	-9,22	-9,33	-9,36	-9,39	-9,25	-9,20	-9,34
Distancia con respecto a la línea de referencia [cm]									
Frente	5,00	5,09	5,06	5,01	5,03	5,07	5,03	5,03	5,12
Hombros	2,50	2,56	2,55	2,50	2,55	2,55	2,52	2,52	2,55
Ombligo	-3,00	-2,95	-2,99	-2,98	-2,95	-2,96	-2,97	-3,00	-2,96
Pelvis	-2,50	-2,45	-2,47	-2,49	-2,44	-2,47	-2,51	-2,46	-2,46
Rodillas	0,00	0,02	-0,02	-0,02	0,04	0,04	0,03	0,00	-0,01
Pies	3,50	3,45	3,41	3,42	3,46	3,44	3,48	3,44	3,48
Ángulos con respecto a la vertical									
Pie Izquierdo	-11,37	-11,81	-11,61	-11,69	-11,87	-11,76	-11,97	-11,72	-12,00
Pie Derecho	26,68	27,10	26,96	26,94	27,10	26,98	27,19	26,97	27,20
Inclinación de la Cabeza	45,29	45,49	45,35	45,57	45,44	45,42	45,33	45,66	45,60
Rodilla Der.	9,51	9,90	9,87	9,82	9,89	9,91	9,92	9,84	9,87
Rodilla Izq.	11,35	11,74	11,89	11,86	11,68	11,69	11,73	11,77	11,84

Tabla 3.3. Resultados obtenidos con el sistema utilizando las fotografías con la cámara Nikon con el flash desactivado.

	Real	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7	Toma 8
Ángulos con respecto a la horizontal									
Hombros	-21,70	-21,67	-21,60	-21,63	-21,62	-21,52	-21,56	-21,60	-21,52
Pelvis	0,00	-0,05	-0,03	0,03	0,00	0,17	0,02	0,10	0,08
Rodillas	-9,37	-9,31	-9,33	-9,35	-9,32	-9,17	-9,24	-9,19	-9,23
Distancia con respecto a la línea de referencia [cm]									
Frente	5,00	5,04	5,07	5,07	5,05	5,11	5,05	5,05	5,07
Hombros	2,50	2,54	2,55	2,55	2,52	2,59	2,52	2,52	2,53
Ombligo	-3,00	-3,00	-2,94	-2,95	-2,96	-2,97	-2,96	-3,00	-2,97
Pelvis	-2,50	-2,45	-2,43	-2,47	-2,49	-2,48	-2,45	-2,48	-2,50
Rodillas	0,00	-0,01	0,04	0,03	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00
Pies	3,50	3,41	3,45	3,48	3,44	3,45	3,47	3,46	3,44
Ángulos con respecto a la vertical									
Pie Izquierdo	-11,37	-11,67	-11,87	-12,06	-11,74	-11,79	-11,88	-11,86	-11,72
Pie Derecho	26,68	26,98	27,16	27,34	27,08	27,11	27,03	27,04	26,92
Inclinación de la Cabeza	45,29	45,51	45,36	45,61	45,31	45,67	45,63	45,37	45,59
Rodilla Der.	9,51	9,86	9,89	9,91	9,84	9,88	9,89	9,94	9,81
Rodilla Izq.	11,35	11,86	11,70	11,79	11,76	11,76	11,76	11,74	11,74

Tabla 3.4. Resultados obtenidos con el sistema utilizando las fotografías con la cámara del smartphone con el flash activado.

	Real	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7
Ángulos con respecto a la horizontal								
Hombros	-21,70	-21,80	-21,72	-21,73	-21,66	-21,68	-21,92	-21,84
Pelvis	0,00	-0,07	-0,05	0,04	0,04	0,01	-0,10	-0,01
Rodillas	-9,37	-9,50	-9,67	-9,63	-9,77	-9,63	-9,47	-9,72
Distancia con respecto a la línea de referencia [cm]								
Frente	5,00	5,12	5,16	5,25	5,06	4,99	5,13	5,29
Hombros	2,50	2,58	2,65	2,70	2,56	2,45	2,54	2,74
Ombliigo	-3,00	-2,96	-2,92	-2,88	-2,99	-3,04	-3,08	-2,79
Pelvis	-2,50	-2,50	-2,41	-2,40	-2,41	-2,49	-2,43	-2,35
Rodillas	0,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,02	-0,04	0,06
Pies	3,50	3,50	3,52	3,45	3,60	3,54	3,47	3,53
Ángulos con respecto a la vertical								
Pie Izquierdo	-11,37	-11,37	-11,23	-11,26	-11,60	-11,89	-11,01	-11,04
Pie Derecho	26,68	26,27	26,49	26,15	26,67	26,82	26,58	27,01
Inclinación de la Cabeza	45,29	44,82	44,89	44,89	44,70	44,89	44,63	45,06
Rodilla Der.	9,51	9,31	9,17	9,20	9,20	9,32	9,27	9,46
Rodilla Izq.	11,35	11,10	10,49	11,08	11,00	11,19	11,28	11,14

Tabla 3.5. Resultados obtenidos con el sistema utilizando las fotografías con la cámara del smartphone con el flash desactivado.

	Real	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Toma 6	Toma 7
Ángulos con respecto a la horizontal								
Hombros	-21,70	-21,67	-21,70	-21,66	-21,76	-21,94	-21,98	-21,81
Pelvis	0,00	-0,09	0,00	0,03	-0,05	-0,10	-0,05	-0,03
Rodillas	-9,37	-9,58	-9,74	-9,73	-9,66	-9,74	-9,44	-9,59
Distancia con respecto a la línea de referencia [cm]								
Frente	5,00	5,10	5,18	5,22	5,15	4,99	5,18	5,20
Hombros	2,50	2,43	2,68	2,61	2,56	2,43	2,62	2,68
Ombliigo	-3,00	-3,09	-2,81	-2,89	-2,92	-3,00	-2,94	-2,83
Pelvis	-2,50	-2,56	-2,37	-2,41	-2,47	-2,52	-2,43	-2,39
Rodillas	0,00	-0,04	0,04	0,00	-0,01	-0,07	-0,01	0,03
Pies	3,50	3,50	3,59	3,50	3,51	3,52	3,51	3,49
Ángulos con respecto a la vertical								
Pie Izquierdo	-11,37	-11,20	-11,75	-11,25	-11,30	-11,30	-11,36	-11,16
Pie Derecho	26,68	26,51	26,87	26,60	26,10	26,65	26,45	26,26
Inclinación de la Cabeza	45,29	45,27	44,66	44,83	45,08	45,08	45,09	44,76
Rodilla Der.	9,51	9,18	9,39	9,27	9,27	9,11	9,32	9,41
Rodilla Izq.	11,35	11,17	11,11	11,12	11,13	11,25	11,18	11,08

Para graficar el error se utilizaron diagramas de cajas y bigotes. Este tipo de diagramas permiten apreciar de una forma clara grupos de datos numéricos a través de cuartiles. Los extremos de los bigotes representan el valor mínimo y máximo, la caja representa la dispersión del 50% de los datos centrales, la línea que divide la caja es la mediana y la 'x' representa la media. A continuación, se muestran los resultados de los errores:

Se puede observar en la figura 3.3 que se obtuvo mejores resultados cuando se usó la cámara Nikon con flash, ya que existe una mayor concentración de los datos. Para el ángulo de los hombros con respecto a la horizontal se obtuvo un error relativo porcentual mínimo de 0% y un máximo de 0.92%; y para el ángulo de las rodillas con respecto a la horizontal se obtuvo un mínimo de 0.11% y un máximo de 1.81% con el uso de la cámara Nikon con flash.

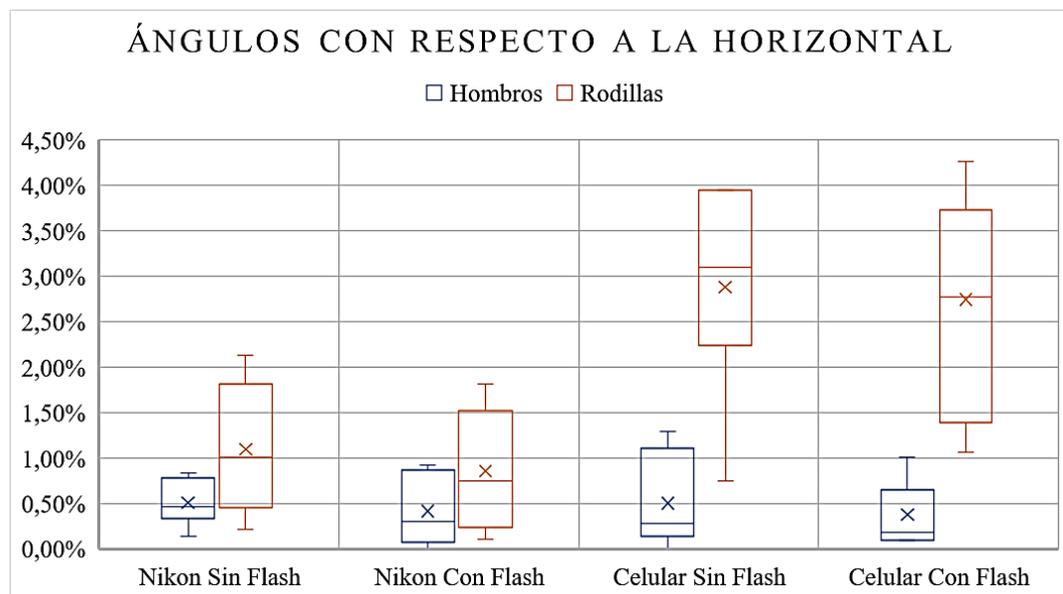


Figura 3.3. Pruebas de luz: Errores relativos de los ángulos con respecto a la horizontal.

En la figura 3.4 se observa que, a pesar de que los resultados obtenidos mediante las fotografías tomadas con el celular sin flash tienen algún error absoluto nulo, los datos se encuentran más dispersos con respecto a los resultados obtenidos con la cámara Nikon con flash. Para el ángulo de pelvis se obtuvo un error absoluto máximo de 0.10 cm y mínimo de 0.03 cm con el uso de la cámara Nikon con flash.

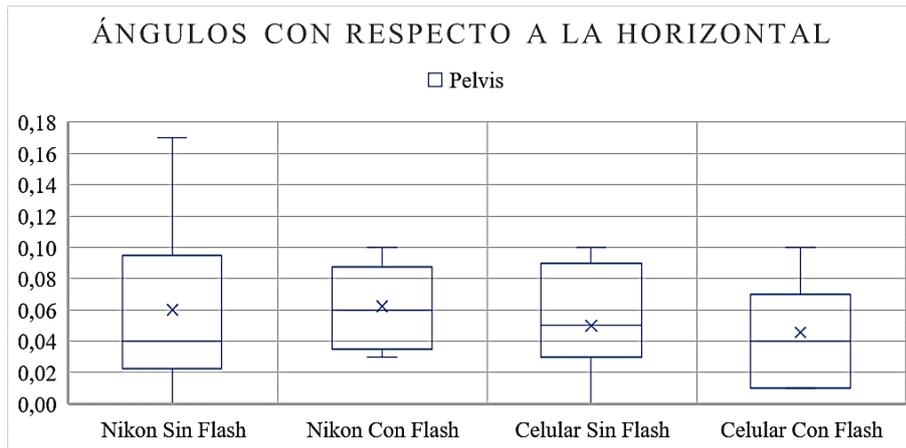


Figura 3.4. Pruebas de luz: Error absoluto del ángulo de la pelvis con respecto a la horizontal.

