



Universidad **Mariana**

Sistema de visión enfocado en la ayuda a fisioterapeutas para el diagnóstico en la evaluación postural estática en dos planos

Edison Alexander Salazar Melo

Jhonny Fernando Espitia Luna

Universidad Mariana
Facultad De Ingeniería
Programa De Ingeniería Mecatrónica
San Juan de Pasto
2023

Sistema de visión enfocado en la ayuda a fisioterapeutas para el diagnóstico en la evaluación postural estática en dos planos

Edison Alexander Salazar Melo

Jhonny Fernando Espitia Luna

Trabajo de grado para optar al título de: Ingeniero Mecatrónico

Mg. Tito Manuel Piamba Mamian

Asesor

Esp. Nathalia Basante Torres

Coasesora

Universidad Mariana
Facultad De Ingeniería
Programa De Ingeniería Mecatrónica
San Juan de Pasto
2023

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007
Universidad Mariana

Agradecimientos

Al Mg. Tito Manuel Piamba Mamian por su contribución, asesoría y enseñanza constante durante el desarrollo de nuestro trabajo de grado como director de tesis.

A la Esp. Nathalia Basante Torres por su contribución y asesoría constante durante el desarrollo de nuestro trabajo de grado como codirectora de tesis para lograr la verificación y validación del sistema creado.

A la Universidad Mariana por brindarnos los conocimientos necesarios para emprender este nuevo reto. Además de proporcionar el uso de su infraestructura y el apoyo de la planta docente que contribuyo en la estructuración y validación de esta tesis.

Dedicatoria

Ha sido un proceso lleno de esfuerzos y sacrificios, cerrada esta etapa nos queda agradecer a Dios por brindarnos sabiduría para cumplir con los objetivos planteados en este proyecto y fuerza para lograr alcanzar esta meta.

A nuestros padres por su apoyo incondicional, amor infinito, valores inquebrantables y sacrificio, han sido la fuente de nuestra inspiración. Su dedicación a nuestra educación es el cimiento de nuestros logros.

A nuestras familias por estar siempre a nuestro lado, sus consejos y compañía han ayudado a superar las adversidades que se presentaron a lo largo de este camino.

Este trabajo de grado es el resultado de la dedicación, esfuerzo y aprendizaje constante. A todos ustedes, Gracias.

Edison y Jhonny

Contenido

Introducción	12
1. Resumen del proyecto	14
1.1. Descripción del problema	14
1.1.1. Formulación del problema	16
1.2. Justificación.....	16
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. Fundamentos Teóricos	17
1.4.1. Fundamentos anatómicos y físicos	18
1.4.2. Inteligencia artificial	28
1.4.3. Procesamiento de imágenes	29
1.4.4. Herramientas	33
1.4.5. Estado del arte.....	35
1.5. Metodología	41
1.5.1. Enfoque de investigación.....	41
1.5.2. Tipo de investigación.....	41
1.5.3. Área temática	41
1.5.4. Hipótesis de la investigación	42
1.5.5. Descripción experimental	42
1.5.6. Metodología para el objetivo 1	43
1.5.7. Metodología para el objetivo 2	44
1.5.8. Metodología para el objetivo 3	48

2. Resultados y Discusión	49
2.1. Resultados para el objetivo 1	49
2.1.1. Parámetros anatómicos	49
2.1.2. Planos y marcadores	49
2.1.3. Requerimientos del fisioterapeuta	51
2.2. Resultados para el objetivo 2	53
2.2.1. Escenario.....	53
2.2.2. Software	55
2.2.2.2.1. Detección un solo marcador.	58
2.2.2.2.2. Detección de dos marcadores.	59
2.3. Resultados para el objetivo 3	68
2.3.1. Evaluación en personas.....	68
3. Conclusiones	73
4. Recomendaciones	74
Referencias bibliográficas	75
Anexos.....	79

Índice de Tablas

Tabla 1. Marcadores seleccionados para evaluación postural	51
Tabla 2. Flexión e inclinación de la columna	52
Tabla 3. Amplitudes inflexión de la columna.....	52
Tabla 4. Distancias en el eje x y en el eje y para la validación del programa	67
Tabla 5. Ángulos en las diferentes posiciones para la validación del programa	67
Tabla 6. Error porcentual en las diferentes posiciones para la validación del programa	68
Tabla 7. Relación de pacientes evaluados en la ciudad de Pasto	69
Tabla 8. Distancias en el eje x y en el eje y para la evaluación postural del paciente No. 2....	70
Tabla 9. Distancias en el eje x y en el eje y para la evaluación postural del paciente No. 3....	71
Tabla 10. Distancias en el eje x y en el eje y para la evaluación postural del paciente No. 5..	72

Índice de Figuras

Figura 1. Taxonomía de fundamentos teóricos	18
Figura 2. Planos y direcciones funcionales mostradas en el cuerpo humano.....	20
Figura 3. Curvas naturales que se encuentran en la columna vertebral.....	21
Figura 4. Postura humana perfecta con plomada y cuadrícula a y b respectivamente	22
Figura 5. Tipos de alineamiento en la postura humana en bipedestación	23
Figura 6. Postura cifolordótica encontrada en una mujer.....	25
Figura 7. Postura lordótica encontrada en un hombre.....	26
Figura 8. Postura de espalda plana encontrada en una mujer.....	26
Figura 9. Espalda arqueada encontrada en un hombre	27
Figura 10. Tabla de postura utilizada en la evaluación postural	33
Figura 11. Cámara Fotográfica.....	34
Figura 12. Cinta métrica comúnmente utilizada en la evaluación postural.....	34
Figura 13. Cuadrícula ubicada en la parte posterior del individuo para el examen	35
Figura 14. Imagen tendencia de investigación tomada de la base de datos “Scopus”	36
Figura 15. Metodología general por objetivos específicos.....	42
Figura 16. Diagrama de flujo para la obtención de datos.....	45
Figura 17. Posición de los marcadores en la cuadrícula plano frontal	47
Figura 18. Planos y marcadores de estudio	51
Figura 19. Esquema de instalación del sistema.....	53
Figura 20. Esquema caja de calibración	54
Figura 21. Alineación de láser y cuadrícula	55
Figura 22. Fragmento de programación (contornos y centro de gravedad)	56
Figura 23. Conversión de imágenes	57
Figura 24. Contornos encontrados mediante la programación	57
Figura 25. Detección de un solo marcador.....	58
Figura 26. Detección de dos marcadores, centro de rectángulos y su área	58
Figura 27. Detección de dos marcadores, área, gráfica de línea y ubicación de puntos (x,y)..	59

Figura 28. Detección de seis marcadores	59
Figura 29. Detección marcadores en mujer 26 años (izquierda.), hombre 28 años (derecha) .	60
Figura 30. Pantalla de espera.....	61
Figura 31. Pantalla de inicio software	62
Figura 32. Pantalla Principal	62
Figura 33. Pantalla botón “selecciona plano”	63
Figura 34. Pantalla botón “plano 1 frontal”	63
Figura 35. Pantalla botón plano lateral izquierdo o derecho	64
Figura 36. Pantalla botón “resultados”	65
Figura 37. Pantalla de resultados extraídos del software a Excel.....	66
Figura 38. Ángulos para la evaluación postural del paciente No. 2	69
Figura 39. Ángulos para la evaluación postural del paciente No. 3.	70
Figura 40. Ángulos para la evaluación postural del paciente No. 5.	71

Índice de Anexos

Anexo A. Puntos de referencia para ubicar marcadores	79
Anexo B. Validación del software	80
Anexo C. Lista de asistencia de los pacientes.....	81
Anexo D. Resultados de las evaluaciones posturales estáticas	82
Anexo E. Certificación del fisioterapeuta	84
Anexo F. Código completo	85
Anexo G. Código caja de calibración	86

Introducción

La tecnología moderna, ha avanzado en cuestión de detección del cuerpo humano mediante sensores y dispositivos portátiles, los cuales han aumentado exponencialmente gracias al crecimiento e innovación tecnológica de los últimos años, así como también, poseen amplio espectro de aplicaciones y usos en las diferentes disciplinas del conocimiento como es la mecatrónica y la medicina (Naranjo, Reina, & Roa, 2020).

En fisioterapia una de las aplicaciones de mayor trascendencia es el reconocimiento de posturas que se puede aplicar en muchos aspectos, uno de ellos es la evaluación de posibles enfermedades del sistema músculo esquelético, así como también, su aplicación en la mejoría de nuestras actividades como deporte y trabajo. Estas técnicas de análisis poseen gran versatilidad y son accesibles a bajos costos siendo una alternativa en el soporte diagnóstico de muchos profesionales. Diversas investigaciones han demostrado que gran parte de la población mundial, no presenta una postura bípeda ideal, siendo más del 90% de los individuos los que presentan una alteración postural (Padilla & Ramiro, 2018).

Existen diferentes métodos de medición de posturas y cargas que se encuentran enfocados al cuerpo humano como el método RULA (Método de evaluación rápida de miembros superiores), el REBA (*The Rapid Entire Body Assessment*) y OWAS (*The Rapid Ovako Working Analysis System*) (Abarca, 2019). Sin embargo, para este trabajo se seleccionó la evaluación postural estática ya que esta evaluación generalmente es muy utilizada en la medicina, porque las patologías posturales son muy comunes entre los trabajadores expuestos largas jornadas de trabajo, personas con defectos congénitos, personas que se accidentan, entre otros (Secretaría de Salud Laboral de CCOO de Madrid, 2016).

Por lo anterior, el presente trabajo se enfoca en desarrollar un sistema de visión artificial, el cual brinda soporte en el diagnóstico de la evaluación postural estática en personas de la ciudad de Pasto. El proceso comprende tres etapas, en primer lugar se plantea el estudio de la postura humana

y sus diferentes tipos de variables, para determinar la relación existente entre postura y enfermedades músculo esqueléticas (Espasa, 2013). Además, se cuenta con la ayuda de profesionales quienes aportan información sobre los requerimientos para evaluar la postura humana. En segundo lugar, se clasifica los parámetros que permiten saber qué rangos son aceptables y son insumo para el diseño del sistema de visión (Bricot, 2008). Finalmente, se pone a prueba el sistema y se realiza la experimentación en personas para obtener resultados que ayudan en el diagnóstico del profesional.

1. Resumen del proyecto

Este proyecto trata acerca del diseño de un sistema de visión que apoye a los fisioterapeutas en el diagnóstico de la evaluación postural estática, este proyecto se desarrolla en diferentes etapas, iniciando con la investigación sobre los conceptos de fisioterapia como postura correcta, columna vertebral, causas y patologías, entre otras. También se hace un rastreo de datos sobre los temas de tendencia en visión artificial y los artículos más relevantes por su importancia y relación con el tema de estudio. Una vez recopilada toda la información se procedió al desarrollo del software con Python, usando la librería Open CV, la cual es destacable en el desarrollo de proyectos con procesamiento digital de imágenes. En la creación del sistema de visión se tuvo en cuenta aspectos como las herramientas y disposición en el escenario, la interfaz que facilita la interacción del usuario con el programa, el desarrollo del software que incluye dos etapas: en la primera etapa se hace la recepción, reconocimiento y procesamiento de imágenes y en la segunda etapa se realizan los cálculos necesarios para la obtención y almacenamiento de los datos. Finalmente, se verifica el funcionamiento del sistema de visión en personas de la ciudad de Pasto, de diferentes ocupaciones, edades, género, estatura y contextura, esto permite que se evalúen diversas características anatómicas y su influencia en los resultados.

1.1. Descripción del problema

La postura es el conjunto que constituye todas las articulaciones del cuerpo humano, la cual debe tener ciertos estándares para considerarse una postura ideal y no presentar ningún tipo de afectación tanto en la parte ósea como muscular.

Diversas investigaciones han demostrado que gran parte de la población mundial, no presenta una postura bípeda ideal, siendo más del 90% de los individuos los que presentan una alteración postural (Padilla & Ramiro, 2018). Así mismo, estudios epidemiológicos han reportado un alto índice de alteraciones posturales en la población infantil, mientras que los estudios en población adulta son escasos. Por ello, se debe resaltar que los problemas de mala postura pueden tener

consecuencias negativas, incluyendo dolor y discapacidad funcional en la calidad de vida tanto en la niñez como en la adultez (Heredia, Huapaya, & Gomero, 2018).

Una de las terapias que más se utiliza, por su éxito en el tratamiento de una mala postura, es la reeducación postural global (RPG). Se trata de una metodología fisioterapéutica basada en la propuesta de Mézières en 1947 y de Philippe Souchart en la década de los 80's citados por (Estévez, Martínez, Rodríguez, & Portillo, 2017), la cual busca corregir desórdenes músculo-esqueléticos por medio de ejercicios suaves y evaluaciones posturales constantes. La RPG se fundamenta en un análisis minucioso de la anatomía del cuerpo humano observando inclinaciones corporales hacia algún lado, nivel de hombros, escápulas, espinas iliacas, glúteos, rodillas, así como la simetría de la masa muscular y alineación de la columna vertebral y tobillos (Garzón & Diego, 2014).

Por otro lado, La Secretaría de Salud Laboral de las Comisiones Obreras de Madrid (CCOO) en el año 2016 publicó una revisión sobre los métodos de evaluación ergonómica como la evaluación global, el análisis de movimientos repetitivos, análisis de carga postural o posturas forzadas y la manipulación manual de cargas, estos métodos permiten evaluar de manera global los factores laborales que afectan la salud de los trabajadores, sin embargo, estos métodos proporcionan resultados generales que en la mayoría de los casos requieren de un análisis más profundo con métodos más específicos o sujetos a la percepción del evaluador incrementando así errores en el diagnóstico, debido al cansancio y fatiga en el profesional por un proceso no estandarizado y que puede tomar largas jornadas de trabajo. Por lo anterior, se plantea desarrollar un sistema de visión aplicado para la evaluación postural en el diagnóstico de fisioterapeutas en la ciudad de Pasto, siendo una herramienta de soporte para el profesional en la toma de decisiones de manera ágil y certera.

1.1.1. Formulación del problema

Actualmente, el análisis de parámetros para la evaluación postural requiere del concepto de un fisioterapeuta capacitado y entrenado para proporcionar un diagnóstico, sin embargo, como se mencionó anteriormente es un proceso subjetivo que puede generar heterogeneidad en los parámetros. Por esta razón es importante contar con un sistema que apoye el diagnóstico de forma estandarizada, de aquí surge el siguiente interrogante: ¿Cómo diseñar un sistema de visión que contribuya al profesional en la salud en la aplicación de la evaluación postural estática utilizando como referencia los planos frontal y lateral, en pacientes en la ciudad de Pasto?

1.2. Justificación

Las evaluaciones estáticas son el conjunto de pruebas que se realiza a una persona que no se encuentre en movimiento y en una posición bípeda, generalmente se aplican en el ámbito deportivo o clínico pero este tipo de mediciones suministran gran información y en muchos escenarios no se les presta la atención necesaria (Abarca, 2019).