En la figura 3.5 se observa que se obtuvo mejores resultados con la cámara Nikon, en especial con el uso del flash, donde se obtuvieron errores menores con respecto al uso de las otras cámaras. Los errores relativos máximos de la distancia de la frente, hombros, ombligo, rodillas y pies con respecto a la línea vertical de referencia fueron 2.4%, 2.4%, 1.67%, 4% y 2.57% y los mínimos 0.20%, 0%, 0%, 0% y 0.57% respectivamente con el uso de la cámara Nikon con flash.

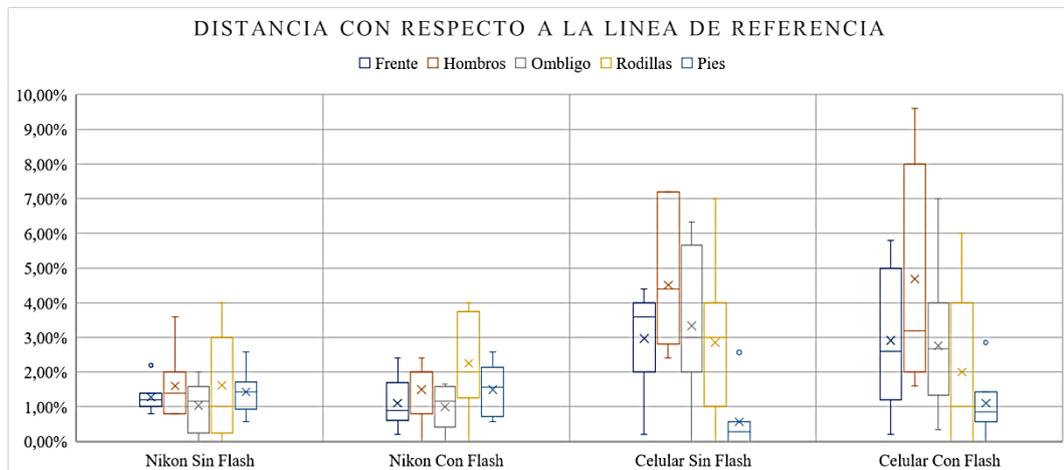


Figura 3.5. Pruebas de luz: Errores relativos de las distancias con respecto a la línea de referencia vertical.

En la figura 3.6 se observa que se obtuvo un mejor resultado con la cámara Nikon con flash. Para la distancia de la pelvis con respecto a la línea de referencia vertical se obtuvo un error absoluto máximo de 0.02 cm y mínimo de 0 cm con el uso de la cámara Nikon con flash.

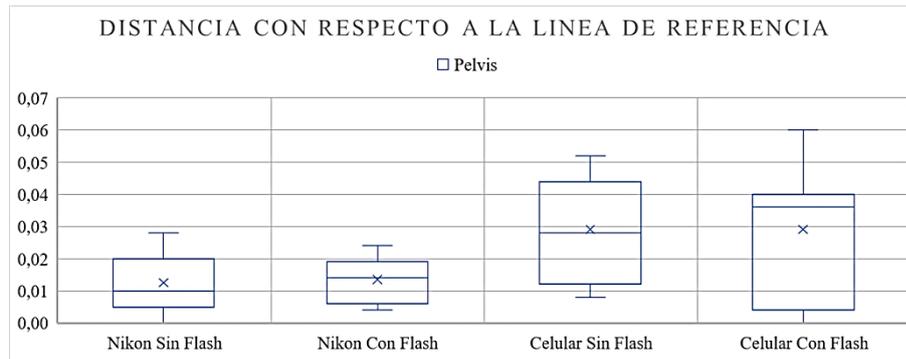


Figura 3.6. Pruebas de luz: Error absoluto de la distancia de la pelvis con respecto a la línea de referencia vertical.

En la figura 3.7 se observa que se obtuvo mejores resultados con la cámara del celular sin flash. Los errores relativos máximos de los ángulos del pie derecho, pie izquierdo, inclinación de la cabeza, Rodilla derecha y de la rodilla izquierda con respecto a la línea vertical de referencia fueron 3.34%, 2.17%, 1.39%, 4.21% y 2.38% y los mínimos 0.09%, 0.11%, 0.04%, 1.05% y 0.88% respectivamente con el uso de la cámara celular sin flash. También se realizaron pruebas con diferentes distancias, pero solo usando la cámara Nikon, ya que en la mayoría de los casos esta dio mejores resultados. La cámara se ubicó paralela a la pared en tres posiciones: 2.50, 2.00 y 1.80 metros y el lente a una altura de 1.10, 1.00 y 0.97 metros respectivamente. La iluminancia de 29.92 lux.

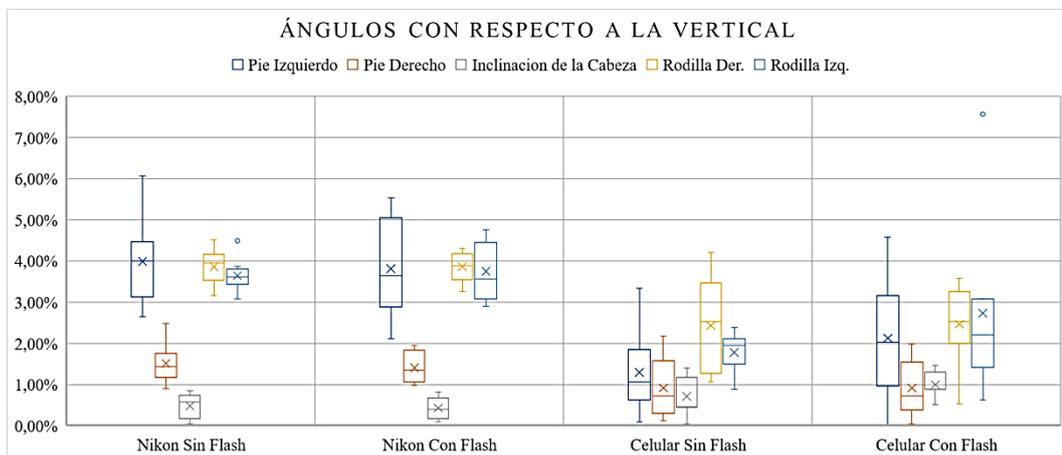


Figura 3.7. Pruebas de luz: Errores relativos de los ángulos con respecto a la vertical.

Como se aprecia en las figuras 3.8 – 3.12 existe un margen menor cuando la cámara está más cerca a los marcadores. Sin embargo, la distancia que se seleccionó para el protocolo fue debido a que esta distancia permitía apreciar mejor la superficie donde se colocó la lona con los tipos de cámara que se usaron para las pruebas.

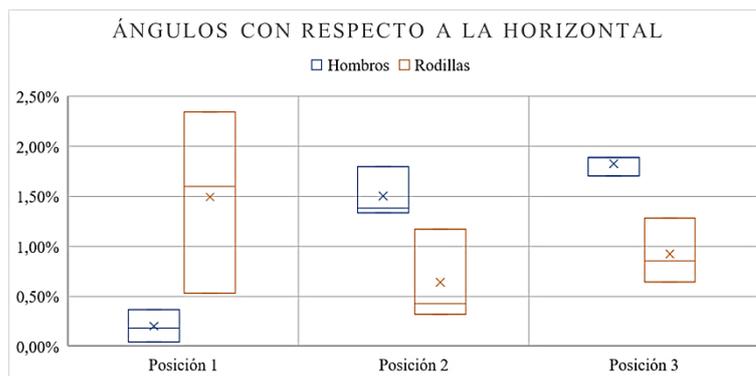


Figura 3.8. Pruebas de distancia: Errores relativos de los ángulos con respecto a la horizontal.

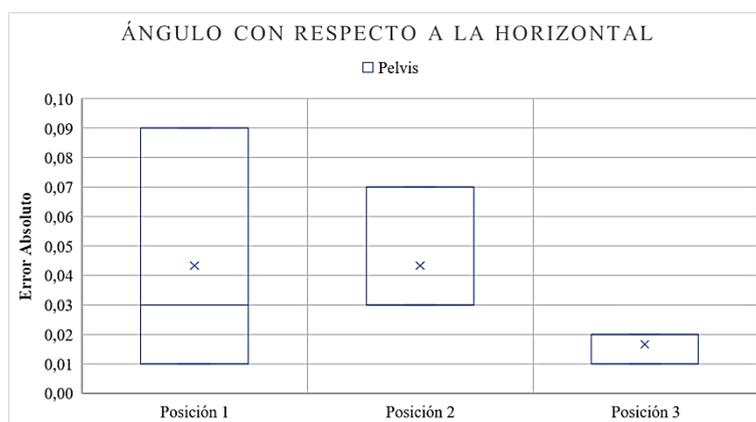


Figura 3.9. Pruebas de distancia: Error absoluto del ángulo de la pelvis con respecto a la horizontal.

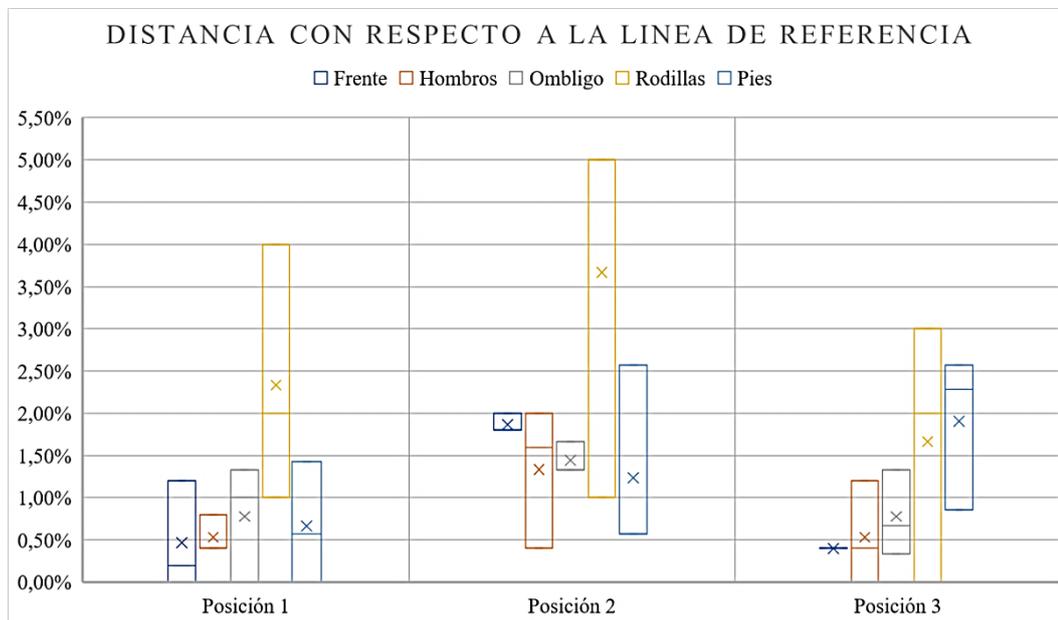


Figura 3.10. Pruebas de distancia: Errores relativos de las distancias con respecto a la línea de referencia vertical.