Los resultados en la aplicación de la evaluación postural estática de los pacientes con antecedentes tienen mucha variación, hasta el momento no existe un instructivo estandarizado en la aplicación de dicha evaluación, así como no existe un dispositivo que haga la medición inteligente (Sac, 2013).

Por lo tanto, se busca desarrollar un sistema de visión validado debido a la falta de innovación tecnológica en este campo, ya que con la ayuda de un instrumento los profesionales en la salud y del deporte van a poder hacer evaluaciones más precisas, van a contar con los mismos resultados y así podrán crear un plan de trabajo eficaz individualizado, garantizando que no se va a estresar y a sobrecargar ninguna estructura del individuo, como también nos servirá para que cada paciente cuente con un punto de referencia para nuevas evaluaciones posturales.

Con este proceso de investigación, se busca desarrollar el sistema mencionado anteriormente debido a la importancia que tendría en la labor que ejecutan los fisioterapeutas con respecto a la valoración, facilitando el concepto postural en el paciente, con lo cual se podrá tener un diagnóstico más certero y poder tomar la mejor decisión con respecto a su rutina de recuperación o rehabilitación.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema de visión aplicado para la evaluación postural en el diagnóstico de fisioterapeutas en la ciudad de Pasto.

1.3.2. Objetivos específicos

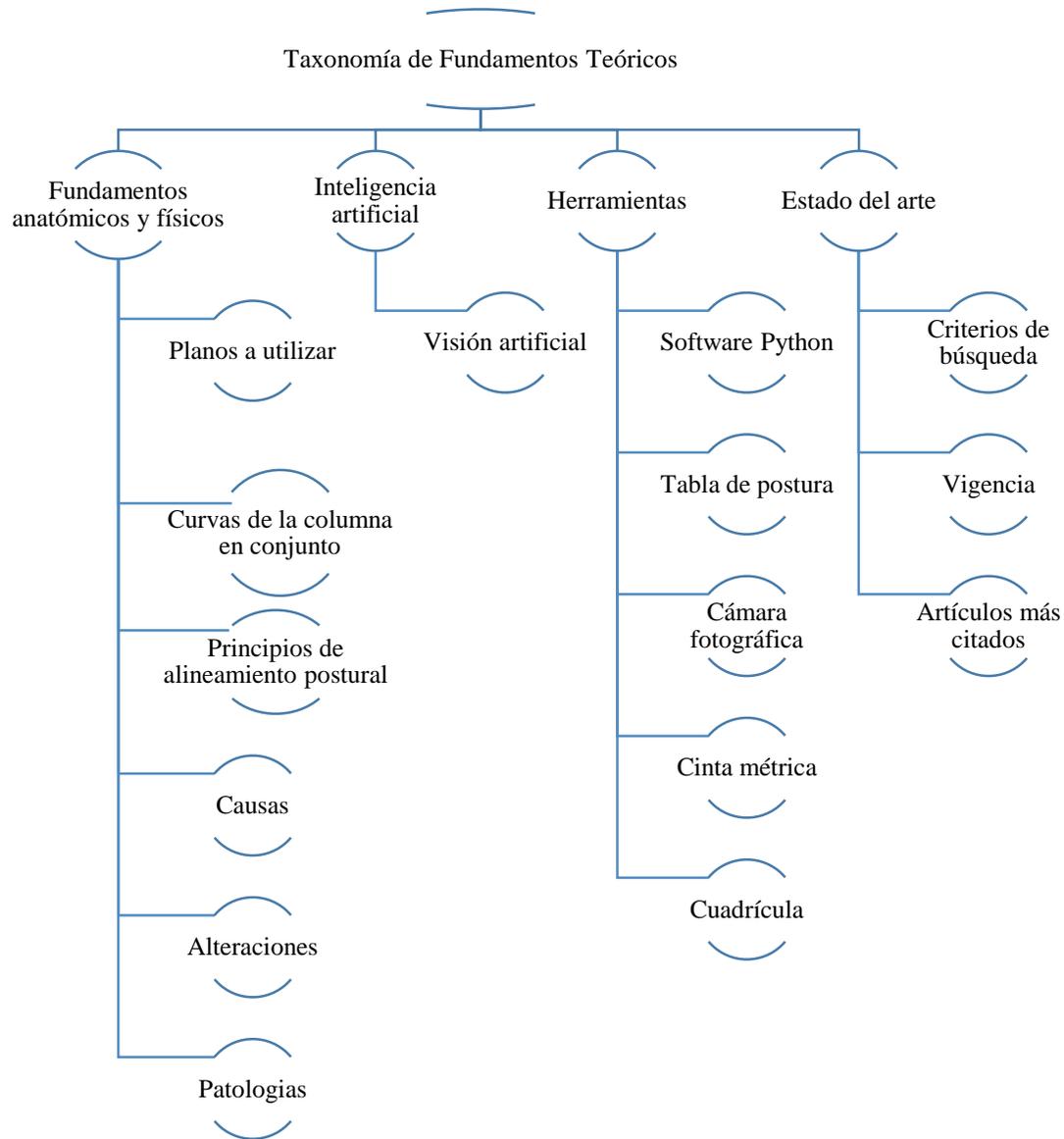
- Analizar los diferentes parámetros de posturas de los pacientes o base de datos de fisioterapeutas para determinar los criterios de diseño.
- Diseñar la interfaz gráfica mediante procesamiento de imágenes utilizando visión por computadora que establezca la evaluación postural de acuerdo con los requerimientos del profesional en la salud.
- Implementar el sistema de visión con el cual se genere la evaluación postural estática y comprobar el funcionamiento del dispositivo por medio de resultados obtenidos experimentalmente para ser verificados por el fisioterapeuta.

1.4. Fundamentos Teóricos

En la Figura 1 se muestra la taxonomía referente al marco contextual y estado del arte de la investigación, la cual presenta los temas principales a abordar en esta investigación.

Figura 1

Taxonomía de fundamentos teóricos



1.4.1. Fundamentos anatómicos y físicos

Para entender lo que es el concepto de postura y problemas posturales es necesario hacer un breve repaso a la anatomía de la columna vertebral que será el principal objeto de estudio de este documento.

La columna vertebral, también conocida como espina dorsal o raquis es una estructura muy resistente la cual es el eje del cuerpo humano dando la estructura principal para sostenernos de manera erguida cuenta con partes elásticas y zonas con gran movilidad, la estructura de la columna vertebral consta con 33 vértebras las cuales son cuerpos cilíndricos óseos separados por discos intervertebrales los cuales se mantienen unidos por ligamentos longitudinales anteriores y posteriores. La columna vertebral se divide en cinco regiones: la parte superior denominada región cervical, región dorsal o torácica, región lumbar, la región sacra y la región coxígea (Zeas et al., 2018).

La columna vertebral es una de las principales estructuras en nuestro cuerpo y una de las más utilizadas en nuestro día a día en las labores, por lo tanto, este órgano es susceptible a padecer de enfermedades, generalmente relacionadas con la mala postura, movimientos repetitivos o esfuerzos, ocasionando problemas de salud que pueden afectar nuestra calidad de vida, con esta breve introducción entraremos a la teoría de la postura, alteraciones y evaluación postural.

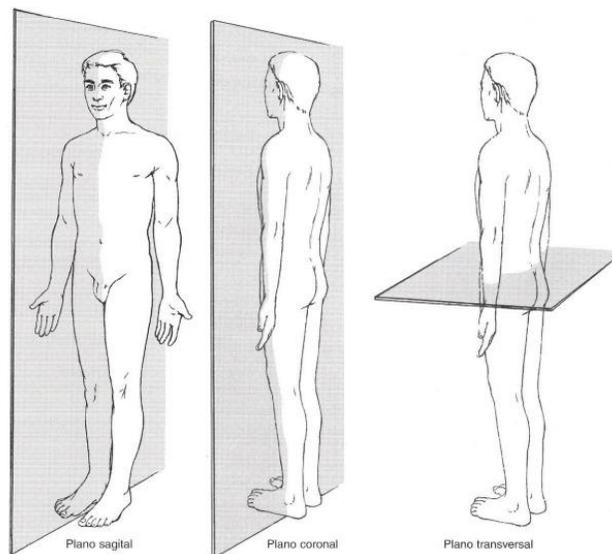
La postura se define normalmente como la posición relativa que adoptan diferentes partes del cuerpo, la postura perfecta es aquella que permite un estado de equilibrio muscular y esquelético, las posturas incorrectas son consecuencia de fallo de relación entre diferentes partes del cuerpo dando un incremento en la tensión de las estructuras que este se compone.

La postura se define como “un estado compuesto del conjunto de las articulaciones del cuerpo en un momento determinado” (Peterson, Kendall, Geise, McIntyre, & Anthony, 2007). En 1890 Vierordt fundó en Berlín la primera escuela de posturografía, en 1955 el Dr. Baron del Laboratorio de Posturografía del Hospital de Sainte-Anne en París, publica una tesis sobre la importancia de los músculos oculomotores en la actitud postural (Bricot, 2008). En la actualidad, la postura y sus afectaciones siguen siendo temas de estudio en la rama de la salud, dado que determinan el desarrollo de actividades cotidianas y la estabilidad de las personas.

1.4.1.1. Planos. El plano hace referencia a una superficie o sección plana, que proporciona un punto de observación o referenciación de un cuerpo. Existen diferentes planos principales del cuerpo como se muestra en la Figura 2, estos a su vez se dividen en plano sagital o lateral, frontal y horizontal o transversal. El plano sagital hace referencia a un corte del cuerpo verticalmente que divide el cuerpo en izquierda y derecha, el plano frontal hace el corte verticalmente dividiendo el cuerpo en parte posterior y parte anterior y el plano horizontal o transversal se dispone paralelo al suelo a la altura deseada dependiendo de la persona. Los planos principales dividen el cuerpo en porciones equivalentes y cuando estos planos se unen el punto de encuentro de estos, se encuentra el centro de gravedad.

Figura 2

Planos y direcciones funcionales mostradas en el cuerpo humano

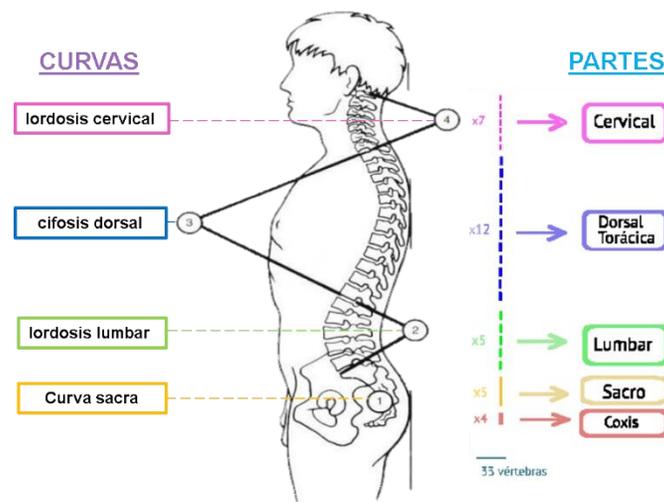


Fuente: Adaptado Peterson Kendall, Kendall McCreary, & Geise Provance (2005).

1.4.1.2. Las curvas de la columna en conjunto. La columna se considera un conjunto cuando es observada de un plano frontal o anterior, de otra manera en el plano sagital o lateral de la columna se pueden observar cuatro curvas características que se refieren a las curvas naturales que se encuentran en la columna vertebral, estas curvaturas son esenciales para proporcionar soporte, amortiguación y flexibilidad. Las curvas naturales son: la curva sacra fija debido a la soldadura de la vértebras sacras, ubicada en la parte inferior de la columna es cóncava hacia atrás, lo que significa que se curva hacia la parte anterior del cuerpo, comprende 9 vértebras; la lordosis lumbar se encuentra en la región lumbar es una curvatura cóncava hacia adelante, comprende 5 vértebras; la cifosis dorsal se encuentra en la parte media de la columna vertebral en la región torácica es cóncava hacia atrás, comprende 12 vértebras y la lordosis cervical está en la parte superior de la columna en la región cervical, es cóncava hacia adelante y comprende 7 vértebras para un total de 33 vértebras como se pueden observar en la Figura 3, donde las curvas naturales se relacionan con las partes anatómicas del cuerpo y se muestra la ubicación descrita anteriormente.

Figura 3

Curvas naturales que se encuentran en la columna vertebral



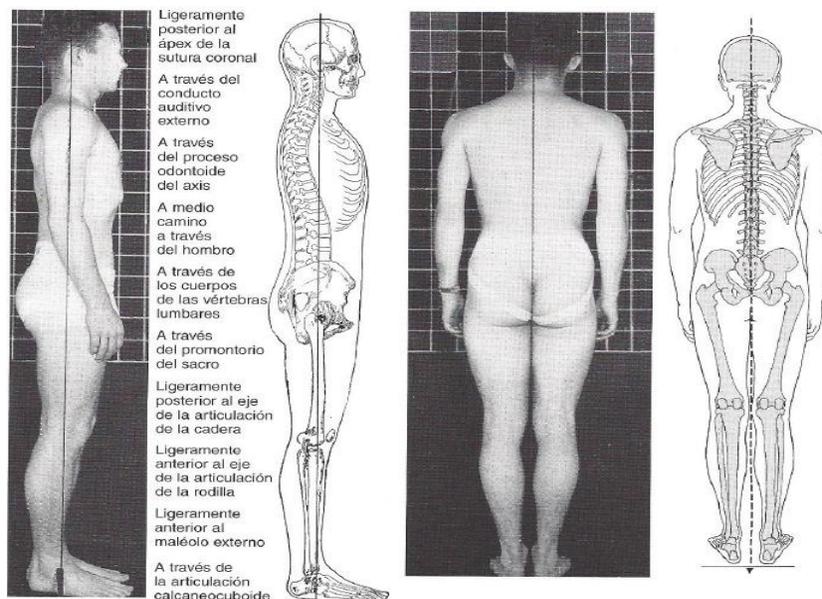
Fuente: Adaptado de Kapandji, 2011.

1.4.1.3. Principios del alineamiento para la postura correcta. En el plano sagital la línea de referencia y las líneas de plomada se pueden ver representadas por la proyección del eje de gravedad, el cual divide el cuerpo en dos secciones en el plano coronal, este plano divide el cuerpo imaginariamente en dos secciones frontal y posterior, estas secciones no son simétricas (Peterson et al., 2007).

En la vista anterior la línea de plomada representa la proyección de un eje de gravedad del plano medio sagital, comenzando en la mitad de los dos talones, se dirige en línea recta y continua por la línea media de la pelvis, columna vertebral, esternón y cráneo, donde se puede apreciar que estas partes llegan a ser simétricas y por ello concluimos hipotéticamente que estas pueden soportar la misma carga. Ver la Figura 4 para mayor ilustración.

Figura 4

Postura humana perfecta con plomada y cuadrícula a y b respectivamente



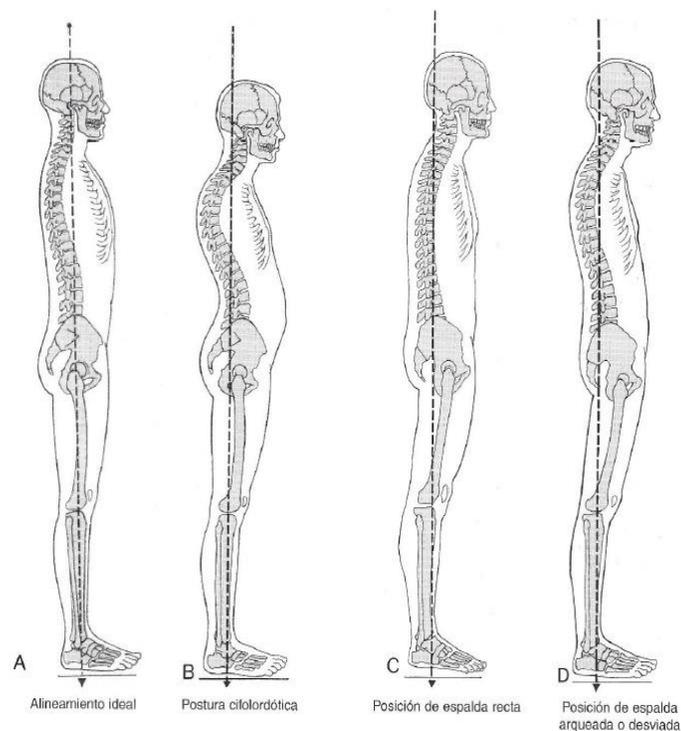
Nota: a. vista lateral coronal con plomada y cuadrícula b. vista posterior sagital con plomada y cuadrícula. Fuente: adaptado de Kendall, 2007.

Se observa en Figura 4(a), la descripción en cómo debe ir dirigida la línea plomada en plano lateral para obtener datos precisos de la morfología de cualquier persona con respecto a su postura.

Como se mencionó anteriormente, la columna vertebral está compuesta por cuatro curvas características que pueden variar según la posición postural de las personas, cuando la curva de la columna es normal la pelvis está en posición neutral, como se observa en la Figura 5 (a), las partes vienen en perfecta alineación, cuando la pelvis se desvía de la línea plomada, indicaría que se toman posturas incorrectas anterior, posterior o lateralmente.

Figura 5

Tipos de alineamiento en la postura humana en bipedestación



Fuente: Adaptado de Peterson et al., 2007.

1.4.1.4. Causas de las alteraciones y problemas posturales. Una postura incorrecta puede traer problemas de salud y de bienestar en el cuerpo, es muy importante mantener una postura correcta para poder tener en el cuerpo una buena eficiencia biomecánica, una alteración en la postura, se debe a malos hábitos en la postura o vicios posturales, frecuentemente esto se presenta en el ámbito laboral donde es más común que se presenten estos problemas relacionados a las malas posturas debido a las posiciones sedentarias y carga de peso, por ello, la importancia de la postura está en la cantidad de presión que es ejercida en cada una de las vértebras, la presión varía según la posición de la columna, cuando se mantiene una buena postura se evita la aparición de dolores de espalda y trastornos músculos esqueléticos (Zeas et al., 2018).

El dolor de espalda aparece como una respuesta neurológica, que activan los nervios que causan el dolor y desencadena inflamación y contracciones musculares, esta clase de patologías se pueden dar por distintos factores los cuales son factores físicos, psicosociales y médicos.

1.4.1.4.1. Factores físicos. Adopción de posiciones incorrectas en el momento de realizar labores y el mal manejo de carga también se da por debilidad en la musculatura abdominal y espalda, debido a la falta de movimiento a una actividad que no requiera movimiento

1.4.1.4.2. Factores psicosociales. El estrés y trastornos psicosomáticos pueden producir contracciones musculares que ocasiona el degeneramiento de la zona lumbar, también el asumir que una lesión no tan grave pueda permanecer y así limitar el movimiento, esto puede conllevar a tener miedo y no realizar trabajo físico por evitar el dolor generado así atrofiando los sistemas musculares y esqueléticos

1.4.1.4.3. Factores médicos. La región lumbar es una de zonas con mayor movilidad en el cuerpo por eso es muy común que se presente desgaste, compresiones y pinzamiento lo que hace que esta región sea muy susceptible a la aparición de hernias discales las cuales generan dolor ya que aquí se encuentran las raíces nerviosas en este caso el dolor de espalda se presenta de tres

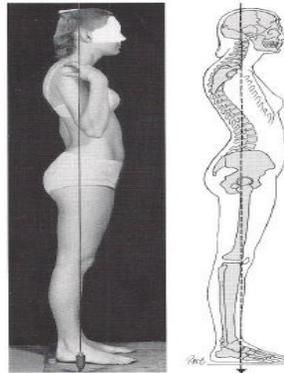
maneras dolor localizado, dolor radicular o irradiado, dolor proyectado o referido (Zeas et al., 2018).

1.4.1.5. Alteraciones posturales. A continuación, se observa las diferentes posturas que puede dar un criterio preliminar al profesional y dar un diagnóstico acertado en la postura que toma la persona:

1.4.1.5.1. Postura cifolordótica. La pelvis toma una posición de inclinación hacia el frente, disminuyendo el ángulo entre la pelvis y el músculo de la parte anterior, la región de la columna superior se arquea hacia el frente creando un arco más pronunciado tal como se aprecia en la Figura 6.

Figura 6

Postura cifolordótica encontrada en una mujer

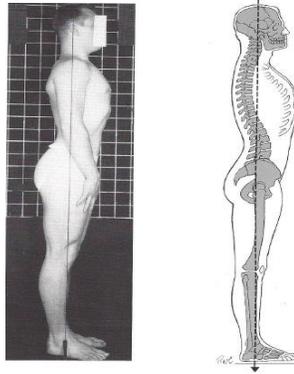


Fuente: Adaptado de Kendall, 2007.

1.4.1.5.2. Postura lordótica. Esta posición se caracteriza por una hiperextensión en la zona lumbar e inclinación hacia atrás de la pelvis y un ligero hiperextensión en la parte trasera de la rodilla como se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Postura lordótica encontrada en un hombre

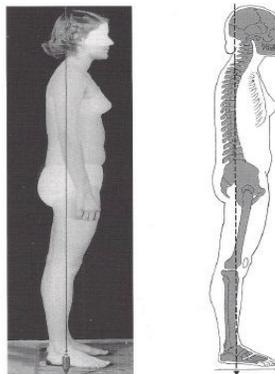


Fuente: Adaptado de Kendall, 2007.

1.4.1.5.3. Postura de espalda aplanada. Se caracteriza porque la persona tiende a enderezar la zona lumbar baja como se observa en la columna dorsal la parte superior en flexión y la parte inferior recta (Figura 8).

Figura 8

Postura de espalda plana encontrada en una mujer

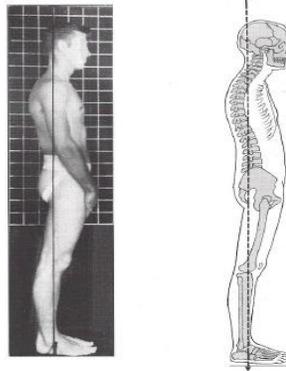


Fuente: Adaptado de Kendall, 2007.

1.4.1.5.4. Postura espalda arqueada. Al observar la Figura 9 se puede ver que esta postura se caracteriza por una ligera extensión cervical y una columna dorsal con una gran curva y un desplazamiento hacia adelante del tronco.

Figura 9

Espalda arqueada encontrada en un hombre



Fuente: Adaptado de Kendall, 2007.

1.4.1.6. Patologías por mala postura. Según Zeas (2018) las patologías más comunes por mala postura son:

1.4.1.6.1. Lumbalgia. El dolor está localizado en la parte baja entre las costillas y la parte sacra, la causa más común es por factores laborales, en pacientes entre los 20 y 55 años de edad. En la mayoría de los casos no se considera una patología grave.

1.4.1.6.2. Hernias discales. Su principal síntoma es dolor que se irradia a miembros inferiores debido al degeneramiento de los discos cervicales por envejecimiento, lo cual aumenta la presión sobre la parte pulpar y produce desgaste en el anillo fibroso derivando una hernia.

1.4.1.6.3. Dorsalgia. Afecta a personas que permanecen en posición sedentaria, esta patología se manifiesta con un dolor punzante, latido o quemadura estos pueden ser episodios de mucho dolor e intensos, las mala posiciones y esfuerzos prolongados generan espasmos estas son las primeras manifestaciones de la dorsalgia.

1.4.1.6.4. Cervicalgia. Catalogada como dolor de cuello debido a las duras contracciones musculares, se localiza en la región cervical y puede irradiar hacia la cabeza, nuca, hombros, la espalda alta o brazos la causa se debe a cargas o postura fijas, incluyendo la labor de tareas repetitivas frente a una computadora o escritorio, siendo estas personas las más propensas a sufrir de esta enfermedad.

Por otra parte, la columna vertebral presenta tres curvas características tiene una convexidad dorsal o cifosis torácica y dos concavidades o lordosis que son cervical y lumbar y las alteraciones que se derivan al estudio de estas son:

1.4.1.6.5. Lordosis. Es el incremento de la concavidad posterior de la zona lumbar o cervical o la aparición de una curva en esta misma.

1.4.1.6.6. Cifosis. Es el incremento de la curva posterior de la zona dorsal de la columna, es decir, aparece una curva en la región torácica.

1.4.1.6.7. Cifolordosis. Es el incremento de las curvas dorsal y lumbar al mismo tiempo las causas están presentes en trastornos posturales, sedentarismo, factores genéticos, estrés.

1.4.2. Inteligencia artificial

Según Jarrin (2019), la inteligencia artificial (IA) puede definirse como el estudio y desarrollo de sistemas inteligentes, haciendo énfasis en la simulación de la inteligencia humana aplicada en las máquinas, comprende procesos como el aprendizaje y el razonamiento. La visión artificial o visión por computadora es una rama de la IA y el aprendizaje automático, que puede hacer uso de métodos y algoritmos de aprendizaje o tomar parámetros que sirven de base para la detección de objetos y el procesamiento de imágenes.

1.4.2.1. Visión Artificial. El objetivo principal de la visión artificial es simular la capacidad de visión humana desarrollando métodos que permitan la compresión por medio de algoritmos de imágenes digitales (Jarrin, 2019).

La visión artificial puede ser definida como los procesos de obtención, caracterización e interpretación de información de imágenes tomadas de un mundo tridimensional (Cando & Gaibor, 2017).

1.4.3. Procesamiento de imágenes

Este proceso de adquisición de imágenes se da en seis pasos:

- I. Captación
- II. Preparación
- III. Segmentación
- IV. Descripción
- V. Reconocimiento
- VI. Interpretación

1.4.3.1. Captura de Imágenes. En esta etapa, se adquieren las imágenes o secuencias de video que serán procesadas por el sistema de visión artificial. Esto puede implicar el uso de cámaras. Con ello es muy importante tener en cuenta los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara y su proceso de calibración para disminuir la distorsión generada por el lente al momento de la captura de las imágenes.

1.4.3.1.1. Parámetros Intrínsecos de la Cámara. Los parámetros incluyen la matriz de la cámara, el coeficiente de distorsión, la relación de aspecto y el ángulo de inclinación.

La matriz de la cámara (K) es una matriz 3×3 que representa las propiedades intrínsecas de una cámara en el contexto de visión por computadora y calibración de cámaras como se muestra en la Ecuación 1.

$$k = \begin{bmatrix} f_x & s & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde f_x , f_y es la distancia focal en las direcciones x e y, respectivamente y c_x , c_y son las coordenadas del punto principal (centro óptico) en píxeles y s es el sesgo (ángulo entre los ejes x e y, generalmente 0 en cámaras bien calibradas).

Los coeficientes de distorsión se refieren a parámetros que describen las imperfecciones geométricas y ópticas de la lente de una cámara. Estos coeficientes son esenciales para corregir las distorsiones en las imágenes y obtener una representación más precisa de la escena capturada, los tipos de distorsión son radial que se refiere a la deformación en las esquinas y tangencial dada por la inclinación de la lente.

La relación de aspecto (α) se da entre la distancia focal en las direcciones x e y. El ángulo de inclinación (s) es el ángulo entre los ejes x e y.

1.4.3.1.2. Parámetros Extrínsecos de la Cámara: Tiene en cuenta la matriz de rotación y transformación.

La matriz de rotación (R) y vector de traslación (T) describen la posición y orientación de la cámara en el espacio 3D. Esta matriz se utiliza para transformar coordenadas entre sistemas de referencia, como convertir puntos del espacio del mundo al plano de la imagen y viceversa.

La matriz de transformación (M) combina R y T para transformar coordenadas entre sistemas de referencia con ayuda de la ecuación 2.

$$M = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & T_{3 \times 1} \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde $R_{3 \times 3}$ es la matriz de rotación, $T_{3 \times 1}$ es el vector de traslación, $0_{1 \times 3}$ es una fila de ceros.

1.4.3.1.3. Método de calibración. Las técnicas de calibración de cámaras más comunes implican el uso de patrones conocidos, tableros de ajedrez o patrones específicos, se denomina comúnmente "calibración geométrica" o "calibración planar". En esta técnica, se utilizan objetos con patrones bidimensionales (como el patrón cuadriculado de un tablero de ajedrez) para capturar imágenes desde diferentes perspectivas. La información recopilada a partir de estas imágenes se utiliza para calcular los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara.

1.4.3.2. Preprocesamiento de imágenes. Antes de analizar las imágenes, es común realizar operaciones de preprocesamiento para mejorar la calidad de la imagen y facilitar el análisis. Se realizan operaciones como la corrección de color y el filtrado para eliminar ruido.

En primer lugar, se realiza la conversión de las imágenes a un espacio de color adecuado para el análisis. Por ejemplo, cambiar de RGB a escala de grises o a otros espacios de color específicos. En segundo lugar, se hace el ajuste de tamaño y recorte, para ello se redimensionan las imágenes para que tengan un tamaño consistente o recortarlas para enfocarse en regiones de interés específicas. Finalmente, se aplica filtros para reducir el ruido, eliminar detalles innecesarios o suavizar la imagen para facilitar la detección de bordes y otros patrones.

1.4.3.3. Segmentación. Se refiere al proceso de dividir una imagen en partes significativas o regiones con el objetivo de simplificar la representación visual y facilitar el análisis. El procedimiento es identificar y etiquetar diferentes objetos o áreas de interés en la imagen para que puedan ser procesados de manera independiente en este proceso generalmente se utiliza un ROI (región de interés). Las técnicas aplicadas a la segmentación pueden ser basadas en umbral (intensidad), por regiones homogéneas, por contornos (límites) o basada en clasificación, la cual utiliza algoritmos de aprendizaje automático para clasificar píxeles o regiones.

1.4.3.4. Descripción. Se refiere a la identificación y captura de atributos clave en las imágenes que son relevantes para la tarea específica. Estas características pueden incluir bordes, formas, texturas, colores, entre otros. Para la detección se utiliza los siguientes métodos.