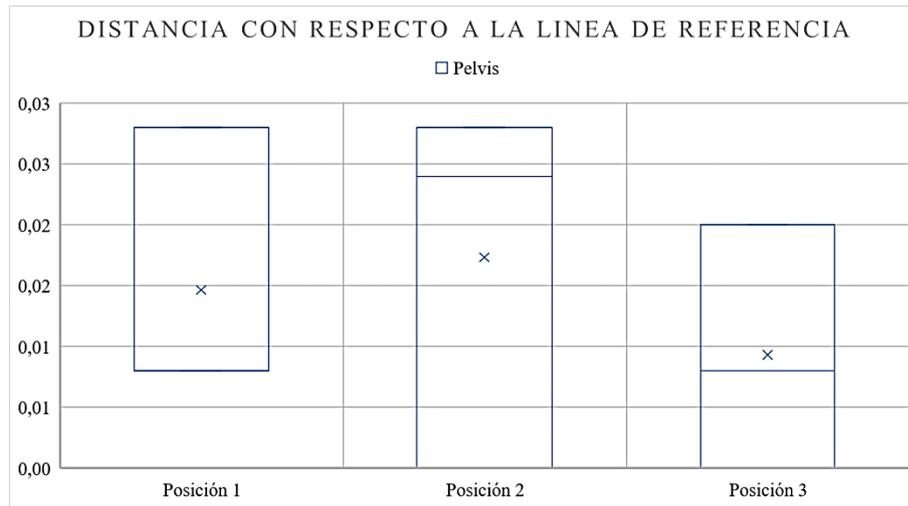


Figura 3.11. Pruebas de distancia: Error absoluto de la distancia de la pelvis con respecto a la línea de referencia vertical.

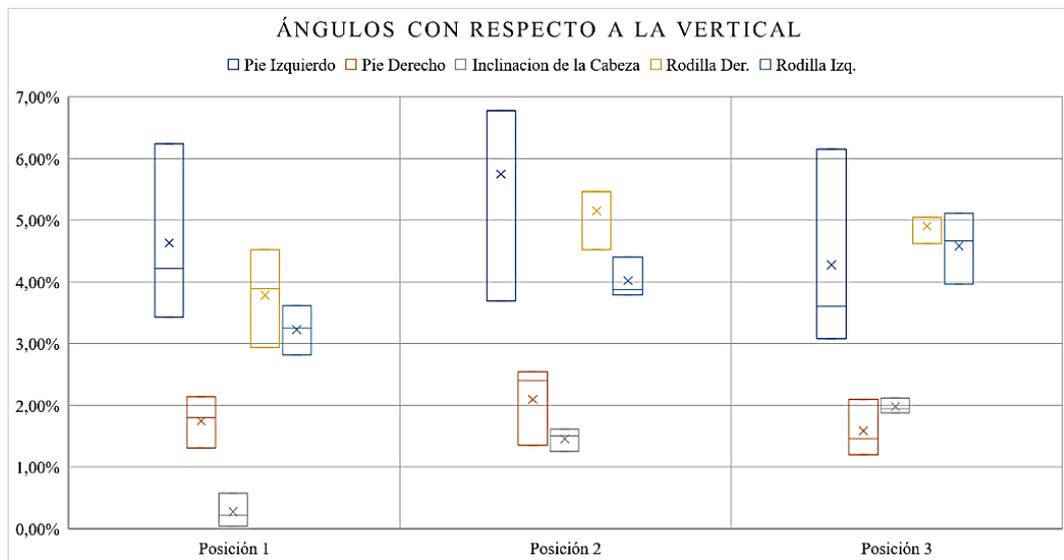


Figura 3.12. Pruebas de distancia: Errores relativos de los ángulos con respecto a la vertical.

A continuación, se muestran las tablas de resúmenes de los errores, que se obtuvieron con las pruebas de todas las fotografías que se analizaron con las diferentes cámaras e iluminancias y con las distintas posiciones. En las tablas 3.6 – 3.8 los errores que no están en porcentaje son errores absolutos y su unidad depende del parámetro que se esté evaluando, todos los demás son errores relativos porcentuales.

Tabla 3.6. Tabla de resumen de errores de las pruebas de luz.

	Segmento Corporal	Error Promedio	Error Máximo	Error Mínimo
Ángulos con respecto a la horizontal	Hombros	0,45%	1,29%	0,00%
	Pelvis	0,06	0,17	0,00
	Rodillas	1,83%	4,27%	0,11%
Distancia con respecto a la línea de referencia	Frente	2,01%	5,80%	0,20%
	Hombros	2,97%	9,60%	0,00%
	Ombliigo	1,97%	7,00%	0,00%
	Pelvis	0,02	0,06	0,00
	Rodillas	2,17%	7,00%	0,00%
	Pies	1,17%	2,86%	0,00%
Ángulos con respecto a la vertical	Pie Izquierdo	2,88%	6,07%	0,00%
	Pie Derecho	1,20%	2,47%	0,04%
	Inclinación de la Cabeza	0,64%	1,46%	0,04%
	Rodilla Der.	3,20%	4,52%	0,53%
	Rodilla Izq.	3,02%	7,58%	0,62%

Tabla 3.7. Tabla de resumen de errores de las pruebas de posición.

	Segmento Corporal	Error Promedio	Error Máximo	Error Mínimo
Ángulos con respecto a la horizontal	Hombros	1,18%	1,89%	0,05%
	Pelvis	0,03	0,09	0,01
	Rodillas	1,02%	2,35%	0,32%
Distancia con respecto a la línea de referencia	Frente	0,91%	2,00%	0,00%
	Hombros	0,80%	2,00%	0,00%
	Ombliigo	1,00%	1,67%	0,00%
	Pelvis	0,01	0,03	0,00
	Rodillas	2,56%	5,00%	0,00%
	Pies	1,27%	2,57%	0,00%
Ángulos con respecto a la vertical	Pie Izquierdo	4,89%	6,77%	3,08%
	Pie Derecho	1,81%	2,55%	1,20%
	Inclinación de la Cabeza	1,24%	2,12%	0,04%
	Rodilla Der.	4,62%	5,47%	2,94%
	Rodilla Izq.	3,95%	5,11%	2,82%

El error relativo máximo que se obtuvo en todas las pruebas fue de 9.60% que en un principio podría parecer demasiado alto, pero hay que recordar que las pruebas se realizaron en condiciones pobres de luz y que los resultados son medidas pequeñas de unos pocos centímetros y grados.

Por último, se realizó una toma de fotografía usando la cámara Nikon en modo totalmente automático y con la misma posición inicial de la cámara. Estos

resultados se muestran en la tabla 3.8, donde se puede apreciar que el error máximo es de 3.15%. De esta manera se comprueba que entre mejor sea la calidad de la toma de fotografía mejores serán los resultados.

Tabla 3.8. Tabla de error con la cámara Nikon totalmente en automático.

	Segmento Corporal	Error
Ángulos con respecto a la horizontal	Hombros	0,41%
	Pelvis	0,03
	Rodillas	0,75%
Distancia con respecto a la línea de referencia	Frente	0,40%
	Hombros	0,80%
	Omblogo	1,00%
	Pelvis	0,02
	Rodillas	2,00%
	Pies	1,71%
Ángulos con respecto a la vertical	Pie Izquierdo	1,93%
	Pie Derecho	0,45%
	Inclinación de la Cabeza	0,55%
	Rodilla Der.	3,15%
	Rodilla Izq.	2,56%

3.2 PRUEBAS DEL SISTEMA LAM EN PERSONAS

Las pruebas se realizaron con diez personas de tres diferentes grupos etarios: niños con una media de 9.40 ± 1.50 años, adolescentes con una media de 14.30 ± 1.50 años y adultos con una media de 33.80 ± 16.60 años, dando un total de treinta personas. Para la realización de las pruebas se contó con la ayuda del centro de fisioterapia HABILITAR. Todas las personas que participaron en las pruebas firmaron el consentimiento informado que se muestra en el apéndice B.

Los resultados obtenidos mediante el sistema desarrollado iban a ser comparados con el método tradicional, pero las tablas de resultados del uno con el otro eran muy diferentes, y no se encontró una forma en la cual estos puedan ser comparados. Se optó por realizar las evaluaciones fotogramétricas mediante el software Kinovea [21] y el uso de las tablas 2.2 – 2.4. De esta forma se pudo comparar los datos y verificar que tan eficiente es el sistema propuesto. Las principales herramientas que se usaron en el software Kinovea fueron: “angle to horizontal”, “angle to vertical”, “distance (horizontal)”, “central sacral vertical line”. Un ejemplo del uso de estas herramientas se muestra en la figura 3.13.

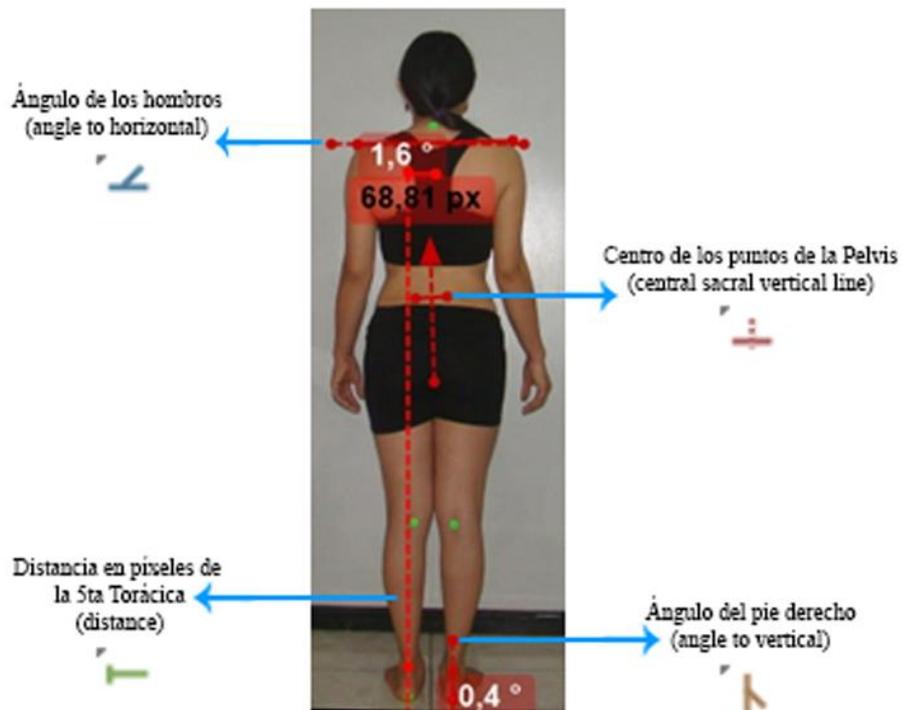


Figura 3.13. *Usa del software Kinovea en evaluaciones posturales.*

Para las pruebas se tomó una muestra de cinco personas en cada uno de los grupos para posteriormente comparar estos resultados con los del sistema propuesto. Los resultados de estas pruebas se muestran en las tablas 3.9 – 3.11 para los participantes adultos; de las tablas 3.12 – 3.14 para los participantes adolescentes; y de las tablas 3.15 – 3.17 para los participantes niños.

Como se puede observar en las tablas 3.9 – 3.11 el error máximo absoluto que se obtuvo para las distancias fue de 0.53 cm, para los ángulos con respecto a la horizontal fue de 0.43 grados y para los ángulos medidos con respecto a la vertical fue de 0.70 grados. Los errores absolutos mínimos que se encontraron para todos los casos fueron de cero.

Tabla 3.9. Tabla de errores absolutos en participantes adultos: Vista anterior en el plano frontal.