El método de transformaciones morfológicas, el cual se utiliza para modificar la forma y la estructura de los objetos en una imagen. Estas operaciones son comúnmente usadas para resaltar características específicas, eliminar ruido, o realizar otras transformaciones que faciliten la detección de patrones.

Otro método es el análisis de contornos y formas, donde se hace la detección y descripción de contornos y formas presentes en la imagen. Puede implicar la aplicación de operadores de contorno, como el operador de Sobel.

Finalmente, el método de filtros y máscaras es la aplicación de filtros espaciales para resaltar o suavizar ciertas características. Por ejemplo, filtros de detección de bordes pueden destacar cambios abruptos de intensidad

1.4.3.5. Reconocimiento. Asigna una etiqueta o categoría específica a un objeto o conjunto de características un objeto o grupo de elementos. Es una tarea fundamental para identificar y organizar objetos en clases predeterminadas. En esta etapa se organiza la información encontrada para clasificar y ordenar los datos.

1.4.3.6. Interpretación. La interpretación implica dar sentido a la información visual procesada y clasificada. Se traduce la salida del sistema en términos de significado o acciones. En función de la interpretación de la información visual, el sistema puede tomar decisiones específicas o generar respuestas adecuadas. Esto puede incluir realizar acciones específicas o proporcionar información

1.4.4. Herramientas

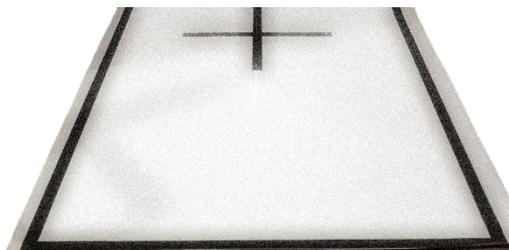
En la evaluación postural tradicional que se realiza en bipedestación del paciente, se evalúan los segmentos anatómicos y físicos para determinar las características posturales y posibles alteraciones de salud, generalmente se analizan dos planos: Frontal y Sagital (Brasales, 2014). Aunque existen múltiples herramientas en la evaluación postural, a continuación se mencionan algunas relacionadas con el tema de estudio.

1.4.4.1. Python. Duque (2018) expresa que Python es un lenguaje de programación creado en los años 90 por el programador Guido Van Rossum, su nombre fue inspirado en un grupo de humoristas ingleses llamados “Monty Python”. Es un lenguaje que maneja un intérprete esto quiere decir que requiere de un programa intermedio para su ejecución, también tiene la característica de tener tipado dinámico y fuerte tipado, esto quiere decir que no es necesario declarar el tipo de variable a utilizar en la programación si no que esta se declara automáticamente. Algunos casos de éxito en el uso de Python son Google, Yahoo!, la NASA, Industrias Light & Magic, y todas las distribuciones Linux” (Bahit, 2017; Duque, 2018).

1.4.4.2. Tabla de postura. Estas tablas son una herramienta que se utiliza para ubicar los pies de la persona sobre unos dibujos que tienen un contorno en forma de pie para ayudar a ubicar estos mismos en plano lateral y frontal como se observa en la Figura 10.

Figura 10

Tabla de postura utilizada en la evaluación postural



1.4.4.3. Cámara fotográfica. Cámara Logitech C920 con alta resolución de 1920x1080 píxeles en video (Figura 11).

Figura 11

Cámara Fotográfica



1.4.4.4. Cinta métrica. Se utiliza para medir longitudes en el cuerpo (Figura 12).

Figura 12

Cinta métrica comúnmente utilizada en la evaluación postural

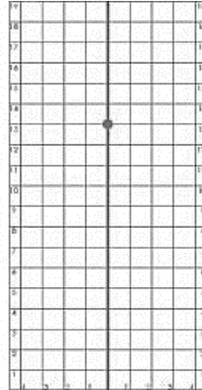


Fuente: Recuperado de <https://n9.cl/pk2za>.

1.4.4.5. Cuadrícula. Es una malla de cuadros de 190 cm x 80 cm, donde cada cuadro mide 10 cm de lado, que es utilizada junto con la línea de plomada para verificar la asimetría del paciente como se mira en la Figura 13. Además, permite analizar de forma comparativa los segmentos bilaterales anatómicos y líneas verticales, que representan la línea de gravedad que valora y determina inclinaciones antero-posteriores y laterales.

Figura 13

Cuadrícula ubicada en la parte posterior del individuo para el examen



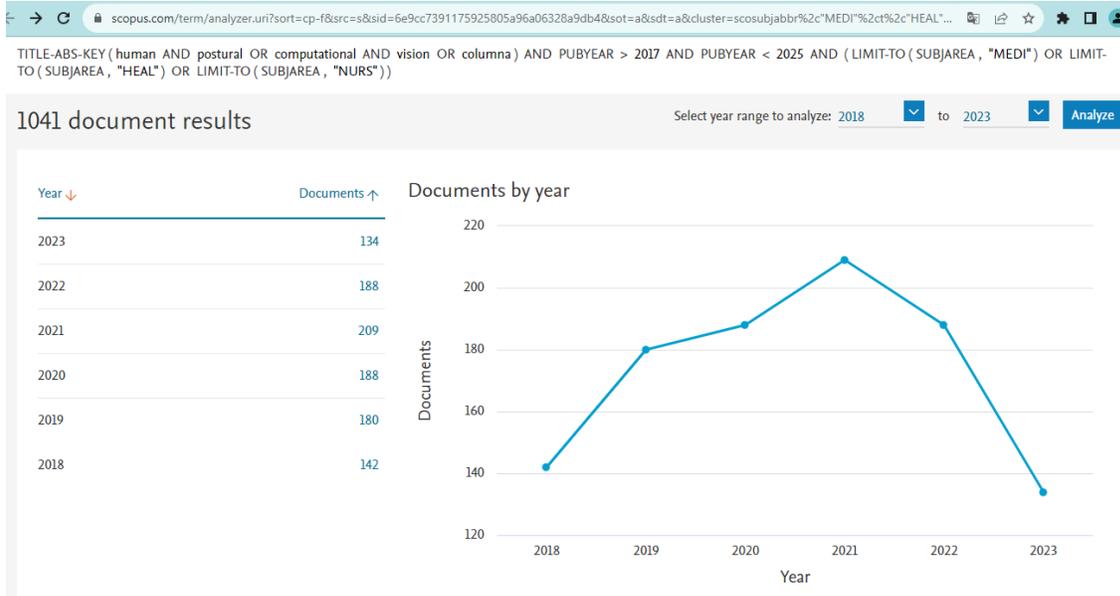
1.4.5. Estado del arte

1.4.5.1. Criterios de búsqueda y bases de datos. Teniendo en cuenta que el objetivo de la presente investigación es desarrollar un sistema de visión aplicado para la evaluación postural en el diagnóstico de fisioterapeutas en la ciudad de Pasto, se hizo un rastreo de datos utilizando la base de datos Scopus desde el año 2018 al 2023. La ecuación de búsqueda utilizada fue: TITLE-ABS-KEY (human AND postural OR computational AND vision OR column) AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "MEDI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "HEAL") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "NURS")). Los documentos se filtraron de acuerdo con su nivel de relevancia con un total de 1041 documentos de los cuales se seleccionaron manualmente 10 artículos más relevantes sobre el tema de estudio.

1.4.5.2. Vigencia de la temática. El avance de la tecnología junto con la visión artificial aplicada en la salud ha ido incrementando con el paso de los años haciendo que este tema sea de interés para lectores e investigadores. En la Figura 14 se muestra los artículos publicados respecto al tiempo, en la cual se puede mostrar el interés que tiene este campo de investigación con un pico de tendencia en el año 2021, con más de 200 documentos publicados.

Figura 14

Imagen tendencia de investigación tomada de la base de datos “Scopus”



Fuente: Scopus, 2023.

1.4.5.3. Descripción del top 10 de los artículos más citados en los últimos 5 años. La tecnología moderna, ha avanzado en cuestión de detección del cuerpo humano mediante sensores y dispositivos portátiles, los cuales han aumentado exponencialmente gracias al crecimiento e innovación tecnológica, así como también, poseen amplio espectro de aplicaciones y usos, todos estos datos brindan a los profesionales en salud herramientas para un mejor desempeño laboral (Naranjo et al., 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior se puede referenciar el término de revolución 4.0, este concepto se tomó a partir de 2011 con el fin de mejorar las industrias tanto competitivamente como en procesos de eficacia, esta revolución hace los sistemas de procesamiento inteligentes e interconectados y puedan desempeñar tareas complejas automáticamente así también aplicarlos a líneas de producción complejas, también integrarlos a nuestra vida diaria y en nuestro cuidado médico. Con el surgimiento de la industria 1.0 en el siglo XVII se introdujo la producción con

máquinas con funcionamiento a vapor en pequeñas aplicaciones para el surgimiento de la industria 2.0 se introdujo la producción a gran escala la cual venía acompañada de la energía eléctrica la cual fue parte fundamental para el surgimiento de industrias, ya para la industria 3.0 se produce un surgimiento digital así mismo se generó una revolución en la manera de comunicarnos y de las tecnologías de información (Javaid & Haleem, 2020). Por eso esta razón la industria 4.0 y los avances médicos en la detección de las variables que se encuentran en el cuerpo humano a la hora de medir u obtener información del mismo, hace indispensable el uso de las herramientas tecnológicas, para la detección o prevención de alguna enfermedad.

Un caso en que se pueden aplicar estas tecnologías es el reconocimiento de la postura humana ya que los problemas músculo esqueléticos siendo una de las enfermedades que más afectan las personas en el mundo, estos estudios sobre la postura y la biomecánica nos dan una referencia de cómo dar diagnóstico a las enfermedades relacionadas a la mala posición, para esto existen diferentes métodos de evaluación estos son: directo, semidirecto e indirecto. El método directo se trata de poner sensores mientras la persona se encuentra realizando alguna labor esta se utiliza para el estudio dinámico de la postura, en el semidirecto se observa la labor realizada y se utiliza un software computacional para su análisis, finalmente en el indirecto consiste en el uso de cuestionarios.

En los últimos años se han desarrollado muchas investigaciones sobre cómo modelar la postura de las personas. Tenemos como ejemplo el modelo de Markov (HMM), la máquina de vectores de soporte (SVM), el árbol de decisión (DT) y el mapa de plantilla, son los métodos más utilizados para la realización de algoritmos, con esto se ha logrado realizar estudios los cuales son aplicados a los deportes como el tenis logrando reconocer pocas posiciones, con el método de árbol de decisión se logró la lectura del ángulo y rotación de la articulación, también se utilizó sensores de medición inercial (IMU) para lograr leer unas cuantas posiciones (Wu, Zhang, Chen, & Fu, 2019).

Todos estos estudios se basan en una parte del cuerpo en específico ninguno se ha implementado en el cuerpo completo ya que es muy difícil conseguir una lectura exacta de la posición del cuerpo,

hace poco tiempo se viene demostrando que la red neuronal convolucional, definido como un algoritmo de aprendizaje, que permite utilizar datos de una manera bidimensional, aplicado generalmente en el reconocimiento de imágenes, otros campos pueden ser el reconocimiento de señales del cuerpo, navegación, ubicación y diferentes problemas que requieran un reconocimiento de patrones. Sin embargo, es un algoritmo que está sujeto a las condiciones ambientales y físicas para su correcto funcionamiento (Kim, Son, Kim, Jin, & Yun, 2018).

Los anteriores métodos se pueden aplicar al desarrollo de un sistema que permita el reconocimiento preliminar de posibles enfermedades correspondientes a la mala posición postural en las personas y a las incomodidades generadas por el dolor que causa una mala exposición carga o tensión de alguna parte del cuerpo. Para dichos métodos el punto de referencia es el dolor, pero el dolor se puede presentar de una manera crónica a la hora de arrojar un diagnóstico en general, esto puede ser subjetivo ya que puede irradiarse y de una sensación falsa por eso la importancia de que los profesionales tengan nuevas herramientas que le proporcionen ayuda a la hora de examinar y dar un diagnóstico efectivo y reducir ciertos factores que contribuyen al error (Naranjo et al., 2020).

Los diagnósticos referentes a la postura humana se dividen generalmente en dos posiciones: la postura compleja y postura simple, las cuales han sido objeto de varios estudios en relación a la implementación de nuevos avances y prácticas. Una de las maneras de realizar un examen de postura manualmente incluye ciertas herramientas como el método RULA (Método de evaluación rápida de miembros superiores). Este método generalmente se realiza en trabajadores que se exponen a cargas o posiciones estáticas, la manera de realizarlo va en tres simples pasos. El primero es observar cuál es la labor realizada, segundo determinar el esfuerzo, es decir la manera en que se realiza la actividad y, por último, la repetitividad la cual se documenta con fotos o videos para después ser analizados, aquí básicamente se evalúa un lado del cuerpo y se tiene en cuenta las extremidades superiores, si existen cambios o alteraciones se debe realizar otros estudios. Existen otros métodos como el REBA (*The Rapid Entire Body Assessment*) y OWAS (*The RapidOvako Working Analysis System*) (Abarca, 2019).

Teniendo en cuenta lo anterior se puede analizar que no hay muchas herramientas tecnológicas que nos ayuden a la toma de exámenes mediante un método computacional sistematizado, ya que estos exámenes se realizan manualmente y al criterio del profesional, por ello se observa la falta de una estandarización en combinación con tecnología para innovar en este campo de acción. Por lo anterior, es importante mencionar que la transversalidad de las áreas del conocimiento como son la medicina y la mecatrónica permiten generar contribuciones sobre el manejo de los problemas de músculo esqueléticos que afectan a gran parte de la población mundial. Se cita la investigación realizada por (Gómez, Callejón, Pérez, Díaz, & Carrillo, 2020), quien desarrolló la lectura de señales EMG con la lectura de la activación del músculo espinal lumbar medio, identificando fatiga muscular con una precisión del 86% a pacientes con dolor lumbar, en este caso se aplicó una prueba para producir la fatiga muscular lumbar. También, aplicó el método RULA para evaluar diferentes patrones y lo comparó con los métodos OWAS y REBA, se analizaron 301 posturas de personas que laboran en fábricas de electrónica, acero, industrias química y automotriz; se encontró que el 80% de los evaluados tenían riesgos laborales en la parte superior y extremidades. Estos diagnósticos son relacionados con la disminución de la productividad en la industria, dadas las afectaciones que provoca cuando no se tiene control oportuno.