	Segmento Corporal	Participantes Adultos				
		Voluntario 1	Voluntario 2	Voluntario 3	Voluntario 4	Voluntario 5
Ángulos con respecto a la horizontal (grados)	Hombros	0,16	0,00	0,15	0,15	0,25
	Pelvis	0,06	0,19	0,21	0,17	0,06
	Rodillas	0,29	0,17	0,43	0,16	0,09
Distancia con respecto a la línea de referencia (centímetros)	Frente	0,35	0,22	0,01	0,05	0,15
	Hombros	0,24	0,02	0,14	0,01	0,41
	Ombbligo	0,22	0,05	0,05	0,12	0,02
	Pelvis	0,53	0,11	0,14	0,09	0,05
	Rodillas	0,11	0,01	0,09	0,12	0,09
	Pies	0,06	0,14	0,06	0,10	0,07
Ángulos con respecto a la vertical (grados)	Pie Izquierdo	0,23	0,23	0,20	0,07	0,28
	Pie Derecho	0,06	0,17	0,38	0,20	0,19

Tabla 3.10. Tabla de errores absolutos en participantes adultos: Vista posterior en el plano frontal.

	Segmento Corporal	Participantes Adultos				
		Voluntario 1	Voluntario 2	Voluntario 3	Voluntario 4	Voluntario 5
Ángulos con respecto a la horizontal (grados)	Hombros	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10
	Pelvis	0,30	0,20	0,20	0,30	0,40
	Rodillas	0,10	0,40	0,40	0,40	0,20
Distancia con respecto a la línea de referencia (centímetros)	Hombros	0,06	0,24	0,23	0,23	0,38
	7ma Cervical	0,02	0,24	0,10	0,16	0,30
	5ta Torácica	0,02	0,30	0,05	0,18	0,19
	Pelvis	0,13	0,26	0,04	0,22	0,45
	Rodillas	0,01	0,01	0,02	0,06	0,08
	Tobillos	0,02	0,04	0,00	0,01	0,06
Ángulos con respecto a la vertical (grados)	Pie Izquierdo	0,30	0,40	0,40	0,00	0,30
	Pie Derecho	0,30	0,30	0,50	0,40	0,70

Tabla 3.11. Tabla de errores absolutos en participantes adultos: Vista lateral derecha en el plano sagital.

		Participantes Adultos				
Segmento Corporal		Voluntario 1	Voluntario 2	Voluntario 3	Voluntario 4	Voluntario 5
Ángulos con respecto a la vertical (grados)	Cabeza-Hombro	0,40	0,00	0,10	0,10	0,30
	Hombro-Pelvis	0,10	0,20	0,10	0,00	0,10
	Caderas-Rodillas	0,10	0,00	0,20	0,10	0,10
	Rodillas-Pies	0,00	0,20	0,30	0,00	0,20
Ángulo con respecto a la horizontal (grados)	Pelvis	0,20	0,30	0,40	0,10	0,40
Distancia con respecto a la línea de referencia (centímetros)	Cabeza	0,15	0,01	0,08	0,26	0,23
	Hombros	0,22	0,00	0,19	0,24	0,25
	Pelvis	0,20	0,09	0,12	0,20	0,10
	Caderas	0,13	0,01	0,12	0,21	0,10
	Rodillas	0,14	0,01	0,00	0,07	0,04

Para el caso de las pruebas realizadas en adolescentes (tablas 3.12 – 3.14) el error máximo absoluto que se obtuvo para las distancias fue de 0.64 cm, para los ángulos con respecto a la horizontal fue de 0.60 grados y para los ángulos medidos con respecto a la vertical fue de 0.60 grados. Los errores absolutos mínimos que se encontraron para todos los casos fueron de cero.

Tabla 3.12. Tabla de errores absolutos en participantes adolescentes: Vista anterior en el plano frontal.

		Participantes Adolescentes				
Segmento Corporal		Voluntario 1	Voluntario 2	Voluntario 3	Voluntario 4	Voluntario 5
Ángulos con respecto a la horizontal (grados)	Hombros	0,02	0,09	0,08	0,03	0,05
	Pelvis	0,14	0,15	0,22	0,00	0,02
	Rodillas	0,06	0,05	0,23	0,07	0,01
Distancia con respecto a la línea de referencia (centímetros)	Frente	0,01	0,18	0,21	0,05	0,13
	Hombros	0,13	0,00	0,12	0,05	0,17
	Ombbligo	0,52	0,12	0,20	0,04	0,15
	Pelvis	0,44	0,11	0,06	0,01	0,11
	Rodillas	0,02	0,09	0,03	0,02	0,19
	Pies	0,04	0,01	0,04	0,10	0,05
Ángulos con respecto a la vertical (grados)	Pie Izquierdo	0,18	0,17	0,36	0,32	0,47
	Pie Derecho	0,56	0,10	0,09	0,06	0,07

Tabla 3.13. Tabla de errores absolutos en participantes adolescentes: Vista posterior en el plano frontal.

	Segmento Corporal	Participantes Adolescentes				
		Voluntario 1	Voluntario 2	Voluntario 3	Voluntario 4	Voluntario 5
Ángulos con respecto a la horizontal (grados)	Hombros	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20
	Pelvis	0,20	0,20	0,30	0,40	0,30
	Rodillas	0,10	0,10	0,10	0,60	0,20
Distancia con respecto a la línea de referencia (centímetros)	Hombros	0,12	0,02	0,07	0,17	0,07
	7ma Cervical	0,01	0,10	0,05	0,02	0,07
	5ta Torácica	0,09	0,13	0,10	0,10	0,07
	Pelvis	0,22	0,01	0,07	0,09	0,02
	Rodillas	0,20	0,14	0,08	0,04	0,06
	Tobillos	0,02	0,11	0,10	0,05	0,19
Ángulos con respecto a la vertical (grados)	Pie Izquierdo	0,10	0,40	0,30	0,00	0,40
	Pie Derecho	0,50	0,20	0,00	0,20	0,30

Tabla 3.14. Tabla de errores absolutos en participantes adolescentes: Vista lateral derecha en el plano sagital.

	Segmento Corporal	Participantes Adolescentes				
		Voluntario 1	Voluntario 2	Voluntario 3	Voluntario 4	Voluntario 5
Ángulos con respecto a la vertical (grados)	Cabeza-Hombro	0,60	0,10	0,10	0,30	0,40
	Hombro-Pelvis	0,00	0,10	0,30	0,10	0,10
	Caderas-Rodillas	0,10	0,10	0,20	0,10	0,00
	Rodillas-Pies	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10
Ángulo con respecto a la horizontal (grados)	Pelvis	0,40	0,10	0,30	0,50	0,10
Distancia con respecto a la línea de referencia (centímetros)	Cabeza	0,07	0,64	0,20	0,06	0,21
	Hombros	0,02	0,13	0,18	0,06	0,09
	Pelvis	0,05	0,06	0,09	0,10	0,09
	Caderas	0,03	0,15	0,01	0,02	0,13
	Rodillas	0,08	0,09	0,02	0,00	0,08

Por último, para las pruebas realizadas en niños (tablas 3.15 – 3.17) el error máximo absoluto que se obtuvo para las distancias fue de 0.54 cm, para los ángulos con respecto a la horizontal fue de 0.65 grados y para los ángulos medidos con respecto a la vertical fue de 0.76 grados. De igual manera que en los casos anteriores los errores absolutos mínimos que se encontraron fueron de cero para todos los casos.

Tabla 3.15. Tabla de errores absolutos en participantes niños: Vista anterior en el plano frontal.

		Participantes Niños				
Segmento Corporal		Voluntario 1	Voluntario 2	Voluntario 3	Voluntario 4	Voluntario 5
Ángulos con respecto a la horizontal (grados)	Hombros	0,16	0,16	0,10	0,01	0,05
	Pelvis	0,07	0,02	0,13	0,05	0,37
	Rodillas	0,43	0,08	0,12	0,02	0,65
Distancia con respecto a la línea de referencia (centímetros)	Frente	0,02	0,24	0,05	0,01	0,16
	Hombros	0,17	0,07	0,07	0,06	0,06
	Ombbligo	0,09	0,01	0,03	0,04	0,05
	Pelvis	0,20	0,02	0,09	0,16	0,04
	Rodillas	0,14	0,14	0,04	0,09	0,02
	Pies	0,16	0,11	0,18	0,06	0,03
Ángulos con respecto a la vertical (grados)	Pie Izquierdo	0,15	0,49	0,48	0,25	0,39
	Pie Derecho	0,17	0,15	0,48	0,35	0,76

Tabla 3.16. Tabla de errores absolutos en participantes niños: Vista posterior en el plano frontal.

		Participantes Niños				
Segmento Corporal		Voluntario 1	Voluntario 2	Voluntario 3	Voluntario 4	Voluntario 5
Ángulos con respecto a la horizontal (grados)	Hombros	0,10	0,30	0,20	0,10	0,40
	Pelvis	0,00	0,10	0,50	0,40	0,40
	Rodillas	0,30	0,30	0,20	0,30	0,50
Distancia con respecto a la línea de referencia (centímetros)	Hombros	0,09	0,15	0,06	0,12	0,03
	7ma Cervical	0,03	0,00	0,15	0,22	0,02
	5ta Torácica	0,15	0,10	0,25	0,19	0,03
	Pelvis	0,14	0,05	0,16	0,26	0,02
	Rodillas	0,02	0,06	0,01	0,14	0,07
	Tobillos	0,02	0,02	0,07	0,19	0,07
Ángulos con respecto a la vertical (grados)	Pie Izquierdo	0,20	0,40	0,30	0,50	0,30
	Pie Derecho	0,30	0,50	0,20	0,30	0,60

Tabla 3.17. Tabla de errores absolutos en participantes niños: Vista lateral derecha en el plano sagital.

		Participantes Niños				
Segmento Corporal		Voluntario 1	Voluntario 2	Voluntario 3	Voluntario 4	Voluntario 5
Ángulos con respecto a la vertical (grados)	Cabeza-Hombro	0,20	0,10	0,00	0,20	0,10
	Hombro-Pelvis	0,10	0,10	0,20	0,10	0,50
	Caderas-Rodillas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
	Rodillas-Pies	0,30	0,00	0,20	0,00	0,30
Ángulo con respecto a la horizontal (grados)	Pelvis	0,60	0,00	0,30	0,10	0,60
Distancia con respecto a la línea de referencia (centímetros)	Cabeza	0,29	0,08	0,39	0,20	0,09
	Hombros	0,25	0,18	0,35	0,21	0,10
	Pelvis	0,18	0,24	0,26	0,28	0,31
	Caderas	0,17	0,13	0,19	0,13	0,08
	Rodillas	0,17	0,10	0,54	0,16	0,09

Para mantener el anonimato de los participantes no se incluirán fotos sin autorización de este; y la información personal que se mostrará será la edad, género, peso, talla y ocupación del participante. En el apéndice C se muestra un reporte del sistema propuesto para cada grupo en el cual se realizó la evaluación.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El uso de la fotogrametría para realizar evaluaciones posturales es altamente usado, ya que a diferencia de otros métodos este no depende de la subjetividad del evaluador, y no expone a los sujetos a radiaciones nocivas. Es importante que en el método fotogramétrico exista un protocolo donde se establezcan los puntos anatómicos para la evaluación postural que aporten con información relevante para el fisioterapeuta, es por este motivo que la selección de los puntos anatómicos, otorgada por el centro de fisioterapia HABILITAR, fue influenciada en gran parte por el software BioPrint de BIOTONIX [28] y el software APIC V-8 [25].

El algoritmo desarrollado para el procesamiento de imágenes fotográficas en el sistema tuvo varias propuestas, debido a que se esperaba que la filtración y segmentación de los marcadores sea confiable y pueda ser reproducible en otro software. Se optó por un filtro de segmentación del color verde que ubique los marcadores en el plano mediante niveles de intensidad y que también aplique filtros de limpieza a las imágenes. De esta manera se consiguió obtener la ubicación de los marcadores en el plano de una forma confiable y reproducible en otro software, como lo fue Python, con resultados con menor margen de error.

Los principios de fotogrametría aplicados en el sistema no reconstruyen una imagen tridimensional o con niveles de profundidad, porque solo se utilizaba una foto de cada vista para el análisis. En su lugar estos principios fueron aplicados solo en el plano, como lo hacen muchos de los programas de software utilizados para realizar evaluaciones posturales como el software Kinovea [21], PAS/SAPO [23], BioPrint [28], por mencionar algunos.

La aplicación resultó bastante eficiente en su cometido, como se puede observar en las tablas 3.6 – 3.8 el error relativo porcentual máximo de todas las pruebas realizadas de los datos cuantitativos fue de 9.60% para la distancia a los hombros con respecto a la línea de referencia en las pruebas con condiciones pobres de luz, que en un principio puede parecer un error alto pero si lo comparamos con su equivalente de la tabla 3.1 nos damos cuenta que el valor real era de 2.50 cm y el valor obtenido con ese error es de 2.74 cm.

El método tradicional no se pudo comparar con el del sistema LAM, por el motivo de ser un método bastante subjetivo, variaba mucho la forma en la cual se interpretaba la postura de las personas, pues esto dependía de la experticia de la persona que realizaba la evaluación postural, y también el formato de resultados del método tradicional dista mucho de los resultados devueltos por el sistema propuesto. Al final se tuvo que comparar el sistema propuesto con mediciones realizadas en el software Kinovea. El mayor inconveniente de realizar las pruebas con este software es la exactitud y el tiempo que toma analizar cada una de las fotografías. Existe un error al momento de ubicar los centros de los marcadores, debido a que estos se colocan manualmente mediante el puntero digital y en muchas de las ocasiones fue bastante difícil marcar el punto con exactitud. El error absoluto máximo en las distancias fue de 0.64 cm, en los ángulos con respecto a la horizontal fue de 0.65 grados y para los ángulos con respecto a la vertical fue de 0.76 grados; los errores absolutos mínimos fueron de cero (Véase las tablas 3.9 – 3.17). Por otro lado, hablando del tiempo que tomo hacer cada evaluación para el plano frontal en la vista anterior fue de 15.6 ± 2.6 minutos, y en la vista posterior fue de 15.3 ± 1 minuto y para el plano sagital en la vista lateral derecha fue de 10.7 ± 1.8 minutos con el software Kinovea, mientras que con el sistema LAM las tres vistas fueron evaluadas en menos de un minuto. Mediante el uso de las funciones “tic”, “toc” de MATLAB se midieron los tiempos de procesamiento del sistema LAM, en la figura 4.1 se muestra la línea de tiempo del sistema LAM desde la captura de fotografías hasta la generación de reportes tanto individual (PDF) como para adjuntar los resultados en la BD en Excel.

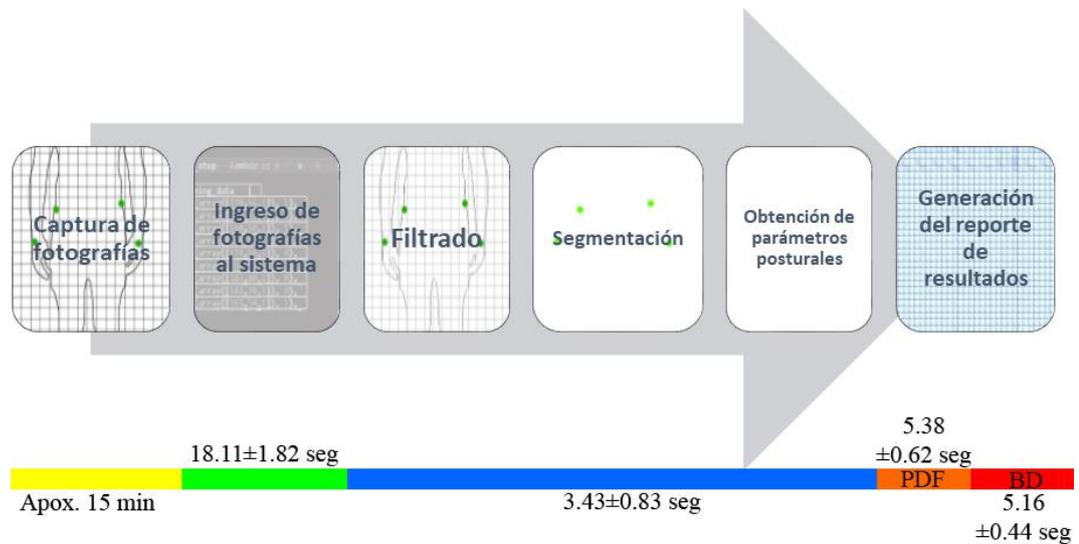


Figura 4.1. Línea de tiempo del sistema LAM.

RECOMENDACIONES

La colocación de los marcadores se debe realizar manualmente por un evaluador experimentado, debido a que hay ciertos puntos anatómicos difíciles de ubicar para una persona inexperta en el tema, como son los puntos F7, F8, P6, P5 y L5 por mencionar algunos. Para otros puntos como F3, F4, F7 y P5 se recomienda que en vez de usar marcadores adhesivos se usen bolitas plásticas de color verde, debido a que estos puntos están presentes en más de una vista (véase la Tabla 2.1).

Se recomienda que el protocolo de colocación de la cámara dependa del tipo de lente que se utilice, y que para posicionar la cámara se use niveladores, de preferencia alguno que venga integrado en la cámara, o aplicaciones que permitan ajustar el nivel de la cámara en el caso de utilizar celular. Para el correcto posicionamiento de la cámara y una toma de fotografías correcta se recomienda posicionar la cámara a una distancia prudente (alrededor de los 2.50 y 3.00 metros) y el lente a una altura donde se aprecie de manera clara todos los marcadores. Los marcadores de referencia deben ubicarse a una altura media de la persona que se va a realizar la evaluación. La resolución de la cámara deberá ser mayor a los 12 Mpx y no se debe utilizar ningún tipo de lente que genere alguna distorsión, como es el caso de los lentes de las cámaras deportivas.

De preferencia se recomienda usar un fondo blanco para la toma de fotografías, tomarlas en un lugar bien iluminado y de ser necesario tomar las fotos con flash o ajustar la cámara en modo automático. El ambiente en el cual se tomen las fotografías no tiene que tener ninguna tonalidad de verde.

Las personas que se vayan a realizar la evaluación postural mediante el sistema propuesto tienen que usar prendas ajustadas al cuerpo, en caso de ser hombres una licra negra corta, y en el caso de las mujeres un top negro y una licra negra corta, en caso de tener el cabello largo este deberá ser recogido. Los participantes no pueden tener ningún tipo de prenda u objeto con colores fluorescentes, debido a que algunos de estos pueden contener un alto contenido del canal verde, como es el caso del celeste, y pueden presentarse problemas al momento de realizar las evaluaciones.

Las personas que se sometan a esta evaluación deben mantener una postura en la cual se sientan cómodos y no forzar una postura correcta. Hacer eso provocaría una distorsión de los resultados de la evaluación.

La implementación de la aplicación realizada en MATLAB resulta bastante costosa para el uso comercial, gobierno u otra organización, por lo que se debería considerar migrar la aplicación a un software de código abierto como lo es Python ya que tiene las mismas prestaciones que el software MATLAB. En la Tabla 4.1 se muestra las alternativas en Python de las principales funciones utilizadas en el desarrollo de la aplicación. Haciendo una traducción a grandes rasgos podemos observar que Python presenta las mismas prestaciones que MATLAB.

Tabla 4.1 Alternativas de librerías para migrar la aplicación de MATLAB a Python.

Funciones	MATLAB	Python
Procesamiento de imágenes digitales	Image Processing Toolbox	Librería scikit-image
Interfaz grafica	GUIDE	Tkinter
Uso de hojas de Excel o archivos .csv	xlsheets.m	Librería pandas
Creación de reportes en PDF	Función publish	Librería reportlab

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. L. Pimentel do Rosário, «Photographic analysis of human posture: A literature review,» *ELSEVIER: Journal of Bodywork and Movement Therapies*, vol. 18, pp. 56-61, 2014.
- [2] N. Gangnet, V. Pomeroy, R. Dumas, W. Skalli y M. Vidal, «Variability of the spine and pelvis location with respect to the gravity line: a three– dimensional stereoradiographic study using a force platform,» *Surg Radiol Anat*, vol. 25, pp. 424-433, 2003.
- [3] M. McEvoy y K. Grimmer, «Reliability of upright posture measurements in primary school children,» *BMC Musculoskeletal Disorders*, vol. 6, nº 35, 2015.
- [4] M. Emami, M. Ghahramani, F. Abdinejad y H. Namazi, «Q-angle: an invaluable parameter for evaluation of anterior knee pain,» *Arch Iran Med*, vol. 10, pp. 24-26, 2007.
- [5] T. Tsuji, Y. Matsuyama, M. Goto, Y. Yimin, K. Sato, Y. Hasegawa y N. Ishiguro, «Knee – spine syndrome: correlation between sacral inclination and patellofemoral joint pain,» *ELSEVIER: Journal of Orthopaedic Science*, vol. 7, pp. 519-523, 2002.
- [6] K. O'Brien, E. Culham y B. Pickles, «Balance and skeletal alignment in a group of elderly female fallers and nonfallers,» *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 1997.
- [7] S. Lynn, M. Sinaki y K. Westerlind, «Balance characteristics of persons with osteoporosis,» *Arch Phys Med Rehabilitation*, vol. 78, pp. 273-277, 1997.
- [8] C. Yip, T. Chiu y A. Poon, «The relationship between head posture and severity and disability of patients with neck pain,» *ELSEVIER: Manual Therapy*, vol. 13, pp. 148-154, 2008.
- [9] F. Festa, S. Tecco, M. Dolci, F. Ciufolo, S. Di Meo, M. Filippi, A. Ferritto y M.