Klishkovskaia et al. (2020), explica que se encuentran muchos estudios y aplicaciones en cuestión de reconocimiento de posturas, una de estas es la utilización de una cámara para la detección de posturas con el objetivo preciso de determinar un algoritmo capaz de clasificar el ejercicio para rehabilitación, se utilizó un dispositivo de bajo coste llamado Kinect el cual es comúnmente utilizado en videojuegos y algunas aplicaciones de rehabilitación e investigación, por su versatilidad se puede usar en áreas donde un profesional no pueda estar presente o directamente desde casa, finalmente, se obtuvo que los datos arrojados y procesados por este dispositivo satisfacían las necesidades para poder dar un diagnóstico certero y ayudar en la rehabilitación. La precisión con sólo el reconocimiento de las posturas cuando el cuerpo está en movimiento fue del 91,9% y cuando el cuerpo está en reposo fue del 95,16 %. Se resalta algunos puntos a mejorar como el tamaño de muestra que es limitado, los pacientes examinados son sanos, las diferentes

morfologías cambian las lecturas de las articulaciones y por último se presentan malas lecturas en entornos diferentes y maneras de vestir.

Wang & Huang en el año 2021 evaluaron el procesamiento de imágenes con un microcontrolador denominado FPGA por sus siglas en inglés *Field Programmable Gate Array*, este método brinda un procesamiento de imágenes en tiempo real y con mayor eficiencia que los microcontroladores convencionales. Las imágenes procesadas en este software resaltan las partes más importantes del cuerpo humano y después las separa en partes autónomamente, después se extraen las características como variables del entorno.

Para concluir se realizó una revisión de un artículo sobre las nuevas maneras de obtención de datos mediante encuestas realizadas a un grupo de practicantes ergonomistas para tener en cuenta nuevas tecnologías o tendencias que se pueden integrar, así también la obtención de datos internacionales especialmente a países de habla inglesa, para esta encuestas alrededor de 1221 participantes fueron invitados por correo electrónico, se preguntó sobre el uso de instrumentos de medición así como también se enfocó en herramientas con enfoque más analítico, se concluye que algunos métodos de evaluación postural parecen haber aumentado tales como RULA Y REBA, las metodologías cambian de acuerdo a los países y nos da a conocer que el crecimiento de nuevas tecnologías en esta área está siendo adoptado por los profesionales paulatinamente (Lowe, Dempsey, & Jones, 2019).

1.5. Metodología

1.5.1. Enfoque de investigación

El grupo de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Mariana tiene como línea de investigación: Diseño y desarrollo de productos mecatrónicos.

1.5.2. Tipo de investigación

Según Naranjo et al. (2020) el tipo de investigación que se aborda en este proyecto va a ser de tipo exploratorio, ya que a pesar de tener antecedentes de mediciones por profesionales terapeutas con respecto al examen postural estático “EPE”, este examen se realiza bajo el criterio del profesional de la salud, él cual no cuenta con ayuda tecnológica para tomar su diagnóstico, esta investigación abarca un tema que pocas personas han incursionado y tecnificado mediante la aplicación de la tecnología, teniendo esto en cuenta se observa que nuestra investigación es exploratoria.

1.5.3. Área temática

Debido a que se pone a disposición la tecnología para mejorar procesos en el área de la salud se puede decir que el área temática es la de bioingeniería, la cual tiene como objetivo el uso de las herramientas que dispone los ingenieros para apoyar los procesos realizados por el ser humano. En este caso se observa una mejora en la toma de la evaluación postural estática por medio de captura de imágenes que se procesan por parte de un software que da el diagnóstico más certero, ayudando así al profesional terapeuta en la toma de dicho examen.

1.5.4. Hipótesis de la investigación

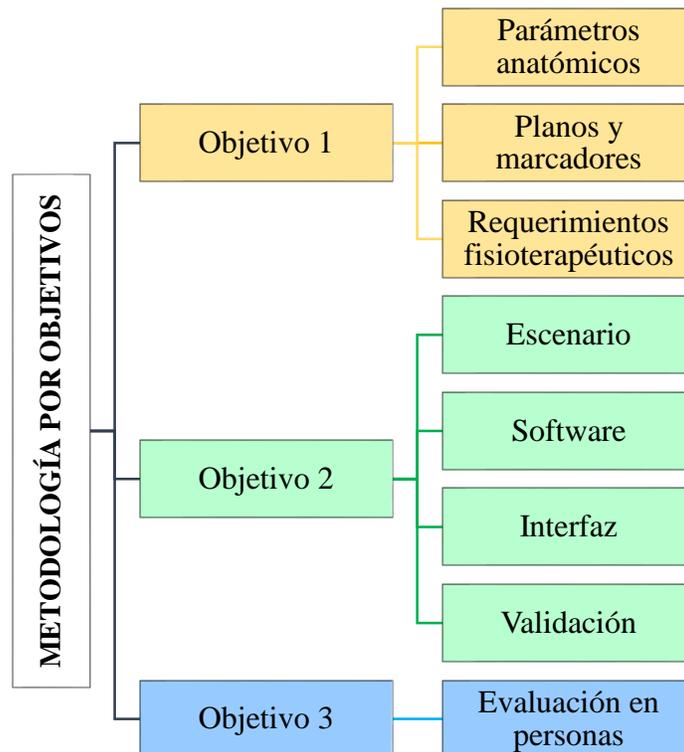
¿El especialista médico puede apoyarse en un sistema de visión artificial, el cual ayude en la toma de decisiones del diagnóstico que se presente al paciente, disminuyendo el cansancio y fatiga que producen los largos tiempos de ejecución al realizar estas evaluaciones de manera manual?

1.5.5. Descripción experimental

Para este proyecto de grado se desarrolla la metodología según los objetivos específicos presentados en tres etapas como se muestra en la Figura 15.

Figura 15

Metodología general por objetivos específicos



1.5.6. Metodología para el objetivo 1

Analizar los diferentes parámetros de posturas de los pacientes o base de datos de fisioterapeutas para determinar los criterios de diseño

1.5.6.1. Parámetros anatómicos. Recopilar información de manera sistematizada en bases de datos relacionada con postura humana y diagnóstico. Teniendo en cuenta que para el desarrollo del sistema se necesita información sobre la anatomía del cuerpo humano, los planos a evaluar, las posturas, causas y patologías por malas posturas adquiridas, factores de riesgo laborales o accidentes. Además, se recopiló información sobre trabajos similares al presente estudio con el fin de conocer a mayor profundidad la organización y bases del diseño del sistema de evaluación postural.

1.5.6.2. Planos y marcadores. Una vez realizada la búsqueda de información y conociendo los marcadores anatómicos del cuerpo humano, se realiza una preselección que enfoca los puntos anatómicos de mayor interés en este estudio, esto con ayuda de la coasesora, especialista en fisioterapia de la Universidad Mariana.

1.5.6.3. Requerimientos del fisioterapeuta. Consultar información bibliográfica apoyada con un profesional fisioterapeuta sobre el procedimiento para realizar la evaluación postural y el análisis corporal, con el fin de conocer los diferentes datos o parámetros que utilizan los profesionales de la salud (fisioterapeutas), los cuales serán la base principal para el diseño y desarrollo del software (objetivo 2) y la evaluación experimental en personas (objetivo 3).

1.5.7. Metodología para el objetivo 2

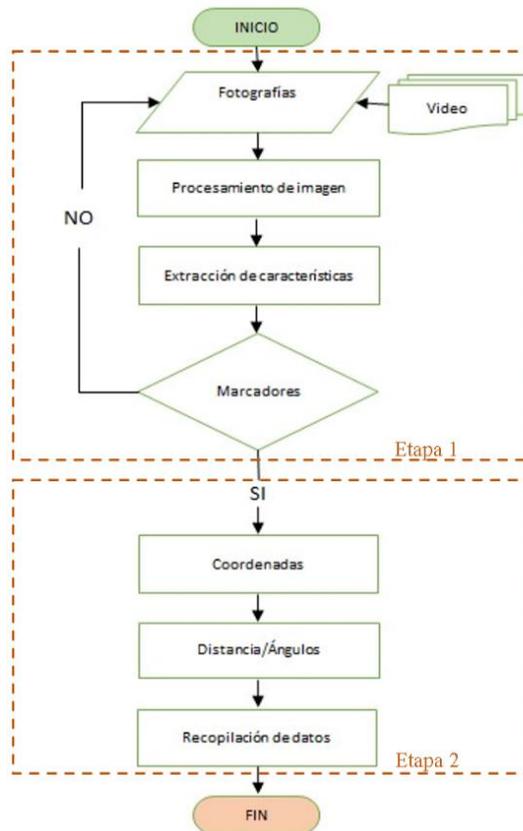
Diseñar la interfaz gráfica mediante procesamiento de imágenes utilizando visión por computadora que establezca la evaluación postural de acuerdo con los requerimientos del profesional en la salud.

1.5.7.1. Escenario. Para realizar la programación y organización del escenario para la evaluación postural se lleva a cabo las siguientes actividades: En primer lugar, se realizó la revisión bibliográfica para determinar los elementos necesarios para establecer el escenario. En segundo lugar, se ubica un lugar estable, el cual debe contar con un sistema de iluminación estándar para que no haya variaciones a la hora de tomar las evaluaciones. En tercer lugar, se debe planificar y organizar la disposición de los elementos como son: cuadrícula, trípode, iluminación, computadora, cámara, entre otros. Finalmente, se hace la calibración de todo el sistema, de tal manera que la distancia a la que está ubicado cada elemento, la iluminación y el centro de referencia de la cuadrícula no varíen entre evaluaciones y de esta manera estandarizar el proceso de obtención de datos.

1.5.7.2. Software. Reunir información sobre los softwares existentes, métodos de programación y manejo de datos. Buscar información de las librerías más adecuadas para el desarrollo del proyecto, como también el lenguaje y librerías a utilizar con respecto a visión artificial. Una vez realizada la revisión bibliográfica se plantea el proceso dividido en dos etapas para la recolección de datos (Figura 16).

Figura 16

Diagrama de flujo para la obtención de datos



Como se observa en la Figura 16, el proceso de recolección de datos se divide en dos etapas, a continuación, una explicación más profunda de las etapas y como se realizaron:

1.5.7.2.1. Etapa 1. En la primera etapa ingresan las imágenes de video en un formato RGB, la entrada de video tiene una resolución de 1600 x 900 píxeles, después se realiza el procesamiento del video, el cual consiste en seleccionar una región de interés donde se reconoce los marcadores, luego, se transformó el video de un formato BGR a HSV, esto con el fin de poder indicar en que rango de color que se va a detectar los marcadores. Posteriormente, cuando se obtiene la máscara se realizan operaciones morfológicas y filtrado, finalmente se procede a dibujar los contornos que rodean los marcadores y los dibujamos en pantalla.

1.5.7.2.2. Etapa 2. Para esta etapa los marcadores que fueron detectados y dibujados a su vez el programa ya tienen los datos, pero sin ser almacenados en variables, en este proceso lo que se realiza es asignar las variables a los datos para poder trabajar y transformar los datos obteniendo así las medidas en cm y los ángulos, esto se repite para cada plano ya sea en los dos laterales como en el frontal. Posteriormente, cuando los datos son procesados y obtenidos se procede a llevar dichos datos a una hoja de cálculo en Excel, este es el resultado final donde se encuentra toda la información de las evaluaciones realizadas incluyendo las medidas en centímetros, ángulos, fotos, datos personales y gráficas.

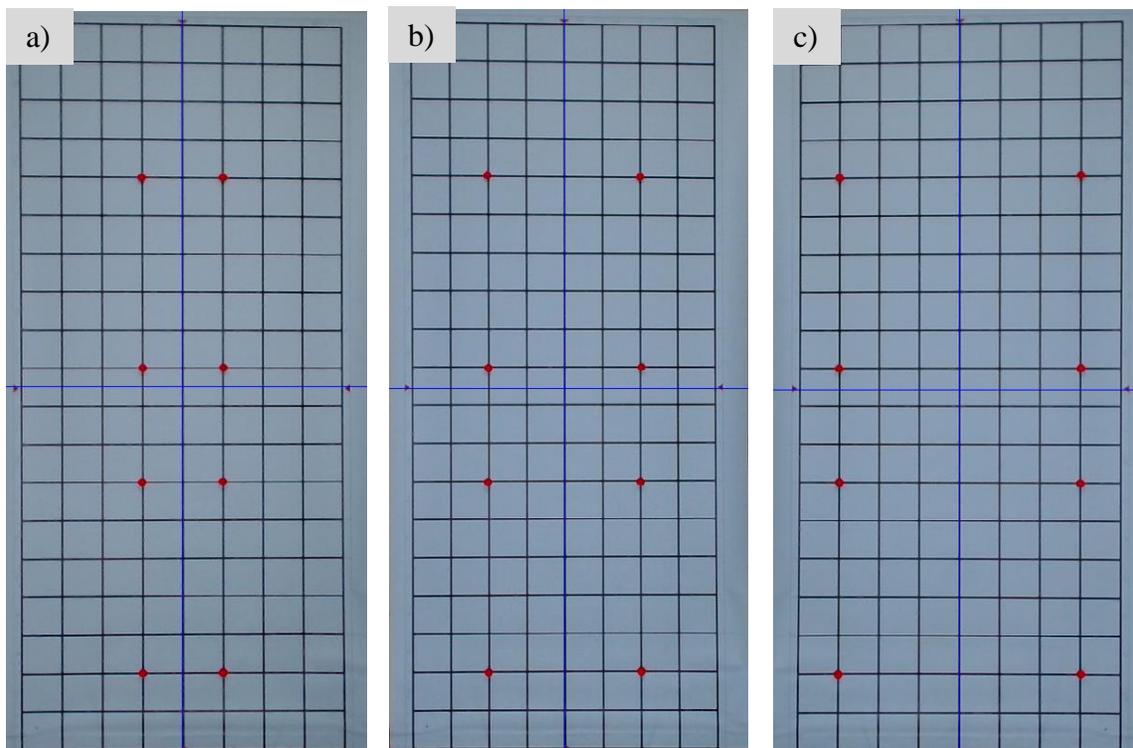
Para las métricas en la evaluación de desempeño se tuvo en cuenta aspectos que incluyen las medidas como la distancia entre puntos de referencia y los ángulos derivados de las distancias, esto con el fin de dar al profesional encargado del diagnóstico un aproximado de la ubicación y alineamiento postural. También se analiza la exactitud, para ello se tiene en cuenta la evaluación postural estática tradicional realizada manualmente y se comparará con los resultados que presenta el software mediante el análisis de fotografías. Finalmente, se evalúa la precisión de tal manera que se toma a una persona la evaluación postural estática mediante el software con varias repeticiones, para así poder calcular el error que este presenta entre mediciones y con respecto a la evaluación estática realizada manualmente.

1.5.7.3. Interfaz. Para la interacción entre el sistema y el usuario es necesario la creación de la interfaz gráfica en la cual se pueda iniciar el proceso y mirar resultados parciales obtenidos. Para el diseño de esta interfaz se contemplan los siguientes pasos: en primer lugar, se realiza la pantalla de inicio como identificación del programa y se muestra el intervalo de tiempo que tarda el sistema para iniciar, posteriormente, se organiza los botones que permitan elegir el plano que se usará para la evaluación, general los resultados, ayuda y salir del sistema. Finalmente, se crea la interfaz que permite la interacción entre planos y los botones de entrada de datos.