- D'Attilio, «Relationship between cervical lordosis and facial morphology in Caucasian women with a skeletal class II malocclusion: a cross-sectional study,» *Cranio*, vol. 21, pp. 121-129, 2003.
- [10] T. Akamaru, N. Kawahara, S. Tim Yoon, A. Minamide, K. Su Kim, K. Tomita y et al, «Adjacent segment motion after a simulated lumbar fusion in different sagittal alignment,» *SPINE*, vol. 28, n° 14, pp. 1560-1566, 2003.
- [11] C. Van Maanen, A. Zonnenberg, J. Elvers y R. Oostendor, «Intra/Interrater Reliability of Measurements On Body Posture Photographs,» *CRANIO*, vol. 14, n° 4, pp. 326-331, 2016.
- [12] R. Ruivo, P. Pezarat-Correia y A. Carita, «Cervical and shoulder postural assessment of adolescents between 15 and 17 years old and association with upper quadrant pain,» *BJPT: Brazilian Journal of Physical Therapy*, vol. 18, n° 4, pp. 364-371, 2014.
- [13] B. Nichele da Rosa, T. Furlanetto, M. Noll, J. Sedrez, E. Schmit y C. Candotti, «4-year Longitudinal Study of the Assessment of Body Posture, Back Pain, Postural and Life Habits of Schoolchildren,» *Motricidade*, vol. 13, n° 4, pp. 3-12, 2017.
- [14] D. Singla y Z. Veqar, «Methods of Postural Assessment Used for Sports Persons,» *The Royal Society of Medicine: Journal of Clinical and Diagnostic Research*, vol. 8, n° 4, pp. 1-4, 2014.
- [15] R. Pereira, P. Vigário, M. Mainenti, D. Silva, T. Lima y T. Lemos, «Computerized photogrammetric assessment of postural alignment in visually impaired athletes,» *ELSEVIER: Journal of Bodywork & Movement Therapies*, vol. 22, pp. 1-6, 2018.
- [16] M. Savino, D. Battini y C. Riccio, «Visual management and artificial intelligence integrated in a new fuzzy-based full body postural assessment,» *ELSEVIER: Computers & Industrial Engineering*, vol. 111, pp. 596-608, 2017.
- [17] C. Trask, S. Mathiassen, M. Rostami y H. Marina, «Observer variability in

- posture assessment from video recordings: The effect of partly visible periods,» *ELSEVIER: Applied Ergonomics*, nº 60, pp. 275-281, 2017.
- [18] M. Savino, A. Mazza y D. Battini, «New easy to use postural assessment method through visual management,» *ELSEVIER: International Journal of Industrial Ergonomics*, nº 53, pp. 48-58, 2016.
- [19] F. P. Kendall, *Kendalls Musculos Pruebas Funcionales Postura y Dolor*, Quinta Edición, Madrid, España: Marbán, 2007.
- [20] J. Nunes da Silva, L. A. Batista, J. Gurgel y F. Porto, «Shadow Moiré technique for postural assessment: qualitative assessment protocol by intra- and inter-rater evaluation,» *SPTS: The Journal of Physical Therapy Science*, vol. 29, pp. 356-360, 2017.
- [21] Kinovea, «kinovea.org,» [En línea]. Available: <https://www.kinovea.org/>. [Último acceso: 12 Diciembre 2018].
- [22] BIOTONIX, «Biotonix Posture: Posture and Back Problems,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.biotonix.com/en/biotonix-posture-and-back-problems/>. [Último acceso: 2018 Noviembre 21].
- [23] T. Silveira, J. Adami, C. Tarragô y J. Fagundes, «Photogrammetry as a tool for the postural evaluation of the spine: A systematic review,» *WJO: World Journal of Orthopedics*, vol. 7, nº 2, pp. 136-148, 2016.
- [24] D. Singla, Z. Veqar y M. Hussain, «Photogrammetric Assessment of Upper Body Posture Using Postural Angles: A Literature Review,» *ELSEVIER: Journal of Chiropractic Medicine*, nº 5, pp. 131-138, 2017.
- [25] G. R. Suárez, «ANÁLISIS POSTURAL POR IMAGENOLOGÍA COMPUTARIZADA: APIC V-8,» Colombia, 2007.
- [26] J. L. Pimentel Rosário, «A review of the utilization of baropodometry in postural assessment,» *ELSEVIER: Bodywork and Movement Therapies*, nº 18, pp. 215-219, 2014.

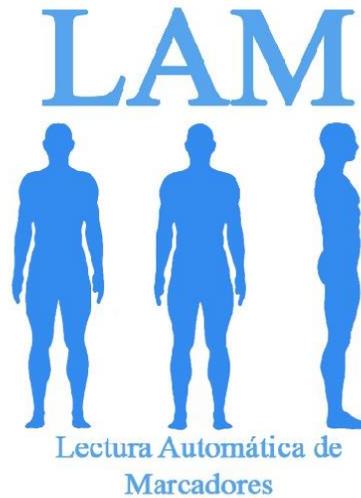
- [27] B. Bricot, Reprogramación Postural, Resistencia, Chaco (Argentina): CIES ARGENTINA, 2014.
- [28] BIOTONIX, «The Relationship Between Posture and Personality Type,» [En línea]. Available: <https://www.biotonix.com/website/wp-content/themes/nominal/PDF/007-SG-dissertation.pdf>.
- [29] MATLAB, «MathWorks,» Procesamiento, análisis y desarrollo de algoritmos de imágenes, 2018. [En línea]. Available: <https://la.mathworks.com/products/image.html>. [Último acceso: 4 Julio 2018].
- [30] F. Von Luschan, «Escala cromática de Von Luschan,» Wikipedia: La enciclopedia libre, 07 Octubre 2017. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Escala_crom%C3%A1tica_de_Von_Luschan. [Último acceso: 01 Septiembre 2018].
- [31] Instituto de Salud Pública de Chile, «Protocolo para la Evaluación de la Luminancia e Iluminancia en los lugares de Trabajo,» 2015.

APÉNDICES

APÉNDICE A: MODELO DEL REPORTE INDIVIDUAL EN PDF

Evaluación Postural

Nombre	Fecha	Edad	Género	Peso[Kg]	Talla[cm]	Ocupación
Prueba	18-Nov-2018	-	-	-	-	-



Vista Anterior

Línea escapular descendida: Derecha

Línea pélvica descendida: Derecha

Cabeza inclinada: Der. con 0,26°

Cabeza rotada: Izq.

Rodillas: Derecha Valgo (3,35°), Izquierda Valgo (3,82°)

Vista Posterior

Rotación dorsal posterior: Der.

Rotación pélvica posterior: Izq.

Pie derecho: Varo

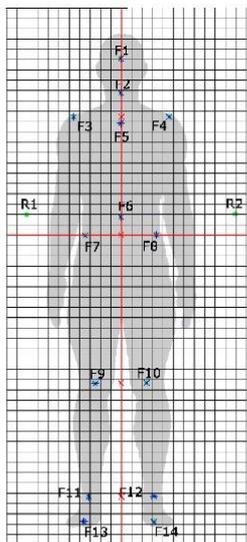
Pie izquierdo: Valgo

Vista Lateral Derecha

Postura: Ideal

Proyección Postural: Anterior

1. Vista Anterior



Grados con respecto a la horizontal:

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Descendido	Ángulo
Hombros	Der.	0,26
Pelvis	Der.	0,41
Rodilla	Der.	1,12

Distancia con respecto a la vertical

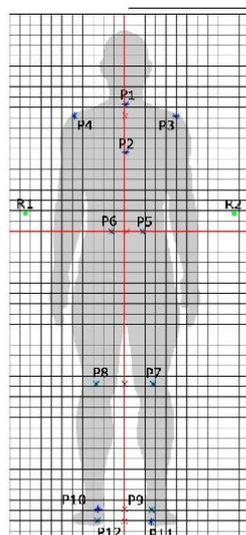
La distancia ideal debe ser 0 cm.

Referencia	Dirección	Distancia
Frente	Der.	0,37
Hombros	Izq.	0,05
Ombligo	Der.	0,3
Pelvis	Der.	0,29
Rodillas	Der.	0,23
Pies	Der.	1,05

Grados de rotación de los pies

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Pie Izquierdo	Rot.Ext.	0,03
Pie Derecho	Rot.Ext.	10

2. Vista Posterior



Grados con respecto a la horizontal

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Descendido	Ángulo
Hombros	Der.	0,3
Pelvis	Der.	0,3
Rodilla	Der.	0,1

Distancia con respecto a la vertical

La distancia ideal debe ser 0 cm.

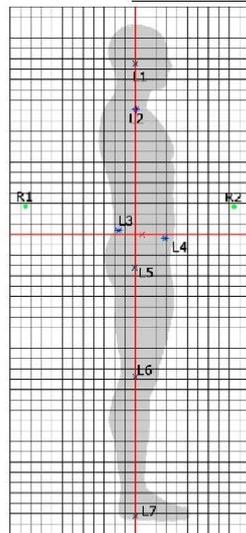
Referencia	Dirección	Distancia
Hombros	Der.	0,41
7ma Cervical	Der.	0,59
5ta Torácica	Der.	0,58
Pelvis	Der.	1,3
Rodillas	Der.	0,2
Tobillos	Der.	0,18

Grados de rotación de los pies

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Pie Izquierdo	Valgo	1,5
Pie Derecho	Varo	2

3. Vista Lateral Derecha



Grados con respecto a la vertical

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Cabeza-Hombro	Pos.	0,4
Hombro-Pelvis	Pos.	2,8
Caderas-Rodillas	Pos.	0,1
Rodillas-Pies	Alin.	0

Grados con respecto a la horizontal

El ángulo normal entre los marcadores pélvicos anterior y posterior de 10° con una tolerancia de ±5°.

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Pelvis	Normal	9,7

Distancia con respecto a la vertical

La distancia ideal debe ser 0 cm.

Referencia	Dirección	Distancia
Cabeza	Ant.	0,1
Hombros	Ant.	0,2
Pelvis	Ant.	3,2
Caderas	Pos.	0,1
Rodillas	Pos.	0,1

APÉNDICE B: DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

DECLARACIÓN DE DERECHOS DE LOS SUJETOS EN INVESTIGACIÓN

Los derechos que se detallan a continuación, son los de cada individuo a quien se le solicita que participe en el estudio de investigación.

Usted tiene derecho a:

1. Que se le informe acerca de la naturaleza y los propósitos del estudio.
2. Que se le informe acerca de los procedimientos a seguir durante el estudio de investigación y si algunos dispositivos o procedimientos son diferentes de aquellos que serían utilizados en prácticas médicas estándar.
3. Recibir una descripción sobre cualquier tipo de efectos colaterales, incomodidades, o riesgos que usted podría razonablemente esperar que se presenten durante el curso del estudio.
4. Que se le informe acerca de cualquier beneficio, si correspondiera alguno, que usted pueda razonablemente esperar como resultado de su participación en el estudio.
5. Que se le dé una oportunidad de realizar cualquier pregunta concerniente al estudio de investigación, tanto antes de dar su acuerdo para participar en el mismo, como en cualquier momento durante el curso de dicho estudio.
6. Recibir una copia del protocolo de consentimiento escrito, firmado y fechado y una copia de esta declaratoria de derechos.
7. Que se le dé la oportunidad de decidir libremente, dar o no su consentimiento para participar en el estudio de investigación sin ninguna fuerza, coerción, o influencia indebida.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

NOMBRE DEL PARTICIPANTE: _____ FECHA: _____

- Justificación
- Objetivo
- Procedimientos
- Local y duración de las pruebas
- Riesgos
- Beneficios
- Acompañamiento y asistencia
- Garantía de retiro de la investigación
- Garantía de privacidad en los datos
- Esclarecimiento de dudas

Se me ha solicitado que participe como voluntario en el proyecto de investigación intitulado **“Obtención Automática De Parámetros Posturales Mediante El Procesamiento Digital De Imágenes Fotográficas”** bajo la responsabilidad del **Ing. Freddy Leonardo Bueno Palomeque**.

JUSTIFICACIÓN

Una de las mejores formas de detectar una postura inadecuada en las personas, es medir o estimar manualmente las alineaciones de los segmentos corporales. Esta es la manera convencional que usa un fisioterapeuta para evaluar la postura de una persona, requiriendo una gran cantidad de tiempo para realizarlo y muchas de las veces el resultado de la evaluación postural depende de la experticia del fisioterapeuta.

Existen softwares que han reemplazado los métodos convencionales con la finalidad de ofrecer un mejor servicio, pero estos no se ajustan a las necesidades de nuestro entorno, debido a que requieren de conocimientos especializados para aplicarlos y en la mayoría de estos softwares los resultados se tienen que obtener manualmente. Por estos motivos, en conjunto con el centro HABILITAR Terapia Física y Neurorehabilitación y el Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB), proponen desarrollar una aplicación mediante software que permita adquirir las relaciones de los segmentos corporales más significativos, mediante procesamiento de imágenes fotográficas, ofreciendo una herramienta a los médicos especialistas para realizar la evaluación y ofrecer resultados cuantitativos.

OBJETIVO

Obtener parámetros posturales mediante el procesamiento digital de imágenes fotográficas a través de un software para automatizar el registro, cuantificación y evaluación de estos parámetros en el área de la fisioterapia.

PROCEDIMIENTOS

Para realizar la evaluación postural mediante la aplicación desarrollada, es necesario que el participante tenga una vestimenta adecuada, en caso de ser mujer un top de color negro y una licra del mismo color, y en el caso de ser varón una licra negra, estas vestimentas deberán estar ajustadas al cuerpo y se colocarán marcadores adhesivos de color verde sobre la superficie corporal del participante en los puntos anatómicos especificados a continuación:

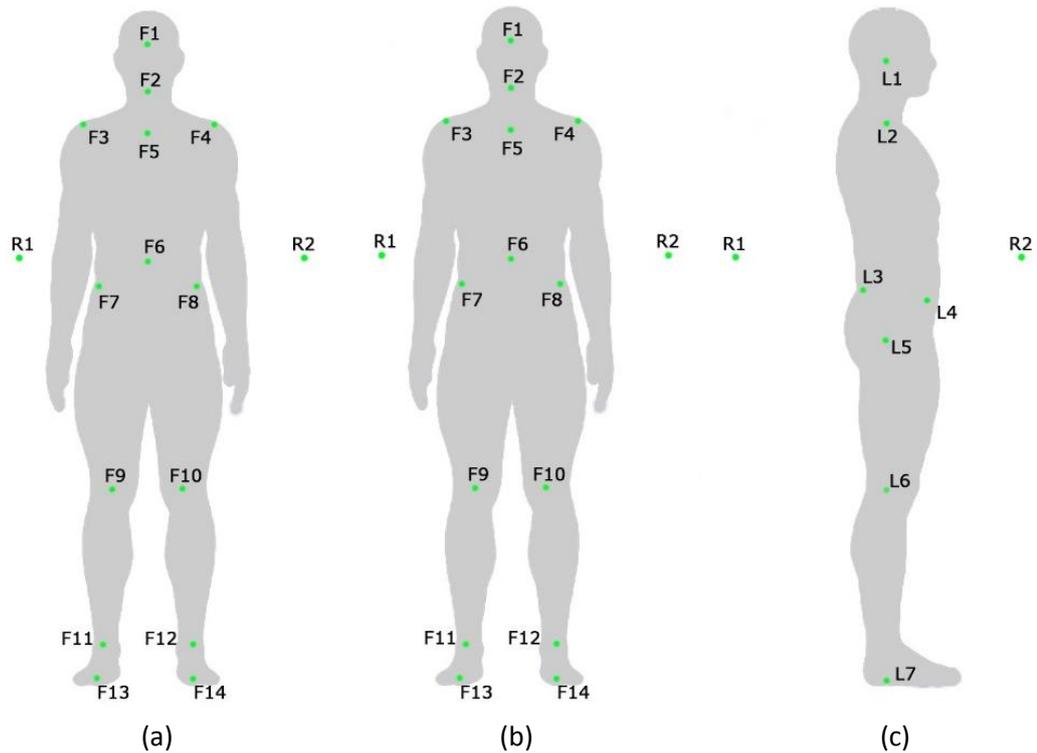


Figura 1. Puntos anatómicos: (a) para la vista anterior del plano frontal, (b) para la vista posterior del plano frontal, (c) para la vista lateral derecha del plano sagital.

PUNTOS ANATÓMICOS DE REFERENCIA					
Vista anterior del plano frontal		Vista posterior del plano frontal		Vista lateral derecha	
Pnt.	Ubicación	Pnt.	Ubicación	Pnt.	Ubicación
F1	Entrecejo	P1	Apófisis espinosa de la 7ma vértebra cervical	L1	Oído
F2	Mentón	P2	Apófisis espinosa de la 5ta vértebra dorsal	L2	Articulación acromioclavicular
F3	Articulación acromioclavicular derecha	P3	Articulación acromioclavicular derecha	L3	Espina ilíaca anterosuperior
F4	Articulación acromioclavicular izquierda	P4	Articulación acromioclavicular izquierda	L4	Espina ilíaca posterosuperior
F5	Horquilla del manubrio esternal	P5	Espina ilíaca posterosuperior derecha	L5	Trocánter mayor del fémur
F6	Omblogo	P6	Espina ilíaca posterosuperior izquierda	L6	Tuberosidad tibial
F7	Espina ilíaca anterosuperior derecha	P7	Hueso poplíteo derecho	L7	Articulación transversal del tarso
F8	Espina ilíaca anterosuperior izquierda	P8	Hueso poplíteo izquierdo		
F9	Rótula derecha	P9	Tendón de Aquiles derecho		
F10	Rótula izquierda	P10	Tendón de Aquiles izquierdo		
F11	Tobillo derecho	P11	Calcáneo derecho		
F12	Tobillo izquierdo	P12	Calcáneo izquierdo		
F13	Dedo gordo derecho				
F14	Dedo gordo izquierdo				

Tabla 1. Puntos anatómicos de referencia.

Los participantes de la prueba deberán proporcionar la siguiente información: edad, género, peso, talla y ocupación. Durante la prueba se le tomará al participante tres fotografías, una en el plano frontal en la vista anterior, otra en la vista posterior y otra en el plano sagital en la vista lateral derecha, por lo que se le pedirá a este que cambie de posición girando sobre su propio eje y que mantenga su postura normal durante la toma de la fotografía. Cuando el participante se encuentra en la posición solicitada por el investigador, se procederá a tomar la fotografía.

DURACIÓN Y LOCAL DE LAS PRUEBAS

La prueba tendrá una duración de 20 minutos en los cuales consta la colocación de los marcadores y la toma de las fotografías. Las pruebas se realizarán en el centro HABILITAR Terapia Física y Neurorehabilitación de la ciudad de Cuenca ubicado en Fernando de Aragón 2-71 y Primero de Mayo.

RIESGOS

Los participantes podrían sentir cansancio durante el proceso, por tal motivo si el participante requiere un tiempo de descanso este será concedido.

BENEFICIOS

Esperamos que los resultados de las pruebas aporten con información del estado postural de los participantes y también se espera que el equipo del centro de rehabilitación, de estar a su alcance, cuente con una herramienta para realizar evaluaciones posturales que ofrezcan obtener parámetros posturales de forma automática y cuantificable.

ACOMPañAMIENTO Y ASISTENCIA

Durante todo el proceso de investigación usted podrá comunicarse con los investigadores para informar cualquier problema o dificultad presente asociado a las pruebas realizadas. Los investigadores aseguran la asistencia inmediata para cualquier consulta u observación relacionadas a la investigación.

GARANTÍA DE RETIRO DE LA INVESTIGACIÓN

Usted no está obligado a participar de la investigación, pudiendo retirar su participación en cualquier momento, sin que haya penalidades ni perjuicios.

GARANTÍA DE PRIVACIDAD EN LOS DATOS

La identidad, imágenes, información personal y postural de usted serán preservadas durante todas las fases de la investigación, inclusive si fueran publicadas en eventos o revistas científicas. Cabe recalcar que se mantendrá el anonimato del participante difuminando su rostro en las fotografías; y ocultando su información personal si es requerido por él participante.

ESCLARECIMIENTO DE DUDAS

En caso de presentarse dudas o problemas asociadas a la investigación, usted puede ponerse en contacto con el investigador **Freddy Leonardo Bueno Palomeque** al teléfono (593) 995354150 o en el Laboratorio del Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica GIIB-UPS localizado dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana en la dirección Calle Vieja 12-30 y Elia Liut, Cuenca, Ecuador.

Declaro que fui verbalmente informado sobre el presente documento, entendiendo todos los términos expuestos; además, he tenido la posibilidad de hacer preguntas relacionadas con el contenido del estudio. También declaro haber recibido una copia de este consentimiento informado firmado por el investigador responsable

Cuenca, ____ de _____ del _____

Firma del participante

En calidad de investigador responsable de la investigación “**Obtención Automática De Parámetros Posturales Mediante El Procesamiento Digital De Imágenes Fotográficas**”, procesamiento de la información y resultados concernientes a esta autorización, manifiesto que seré responsable por la utilización de los datos, procesos y resultados de esta, eximiendo de cualquier responsabilidad por su uso y destino a la Universidad Politécnica Salesiana y al resto de sus miembros.

Firma del Investigador

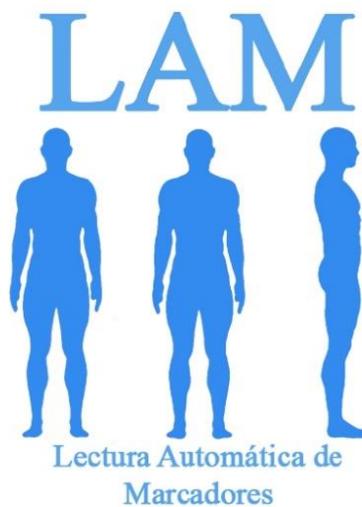
Nota: En caso de que el participante sea menor de edad se requerirán tanto la firma del participante como de un tutor encargado.

APÉNDICE C: REPORTE DE CADA GRUPO ETARIO

Adulto:

Evaluación Postural

Nombre	Fecha	Edad	Género	Peso[Kg]	Talla[cm]	Ocupación
Voluntario 1	28-Dec-2018	65	F	45	140	Jubilada



Vista Anterior

Línea escapular descendida: Izquierda

Línea pélvica descendida: Derecha

Cabeza inclinada: Izq. con 2,64°

Cabeza rotada: Der.

Rodillas: Derecha Valgo (2,59°), Izquierda Valgo (2,05°)

Vista Posterior

Rotación dorsal posterior: Izq.

Rotación pélvica posterior: Izq.

Pie derecho: Valgo

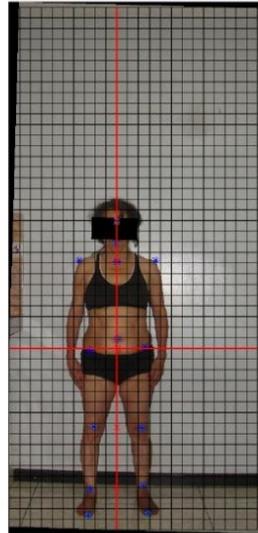
Pie izquierdo: Valgo

Vista Lateral Derecha

Postura: Lordótica o tipo militar

Proyección Postural: Posterior

1. Vista Anterior



Grados con respecto a la horizontal:

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Descendido	Ángulo
Hombros	Izq.	0,16
Pelvis	Der.	3,14
Rodilla	Izq.	1,49

Distancia con respecto a la vertical

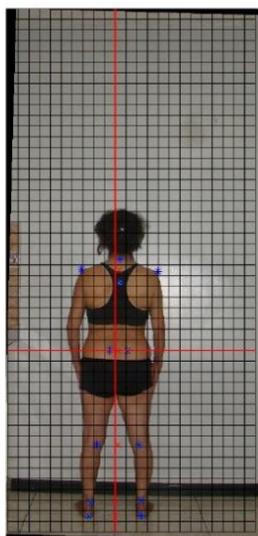
La distancia ideal debe ser 0 cm.

Referencia	Dirección	Distancia
Frente	Izq.	0,04
Hombros	Izq.	0,04
Ombligo	Izq.	0,52
Pelvis	Izq.	0,42
Rodillas	Izq.	0,18
Pies	Izq.	0,57

Grados de rotación de los pies

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Pie Izquierdo	Rot.Ext.	9,57
Pie Derecho	Rot.Ext.	5,06

2. Vista Posterior



Grados con respecto a la horizontal

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Descendido	Ángulo
Hombros	Der.	1,5
Pelvis	Der.	2,8
Rodilla	Izq.	0,1

Distancia con respecto a la vertical

La distancia ideal debe ser 0 cm.