1.5.7.4. Validación. Una vez realizada la calibración del sistema, se procede a realizar la prueba de verificación, la cual consistió en ubicar ocho marcadores de color rojo fluorescente en tres posiciones diferentes en la cuadrícula en el plano frontal, por cada posición se realizó tres mediciones en tres días diferentes, para cada evaluación el sistema fue instalado desde cero con el método explicado anteriormente en la sesión 1.5.7.1, la posición de los marcadores se ubicó en las tres posiciones como se aprecia en la Figura 17. Finalmente, con los datos obtenidos se calculó el promedio y desviación estándar para las distancias en x y y, los ángulos para cabeza, hombros, cadera, rodilla y pies para las tres posiciones.

Figura 17

Posición de los marcadores en la cuadrícula plano frontal



Nota: a) Plano frontal para la posición A. b) Plano frontal para la posición B. c) Plano frontal para la posición C.

Para la validación de las evaluaciones también se calcula el error absoluto y porcentual mediante las ecuaciones 3 y 4.

Error absoluto:

$$Ea = |valor\ medido - valor\ software| \quad Ec. 3$$

Error porcentual:

$$Ep = \left| 100 - \left(\frac{valor\ software}{valor\ medido} * 100 \right) \right| \quad Ec. 4$$

Donde el valor medido es la medida en centímetros dado por la cuadrícula y corroborado con cinta métrica, y el valor del software es el valor en centímetros que calcula el programa realizado en este trabajo.

1.5.8. Metodología para el objetivo 3

Implementar el sistema de visión con el cual se genere la evaluación postural estática y comprobar el funcionamiento del dispositivo por medio de resultados obtenidos experimentalmente para ser verificados por el fisioterapeuta.

1.5.8.1. Evaluación en personas. Una vez realizadas las pruebas de validación con el error, el promedio y la desviación estándar se procedió a evaluar el programa de ayuda en personas. Para ello se tomó como referente la edad, ocupación y género. Se evaluó el programa en 3 mujeres y 2 hombres. Se tomaron dos repeticiones reiniciando el sistema para la segunda evaluación.

2. Resultados y Discusión

2.1. Resultados para el objetivo 1

2.1.1. Parámetros anatómicos

La revisión bibliográfica permite comprender los conceptos básicos sobre el tema de interés, en este caso sobre la anatomía del cuerpo humano, sus principios, causas y alteraciones posturales. Además, profundizar sobre la visión artificial y las herramientas que se usan para cumplir con el objetivo de investigación y desarrollar el sistema de visión como soporte para el diagnóstico de evaluaciones posturales estáticas del profesional. Para ello, se hizo una amplia revisión de los conceptos, fundamentos y herramientas en la sesión 1.4 sobre fundamentos teóricos o marco conceptual, así como el análisis de los estudios más relevantes sobre el tema en la sesión 1.4.4. denominada estado del arte.

2.1.2. Planos y marcadores

En el desarrollo del proyecto se ha realizado una investigación sistemática en la cual se logró aprender y comprender términos que son utilizados en el campo de la medicina, para luego ser aplicados dentro de la creación del sistema, esta información fue complementada por el fisioterapeuta que guía el proceso y validación de sistema. Con ello se recopiló la información sobre marcadores anatómicos en el anexo A. Como resultado del análisis bibliométrico en la Tabla 1 se presentan los marcadores seleccionados para la investigación con respectiva descripción anatómica y su relación con cada plano de estudio (Figura 18).

Tabla 1

Marcadores seleccionados para evaluación postural

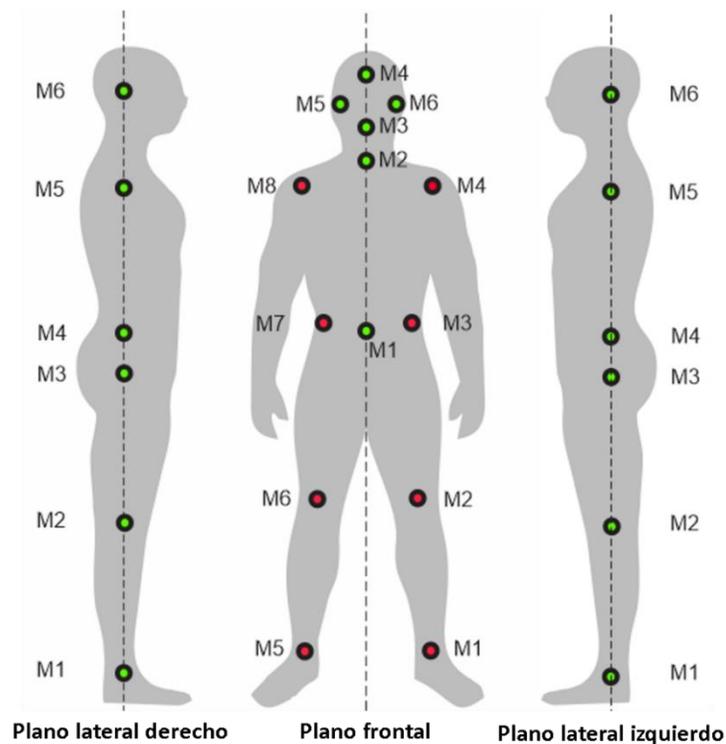
Vista posterior (verdes)		Vista posterior (naranjas)		Vista lateral derecha- izquierda (verdes)	
punto	Ubicación	punto	Ubicación	punto	Ubicación
M1	Ombbligo	M1	Tobillo izquierdo	M1	Tobillo
M2	Horquilla del manubrio esternal	M2	Rotula izquierda	M2	Tuberosidad tibial
M3	Mentón	M3	Espina ilíaca anterosuperior izquierda	M3	Trocánter mayor del fémur
M4	Entrecejo	M4	Articulación acromioclavicular izquierda	M4	Espina ilíaca anterosuperior
M5	Lóbulo oído derecho	M5	Tobillo derecho	M5	Articulación acromioclavicular
M6	Lóbulo oído izquierdo	M6	Rotula derecha	M6	Lóbulo oído
		M7	Espina ilíaca anterosuperior derecha		
		M8	Articulación acromioclavicular derecha		

Por otro lado, se encontró que la posición del cuerpo normal se basa en una postura en que el cuerpo esté ubicado de posición frontal, con el rostro mirando hacia el frente, igualmente las palmas de las manos, esta posición en la investigación se denomina plano frontal. Los planos derecho e izquierdo se definen porque el rostro está mirando hacia un lado, los brazos normalmente puestos

hacia los lados, las palmas de las manos ubicadas paralelas al cuerpo y con los dedos pulgares extendidos (Kendall, 2007). Estas posiciones anatómicas serán parte fundamental en la ubicación donde los marcadores serán posicionados para la evaluación postural como se muestra en la Figura 18.

Figura 18

Planos y marcadores de estudio



2.1.3. Requerimientos del fisioterapeuta

Los requerimientos fisioterapéuticos abarcan todos los conceptos y fundamentos revisados en la sesión anterior como componente fundamental para definir los marcadores y planos de estudio, sin embargo, existen otros conceptos importantes para complementar la evaluación por parte del experto evaluador como son las amplitudes globales de la flexoextensión e inflexión de la columna,

las cuales ayudan a comprender la inclinación y rotación del cuerpo humano como parámetros de evaluación postural.

2.1.3.1. Amplitudes globales de la flexoextensión de la columna. La columna es una articulación que tiene tres grados de libertad que permite hacer movimiento de flexión, extensión e inclinación izquierda y derecha en conjunto con una rotación axial donde se observa sus amplitudes (Tabla 2).

Tabla 2

Flexión e inclinación de la columna

	Columna lumbar	Columna dorsolumbar	Columna cervical
Flexión (grados)	60	105	40
Extensión(grados)	35	60	75

Fuente: Kapandji (2011).

Por lo tanto, la flexión total de la columna (Ft) es de 110 grados, mientras que la extensión total, de la columna (Et) es de 140 grados

2.1.3.2. Amplitudes globales de la inflexión lateral de la columna. Este movimiento se conoce como inclinación de la columna realizada en un plano frontal. La inflexión o inclinación total de la columna entre el sacro y el cráneo es entonces de 75 a 85 grados.

Tabla 3

Amplitudes inflexión de la columna

	Grados (°)
Inflexión lateral de la columna lumbar	20
Inflexión lateral de la columna dorsal	20
Inflexión lateral de la columna cervical	35 a 45

Fuente: Kapandji (2011)

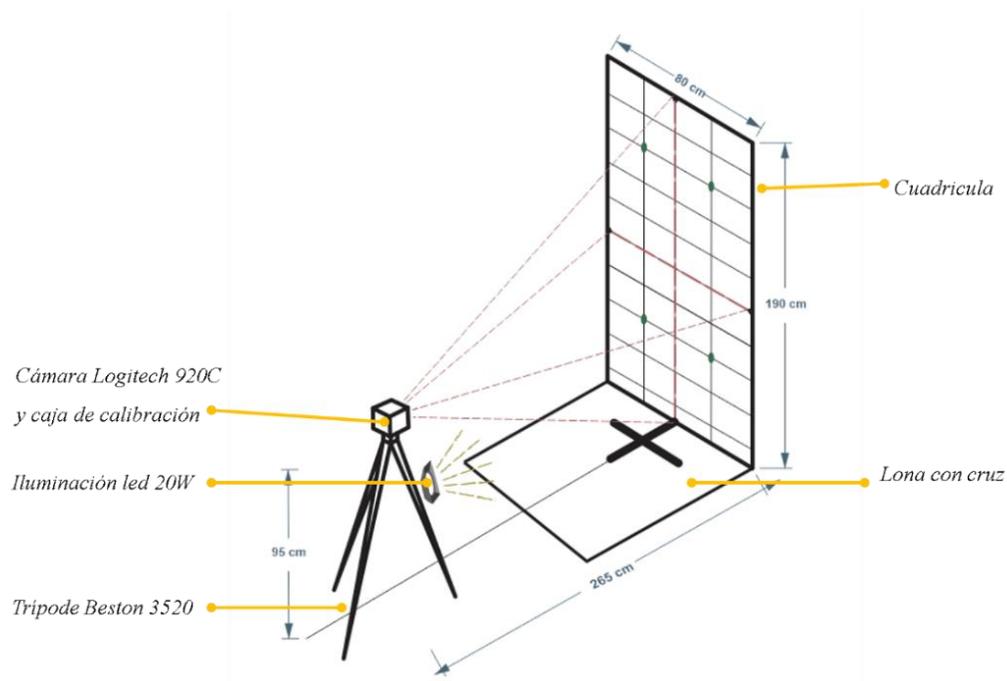
2.2. Resultados para el objetivo 2

2.2.1. Escenario

Para implementar y realizar las pruebas de funcionamiento del sistema, se dispone de una habitación de 4 metros cuadrados aproximadamente, la iluminación es estable y baja, la ubicación de los elementos y los materiales se pueden observar en la Figura 19.

Figura 19

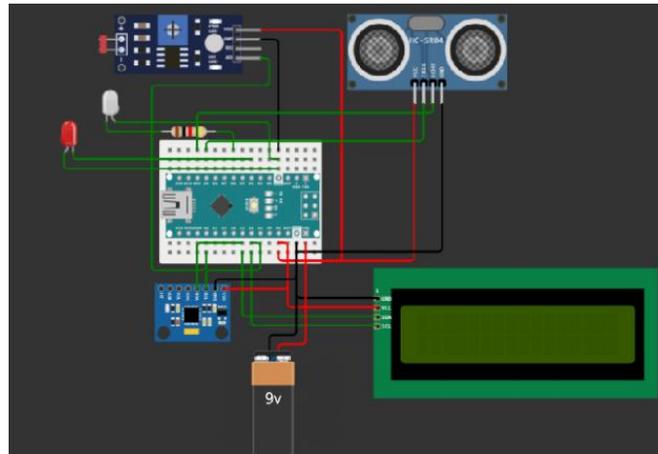
Esquema de instalación del sistema



Para lograr una buena ubicación de la cámara con respecto a la cuadrícula se desarrolló una caja de calibración como se muestra en la Figura 20, la cual nos ayudó a aproximar la posición de la cámara con respecto a la cuadrícula, este dispositivo nos entrega varios parámetros, como la distancia a la cual se encuentra el trípode. El código de la caja de calibración realizado en Arduino, se presenta en el Anexo G.

Figura 20

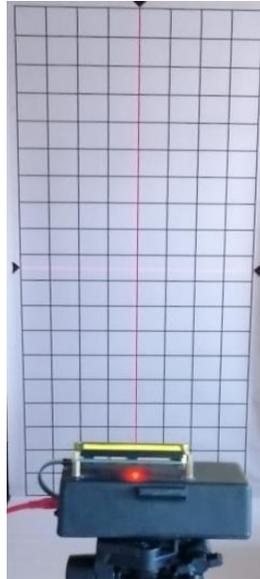
Esquema caja de calibración



Con ayuda de un diodo láser logramos hacer coincidir las líneas proyectadas con las líneas de la cuadrícula, además se ubicaron cuatro triángulos de color negro que nos indica una buena posición, se logró medir el nivel de luz mediante una foto celda que nos dice cuando el nivel de luz es óptimo, para observar la inclinación se utilizó un giroscopio el cual nos avisa si el trípode se encuentra en nivel, el dispositivo presento los datos en una pantalla LCD. La cuadrícula tiene unas dimensiones de 80 cm de ancho y 190 cm de alto, con cuadros internos de 10 cm, el material usado fue lona, esta misma fue usada para la referencia de medición en conjunto con la caja de calibración que se ubica en el trípode, la caja de calibración muestra cuando la distancia sea 265 cm desde la caja hasta la cuadrícula, con la cinta métrica se midió 95 cm desde el suelo hasta la línea horizontal láser que ya se encontraba alineada con la cuadrícula, el tapete de lona con cruz se ubicó en el centro correspondiente con la línea láser vertical, de igual manera, cuando se ha calibrado el escenario pasamos a iniciar el software, ubicando la cámara con ayuda de la caja de calibración la cual permite aproximar la posición en la que se va a ubicar la cámara teniendo como referencia el centro de la cuadrícula tanto horizontal como verticalmente, esto se visualiza en la pantalla en el botón de selección de plano como se observa en Figura 21.

Figura 21

Alineación de láser y cuadrícula



2.2.2. Software

2.2.2.1. Búsqueda de contornos en fotos. Ya con los parámetros conseguidos para la creación del sistema, se inicia el trabajo de reconocimiento de los marcadores y graficar sobre los contornos encontrados, para este proceso se implementa librerías como Open CV y Numpy, con las cuales se hace segmentación y reconocimiento de imágenes logrando encontrar contornos de personas y objetos mediante la lógica de las librerías y sus funciones como se observa en Figura 22, al aplicar esta segmentación se inicia la experimentación con el algoritmo. El código completo se presenta en el Anexo F.

Figura 22

Fragmento de programación (contornos y centro de gravedad)

```

import numpy as np
import cv2

#Cargamos una fuente de texto
font = cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX

#Abrimos la imagen
imagen = cv2.imread('evaluacion postural.jpg')
if(imagen is None):
    print("Error: no se ha podido encontrar la imagen")
    quit()

#Convertimos la imagen a HSV
hsv = cv2.cvtColor(imagen, cv2.COLOR_BGR2HSV)

#Extraemos el fondo
verde_bajos = np.array([18,0,0])
verde_altos = np.array([50,254, 254])
fondo = cv2.inRange(hsv, verde_bajos, verde_altos)
bolas = cv2.bitwise_not(fondo)

#Eliminamos ruido
kernel = np.ones((17,17),np.uint8)
bolas = cv2.morphologyEx(bolas,cv2.MORPH_OPEN, kernel)
bolas = cv2.morphologyEx(bolas,cv2.MORPH_CLOSE, kernel)

#Buscamos los contornos de las bolas y los dibujamos en verde
contours,_ = cv2.findContours(bolas, cv2.RETR_LIST, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
cv2.drawContours(imagen, contours, -1, (0,255,0), 2)

#cv2.imshow('imagen',imagen)

for i in contours:
    #Calcular el centro a partir de los momentos
    momentos = cv2.moments(i)
    cx = int(momentos['m10']/momentos['m00'])
    cy = int(momentos['m01']/momentos['m00'])

    gray = cv2.cvtColor(imagen, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    canny = cv2.Canny(gray, 10,150)
    canny = cv2.dilate(canny, None, iterations=1)
    canny = cv2.erode(canny, None, iterations=1)
    cnts,_ = cv2.findContours(canny, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

    for c in cnts:
        area = cv2.contourArea(c)
        x,y,w,h = cv2.boundingRect(c)
        cv2.rectangle(imagen, (x,y), (x+w, y+h), (0,255,0), 2)
        cv2.imshow("Calculo de Area y Reconocimiento de imagen", imagen);
        print(area)
        #cv2.circle(imagen,(73, 4), 10, (255,0,0), -1)
        #cv2.putText(imagen,"x1: " + str(x) + ", y1: " + str(y) + " ",(x+10,y+10),
        cv2.line(imagen, (170,4), (170,334), (255,0,0), 2)
        cv2.line(imagen, (607,34), (607,336), (255,0,0), 2)

        print('w',w)
        print('h',h)
        print('x',x)
        print('y',y)

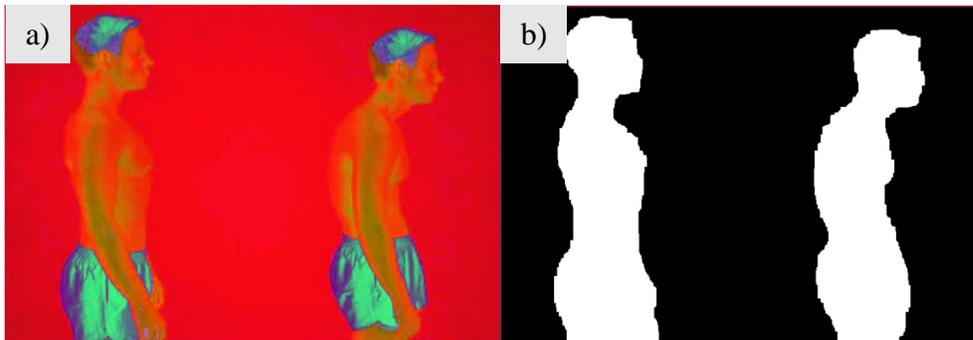
if cv2.waitKey(0) == 27:
    cv2.destroyAllWindows()

```

Para lograr detectar el contorno lo primero fue obtener la imagen en formato RGB, posteriormente se traslada de espacio de color a el formato HSV, el cual se compone por tono (H), la saturación o cantidad de color (S) y el brillo o luminosidad (B), después del cambio de color se dan valores para poder tener un rango de color con un arreglo matricial el cual tiene un formato RGB Figura 23, con esto se puede especificar cuál sería el color más adecuado para la detección, como resultado final se transforma la imagen a binaria y se procede a dibujar los contornos y un cuadrado a su alrededor como se observa en Figura 24, posteriormente se encontró el área para obtener el centroide y las coordenadas para graficar una línea la cual se puede utilizar como un primer punto de referencia, ya que divide el rectángulo en partes simétricas que se pudieron comparar.

Figura 23

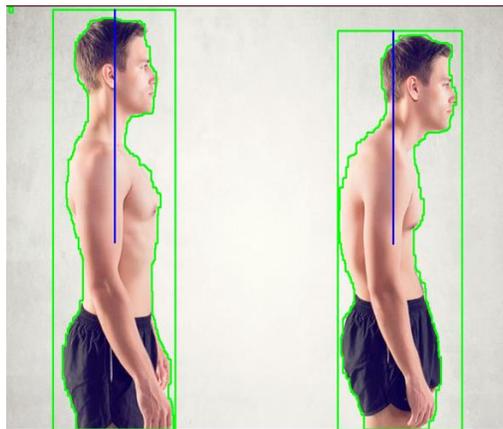
Conversión de imágenes



Nota: a) Espacio de color HSV, b) selección de rango de color

Figura 24

Contornos encontrados mediante la programación



Nota: Dibujo de contorno, rectángulo y línea media.

Cabe aclarar que en este paso no se implementó la programación en tiempo real, solamente se utilizaron fotografías estáticas.

2.2.2.2. Detección de marcadores en tiempo real

2.2.2.2.1. *Detección de un solo marcador.* Después de haber obtenido el algoritmo para el reconocimiento en fotografías se procede a realizar una programación para la detección en tiempo real del color en video. Con la detención del rango RGB y el filtrado se obtuvo la detección del color de los marcadores como se observa en Figura 25. El siguiente paso fue encontrar varios contornos para encontrar cada una de sus áreas individuales en píxeles como se observa en Figura 26. Este procedimiento nos permitió seleccionar los contornos con un área específica ya que los marcadores tuvieron un rango específico de área.

Figura 25

Detección de un solo marcador

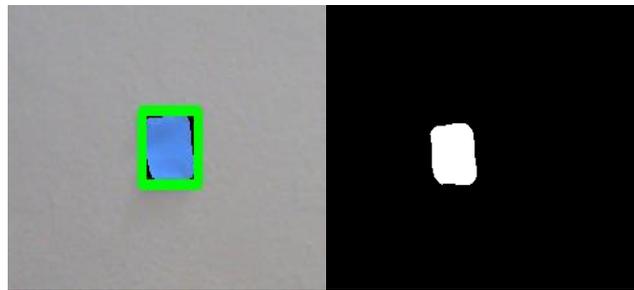
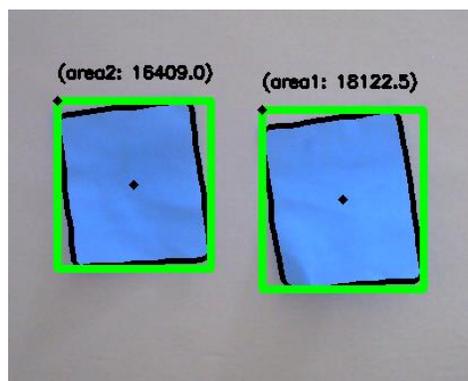


Figura 26

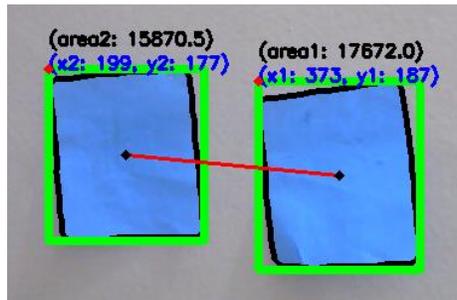
Detección de dos marcadores, centro de rectángulos y su área



2.2.2.2.2. Detección de dos marcadores. A el momento de las pruebas en la programación se resuelve obtener tamaños de áreas comprendido entre los 15.000 y 19.000 píxeles, cuando los marcadores fueron reconocidos se procedió a graficar entre ellos los centros de cada contorno basándose en el rectángulo que encierra el área encontrada ,también se obtuvo las coordenadas en el plano, (x, y) de cada una de las esquinas de los rectángulos, más adelante se procede a graficar la línea entre estos dos rectángulos e imprimir el punto y la ubicación de cada equina izquierda en los rectángulos en color rojo como se observa en la Figura 27.

Figura 27

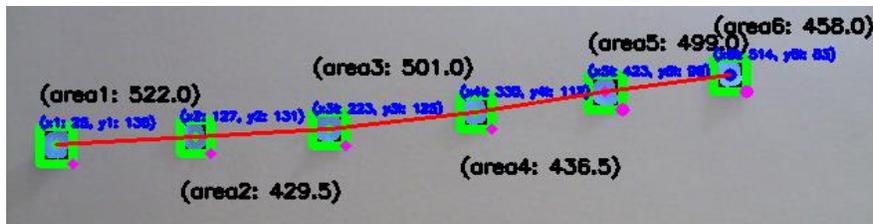
Detección de dos marcadores, área, gráfica de línea y ubicación de puntos (x, y)



2.2.2.2.3. Detección de seis marcadores. Posteriormente al reconocimiento de dos marcadores se procede a reconocer seis marcadores incluyendo su área, ubicación y centro. Se grafica una línea continua en que pasa de un contorno a otro por cada uno de sus centros como se puede apreciar en la Figura 28, la distancia del marcador área 1 a el marcador área 6 fue de alrededor de 44cm y un rango de reconocimiento de área desde los 300 a 1.000 píxeles.

Figura 28

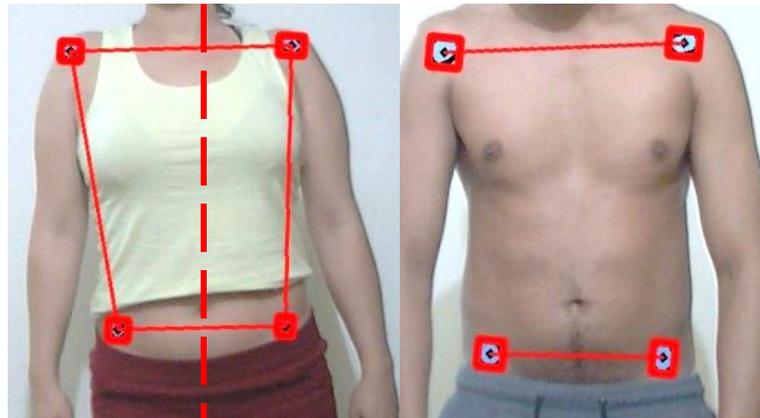
Detección de seis marcadores



2.2.2.3. Realización de polígono con los marcadores. Para verificar el funcionamiento de la programación se inició ubicando los marcadores en cuatro de los puntos mencionados en la Tabla 1, estos puntos fueron las prominencias óseas en los hombros y las caderas. A continuación, se realiza las líneas entre ellos formando un polígono como se observa en la Figura 29.

Figura 29

Detección marcadores en mujer 26 años (izquierda.), hombre 28 años (derecha)



2.2.2.4. Verificación del funcionamiento. Posteriormente se realizó la verificación del funcionamiento de los siguientes aspectos de la programación los cuales son:

- Transformación de video a formato HSV para seleccionar los rangos de color específicos
- Reconocimiento de marcadores mediante el método de binarización y selección de píxeles que se encontraron en el rango deseado.
- Realizar operaciones morfológicas como la dilatación y la erosión para mejorar el reconocimiento.
- Después se implementó un filtro mediana para ayudar a suavizar aún más los contornos de los marcadores y eliminar el ruido que contenía el video en vivo.
- De los marcadores se obtuvo sus coordenadas x, y, se dibujó líneas entre sus coordenadas y los centros encontrados en cada marcador se dibujaron con un punto.
- Se unieron los marcadores formando el polígono con líneas

2.2.2.5. Interfaz. Más adelante se llevó a cabo la realización de la interfaz gráfica, en la que se insertaron 6 botones uno para cada plano y otros para guardar datos y realizar la selección del ROI, para el desarrollo de la interfaz y el sistema, se implementó una cámara Logitech 920C la cual maneja una resolución de 1080p o (1920 x1080 píxeles), esta tuvo un mejor desempeño y soluciono los problemas de reconocimiento. La interfaz gráfica está diseñada con 6 botones con la librería Tkinter los cuales llaman a las ventanas de OpenCV para hacer el reconocimiento y a su vez poder almacenar los datos en una plantilla Excel. Además, por el alto nivel de procesamiento del programa se incluyó una pantalla de espera ya que el inicio de la cámara tarda alrededor de 2 minutos (Figura 30). Después de la pantalla de espera, se lanza la ventana de identificación con todos los integrantes del proyecto, título y logos de la universidad (Figura 31).

Figura 30

Pantalla de espera

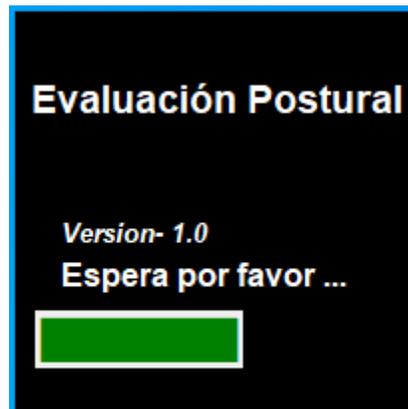


Figura 31

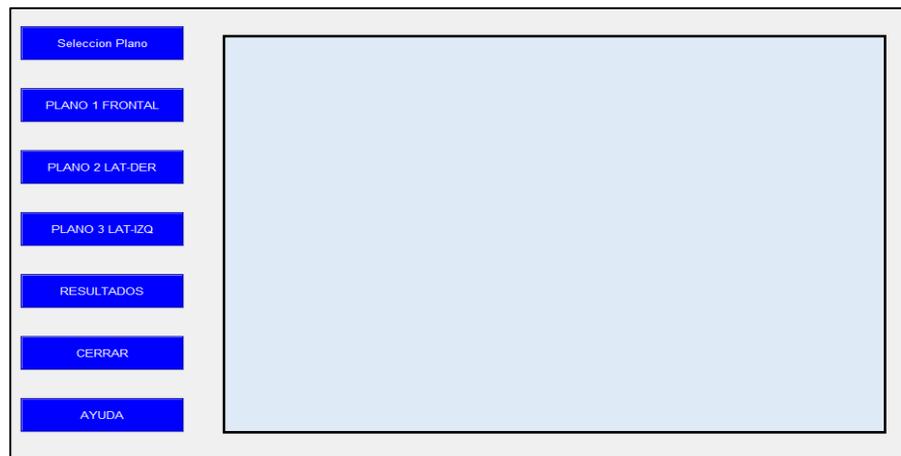
Pantalla de inicio software



El diseño final de la interfaz de usuario y el orden en el cual fue realizado el reconocimiento se pueden apreciar en la Figura 32, la cual muestra un diagrama de flujo que representa los pasos necesarios para la obtención de los datos requeridos y su almacenamiento.