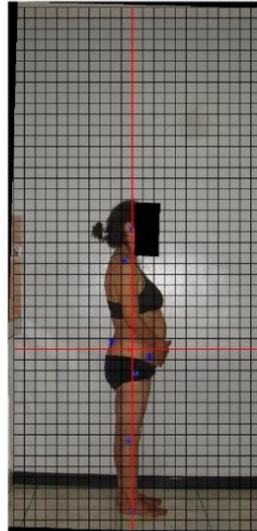
Referencia	Dirección	Distancia
Hombros	Der.	2,01
7ma Cervical	Der.	2,34
5ta Torácica	Der.	2,35
Pelvis	Der.	1,37
Rodillas	Der.	1,3
Tobillos	Der.	0,09

Grados de rotación de los pies

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Pie Izquierdo	Valgo	6,5
Pie Derecho	Valgo	4,7

3. Vista Lateral Derecha



Grados con respecto a la vertical

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Cabeza-Hombro	Ant.	12,8
Hombro-Pelvis	Pos.	3,5
Caderas-Rodillas	Ant.	5,8
Rodillas-Pies	Pos.	2,9

Grados con respecto a la horizontal

El ángulo normal entre los marcadores pélvicos anterior y posterior de 10° con una tolerancia de $\pm 5^\circ$.

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Pelvis	Ant.	21,3

Distancia con respecto a la vertical

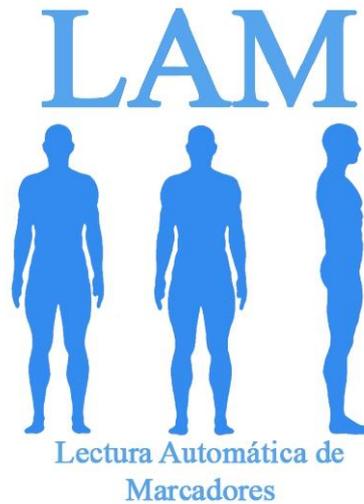
La distancia ideal debe ser 0 cm.

Referencia	Dirección	Distancia
Cabeza	Pos.	0,2
Hombros	Pos.	3,5
Pelvis	Pos.	0,9
Caderas	Ant.	1,6
Rodillas	Pos.	1,7

Adolescente:

Evaluación Postural

Nombre	Fecha	Edad	Género	Peso[Kg]	Talla[cm]	Ocupación
Voluntario 1	15-Dec-2018	15	F	60	166	Estudiante



Vista Anterior

Línea escapular descendida: Izquierda

Línea pélvica descendida: Izquierda

Cabeza inclinada: Der. con 4,35°

Cabeza rotada: Der.

Rodillas: Derecha Valgo (4,74°), Izquierda Varo (0,34°)

Vista Posterior

Rotación dorsal posterior: Izq.

Rotación pélvica posterior: Izq.

Pie derecho: Valgo

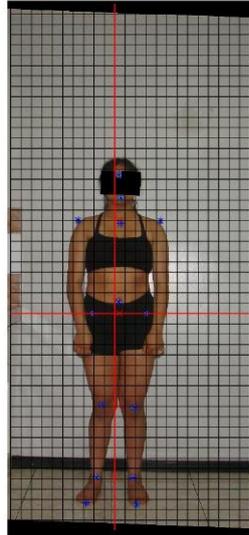
Pie izquierdo: Valgo

Vista Lateral Derecha

Postura: Cabeza hacia adelante

Proyección Postural: Anterior

1. Vista Anterior



Grados con respecto a la horizontal:

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Descendido	Ángulo
Hombros	Izq.	0,42
Pelvis	Izq.	0,06
Rodilla	Izq.	4,04

Distancia con respecto a la vertical

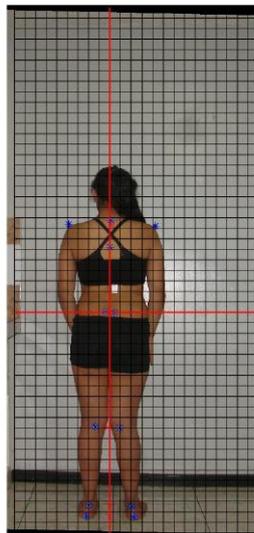
La distancia ideal debe ser 0 cm.

Referencia	Dirección	Distancia
Frente	Izq.	1,93
Hombros	Izq.	2,14
Omblogo	Izq.	1,81
Pelvis	Izq.	2,3
Rodillas	Izq.	1,55
Pies	Der.	1,71

Grados de rotación de los pies

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Pie Izquierdo	Rot.Ext.	6,82
Pie Derecho	Rot.Ext.	21,71

2. Vista Posterior



Grados con respecto a la horizontal

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Descendido	Angulo
Hombros	Der.	0,9
Pelvis	Der.	4,3
Rodilla	Der.	2,3

Distancia con respecto a la vertical

La distancia ideal debe ser 0 cm.

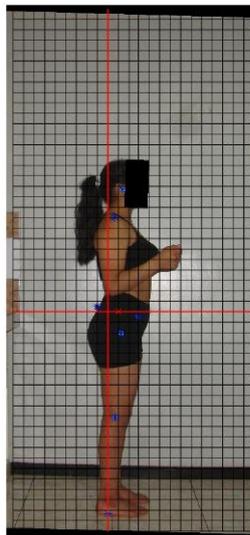
Referencia	Dirección	Distancia
Hombros	Der.	0,98
7ma Cervical	Der.	0,49
5ta Torácica	Der.	0,2
Pelvis	Izq.	0,02
Rodillas	Izq.	1,06
Tobillos	Der.	0,08

Grados de rotación de los pies

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Dirección	Angulo
Pie Izquierdo	Valgo	12,2
Pie Derecho	Valgo	11,8

3. Vista Lateral Derecha



Grados con respecto a la vertical

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Cabeza-Hombro	Ant.	15,2
Hombro-Pelvis	Pos.	2,4
Caderas-Rodillas	Ant.	4
Rodillas-Pies	Ant.	4,3

Grados con respecto a la horizontal

El ángulo normal entre los marcadores pélvicos anterior y posterior de 10° con una tolerancia de ±5°.

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Pelvis	Normal	13,9

Distancia con respecto a la vertical

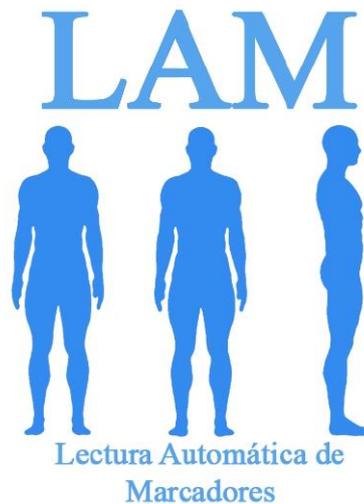
La distancia ideal debe ser 0 cm.

Referencia	Dirección	Distancia
Cabeza	Ant.	6,7
Hombros	Ant.	3
Pelvis	Ant.	4,9
Caderas	Ant.	6,2
Rodillas	Ant.	3,4

Niño:

Evaluación Postural

Nombre	Fecha	Edad	Género	Peso[Kg]	Talla[cm]	Ocupación
Voluntario 1	31-Dec-2018	11	M	42	142	Estudiante



Vista Anterior

Línea escapular descendida: Derecha

Línea pélvica descendida: Izquierda

Cabeza inclinada: Izq. con 1,29°

Cabeza rotada: Der.

Rodillas: Derecha Valgo (3,32°), Izquierda Valgo (4,61°)

Vista Posterior

Rotación dorsal posterior: Izq.

Rotación pélvica posterior: Izq.

Pie derecho: Varo

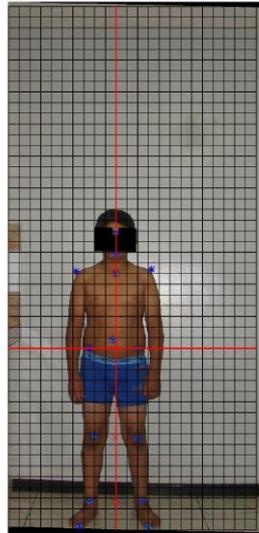
Pie izquierdo: Valgo

Vista Lateral Derecha

Postura: Pelvis en posición normal

Proyección Postural: Anterior

1. Vista Anterior



Grados con respecto a la horizontal:

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Descendido	Ángulo
Hombros	Der.	1,56
Pelvis	Izq.	0,93
Rodilla	Izq.	2,97

Distancia con respecto a la vertical

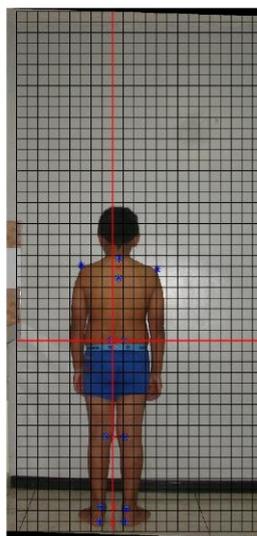
La distancia ideal debe ser 0 cm.

Referencia	Dirección	Distancia
Frente	Der.	0,14
Hombros	Der.	1,04
Ombligo	Der.	1,48
Pelvis	Der.	1,24
Rodillas	Der.	0,29
Pies	Der.	1,11

Grados de rotación de los pies

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Pie Izquierdo	Rot.Ext.	12,55
Pie Derecho	Rot.Ext.	22,93

2. Vista Posterior



Grados con respecto a la horizontal

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Descendido	Ángulo
Hombros	Der.	3
Pelvis	Der.	1,6
Rodilla	Der.	2,8

Distancia con respecto a la vertical

La distancia ideal debe ser 0 cm.

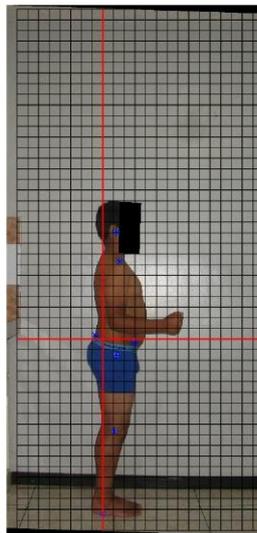
Referencia	Dirección	Distancia
Hombros	Der.	2,86
7ma Cervical	Der.	3,05
5ta Torácica	Der.	2,81
Pelvis	Der.	2,23
Rodillas	Der.	1,27
Tobillos	Der.	0,55

Grados de rotación de los pies

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Pie Izquierdo	Valgo	3,7
Pie Derecho	Varo	5,8

3. Vista Lateral Derecha



Grados con respecto a la vertical

El ángulo ideal debe ser 0°.

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Cabeza-Hombro	Pos.	6,3
Hombro-Pelvis	Ant.	3,1
Caderas-Rodillas	Ant.	1,4
Rodillas-Pies	Ant.	8

Grados con respecto a la horizontal

El ángulo normal entre los marcadores pélvicos anterior y posterior de 10° con una tolerancia de $\pm 5^\circ$.

Segmento Corporal	Dirección	Ángulo
Pelvis	Normal	10,3

Distancia con respecto a la vertical

La distancia ideal debe ser 0 cm.

Referencia	Dirección	Distancia
Cabeza	Ant.	6,2
Hombros	Ant.	7,7
Pelvis	Ant.	5,7
Caderas	Ant.	6,3
Rodillas	Ant.	5,5