Figura 32

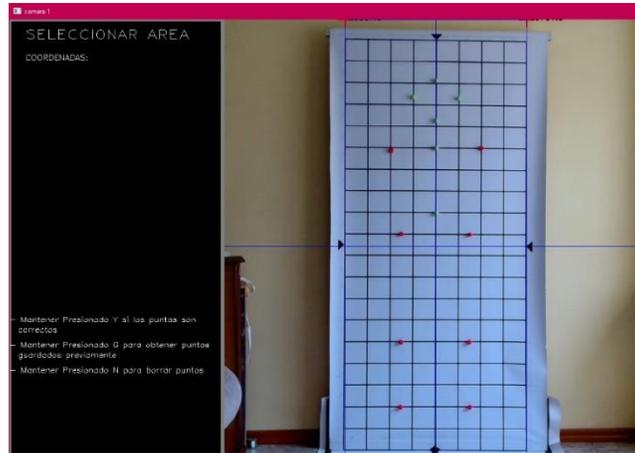
Pantalla Principal



Al presionar el botón “selecciona plano” se lanza otra ventana que permite terminar la calibración del sistema y seleccionar el área de trabajo para iniciar con el reconocimiento de los marcadores (Figura 33). Al finalizar esta etapa se presiona la tecla “y” para guardar y salir.

Figura 33

Pantalla botón “selecciona plano”



Al presionar el botón “plano 1 frontal” se lanza otra ventana que muestra el área de reconocimiento seleccionada, demarcada en color negro, donde la persona a evaluar se ubica en este plano con posición frontal para realizar el reconocimiento de los marcadores previamente adaptados, los cuales serán almacenados al presionar la tecla “y” y posteriormente ser mostrados (Figura 34).

Figura 34

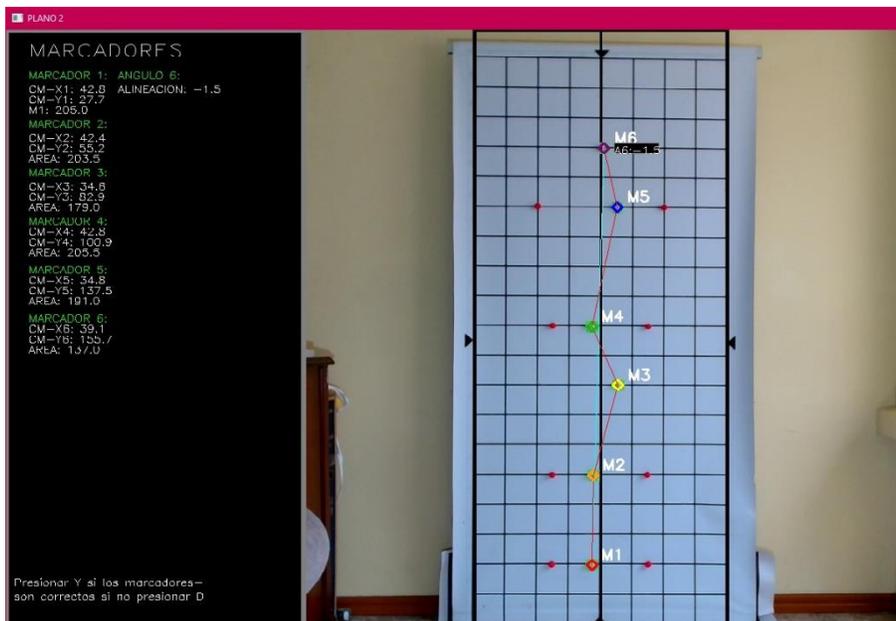
Pantalla botón “plano 1 frontal”



Al presionar cualquiera de los botones de plano lateral derecho o izquierdo se lanza otra ventana que muestra el área de reconocimiento seleccionada, demarcada en color negro, donde la persona a evaluar se ubica en este plano con posición lateral izquierda o derecha según el plano a evaluar para realizar el reconocimiento de los marcadores previamente adaptados, los cuales serán almacenados al presionar la tecla “y” (Figura 35).

Figura 35

Pantalla botón plano lateral izquierdo o derecho



Al presionar el botón “resultados” aparece otra ventana que permite ingresar los datos personales del paciente para ser almacenados en una hoja Excel con su nombre completo, esto ocurre al presionar el botón “guardar”, posteriormente para continuar con otra evaluación se debe presionar el botón “cerrar”, donde no es necesario volver a seleccionar el área de trabajo (Figura 36).

Figura 36

Pantalla botón “resultados”

Selección Plano

PLANO 1 FRONTAL

Fecha:

Nombre:

Edad:

Sexo:

Peso:

lateralidad:

Guardar

cerrar

Por último, en la Figura 37 se muestra los datos almacenados y extraídos del software a Excel, donde se presentan datos del paciente, distancias en cada plano en centímetros (cm), ángulos en grados ($^{\circ}$), fotografías y gráficos como resultado de la evaluación postural entregada por el software como ayuda en el diagnóstico del profesional de fisioterapia.

Figura 37

Pantalla de resultados extraídos del software a Excel

FECHA:									
NOMBRE:									
EDAD:									
SEXO:									
PESO:									
LATERALIDAD:									
DATOS DE MARCADORES POSICION EN PLANO x - y (CM Y ANGULOS °)									
PLANO 1 FRONTAL				PLANO 2 DER			PLANO 3 IZQ		
VERDE		NARANJA		VERDE		VERDE			
No. MARCA	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
Página 1									
No. ANGULO	PLANO 1 FRONTAL			ALINEACION CORPORAL					
1	CABEZA			PLANO 2 DER			PLANO 3 IZQ		
2	HOMBROS			ALINEACION CORPORAL			ALINEACION CORPORAL		
3	CADERA								
4	RODILLA								
5	PIES								

2.2.2.6. Validación. Evaluar el diseño teniendo en cuenta herramientas de software y su eficacia en el análisis de posturas, con las herramientas adquiridas se diseña un software con el cual se pueda hacer pruebas y verificar la eficacia del programa en desarrollo. Para ello se realizó la evaluación postural, ubicando los marcadores en tres posiciones diferentes de la cuadrícula en blanco (sin personas) como se indicó en la sesión de metodología, con el fin de comprobar que no existe variación entre los puntos al ubicarlos en el mismo lugar, es decir que la evaluación es repetible y posee cierta precisión en la toma de datos.

Derivado de la evaluación preliminar se determinó el promedio de distancias en el eje x y en el eje y con su respectiva desviación estándar, para evaluar qué tanto se alejan los datos de la media (Tabla 4). En la Tabla 5, se presenta el cálculo de los ángulos promedios con desviación estándar, que en este caso deben aproximarse a cero para hombros, cabeza, cadera, rodilla y pies porque se maneja un escenario ideal sin las alteraciones que podrían presentar las personas al ser evaluadas.

Tabla 4*Distancias en el eje x y en el eje y para la validación del programa*

No. Marcador	POSICIÓN A		POSICIÓN B		POSICIÓN C	
	XP	YP	XP	YP	XP	YP
1	29.9±0.0	19.8±0.1	19.6±0.1	20.0±0.0	9.8±0.0	19.8±0.1
2	30.1±0.0	69.9±0.1	19.6±0.1	69.8±0.0	10.1±0.0	69.7±0.0
3	29.9±0.0	99.6±0.0	19.6±0.1	99.7±0.0	9.9±0.1	99.4±0.1
4	30.1±0.1	149.3±0.1	19.8±0.0	149.3±0.1	9.9±0.1	148.9±0.0
5	49.8±0.0	19.7±0.1	59.6±0.1	19.7±0.1	70.0±0.0	19.7±0.1
6	49.9±0.1	69.6±0.1	59.9±0.1	69.8±0.0	69.6±0.0	69.4±0.1
7	50.0±0.1	99.5±0.0	59.5±0.0	99.6±0.0	69.7±0.0	99.7±0.1
8	49.9±0.1	149.5±0.1	59.9±0.1	149.7±0.0	69.6±0.1	149.8±0.1

Tabla 5*Ángulos en las diferentes posiciones para la validación del programa*

No. Angulo	Posición	POSICIÓN A	POSICIÓN B	POSICIÓN C
1	Cabeza	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
2	Hombros	0.1±0.2	0.6±0.1	0.9±0.1
3	Cadera	0.1±0.2	0.1±0.0	0.3±0.1
4	Rodilla	0.2±0.0	0.0±0.0	0.3±0.1
5	Pies	0.5±0.2	0.5±0.1	0.0±0.0

Finalmente, en la Tabla 6 se presentan los resultados del error porcentual (Ecuación 4), donde analizamos en qué porcentaje varían los datos tomados con el software respecto a los datos obtenidos manualmente y por cuadrícula.

Tabla 6*Error porcentual en las diferentes posiciones para la validación del programa*

No. Marcador	POSICIÓN A		POSICIÓN B		POSICIÓN C	
	XE	YE	XE	YE	XE	YE
1	0.3	1.0	2.0	0.0	2.0	1.0
2	0.3	0.1	2.0	0.3	1.0	0.4
3	0.3	0.4	2.0	0.3	1.0	0.6
4	0.3	0.5	1.0	0.5	1.0	0.7
5	0.4	1.5	0.7	1.5	0.0	1.5
6	0.2	0.6	0.2	0.3	0.6	0.9
7	0.0	0.5	0.8	0.4	0.4	0.3
8	0.2	0.3	0.2	0.2	0.6	0.1

Teniendo en cuenta los datos obtenidos para distancias y ángulos se encontró que las desviaciones estándar son bajas y, por tanto, no hay gran diferencia entre las tres repeticiones tomadas en cada posición (A, B y C). Además, los ángulos se aproximan a cero siendo un resultado que corrobora el buen funcionamiento dado que son puntos fijos sin ninguna desviación de puntos anatómicos. Posteriormente, al analizar el error porcentual podemos afirmar que los datos generados por el software no presentan altas variaciones con respecto a los datos recolectados manualmente. Finalmente, la validación es aprobada para continuar con la evaluación en personas. Todos los datos adquiridos en la evaluación para esta validación se presentan en el Anexo B.

2.3. Resultados para el objetivo 3

2.3.1. Evaluación en personas

Una vez realizada la verificación de funcionamiento y validación del software se procede a hacer las evaluaciones posturales en personas. Para ello, se toma una muestra de población que se identifica en la Tabla 7, donde se tienen en cuenta personas de la ciudad de Pasto, de diferentes ocupaciones, edades, género, estatura y contextura, esto permite que se evalúen diversas características anatómicas y su influencia en los resultados. La lista de asistencia se presenta en el Anexo C, con el visto bueno de la fisioterapeuta.

Tabla 7

Relación de pacientes evaluados en la ciudad de Pasto

No	Paciente	Edad	Ocupación	Genero	Contextura	Estatura
1	Camila López	19	Estudiante	Femenino	Delgada	1.52
2	Ana Chamorro	53	Odontóloga	Femenino	Gruesa	1.55
3	Vanessa Chica	28	Ingeniera agroindustrial	Femenino	Intermedio	1.73
4	Rene Moncayo	23	Deportista	Masculino	Delgado	1.70
5	Álvaro Chamorro	56	Maestro de construcción	Masculino	Delgado	1.67

A continuación, se presentan los resultados finales de evaluaciones posturales en tres pacientes, los resultados preliminares arrojados por el software se presentan en anexos para todos los pacientes que participaron en el estudio (Anexo D).

Figura 38

Ángulos para la evaluación postural del paciente No. 2

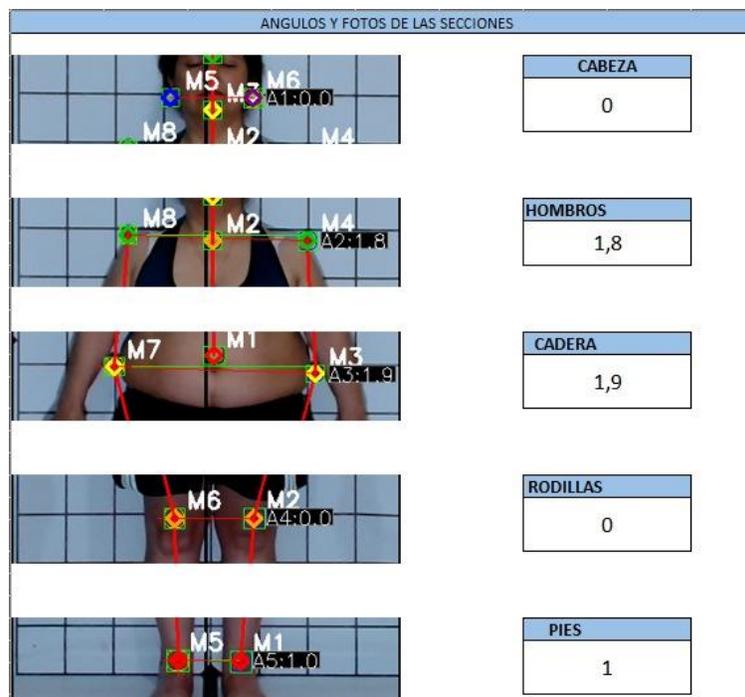


Tabla 8

Distancias en el eje x y en el eje y para la evaluación postural del paciente No. 2

MARCADOR	PLANO 1_VER		PLANO 1_NAR		PLANO 2_DER		PLANO 3_IZQ	
	XP	YP	XP	YP	XP	YP	XP	YP
1	39,2±1,1	93,5±0,4	33,35±0,6	9,7±1,7	39,95±1,3	5,85±1,1	38,8±0	4,05±1,8
2	38,8±0,3	127,4±0,7	30,7±0,8	44,45±0,8	38,35±0,6	43,5±0,3	38,45±0,8	42,4±0
3	39,3±1	135,6±0,3	18,05±0,6	90,3±0,1	34,7±2,3	78,85±1,2	38,6±3,3	76,9±0,1
4	39,75±1,6	147,05±1,3	19,65±0,6	127,3±0,6	33±2,7	91,45±1,5	39,85±2,1	89,7±0,1
5	47,95±0,9	138,25±0,8	46,25±0,8	9,7±2	40,85±2,9	131,85±0,8	35,6±0,3	132,5±0,7
6	31,2±1,1	138,15±0,6	46,8±0,7	44,25±1,1	37,9±1	141,05±0,2	38,25±0,5	140,95±0,6
7			59,6±1,3	91,25±0,6				
8			56,85±1,3	128,15±0,4				

Figura 39

Ángulos para la evaluación postural del paciente No. 3.



Tabla 9

Distancias en el eje x y en el eje y para la evaluación postural del paciente No. 3

MARCADOR	PLANO 1_VER		PLANO 1_NAR		PLANO 2_DER		PLANO 3_IZQ	
	XP	YP	XP	YP	XP	YP	XP	YP
1	39.25±0.4	102.2	27.6	8.1	40.5	3.2	37.4	2.7
2	39.75±1.6	140.1	29.7	49.1	41.0	44.9	36.9	45.6
3	39.85±1.8	149.6	23.3	104.7	39.7	91.8	36.6	90.8
4	40±2.3	164.2	19.0	140.5	36.8	105.9	38.2	105.3
5	47.95±0.4	153.7	54.6	7.2	40.6	145.5	38.2	147.1
6	31.2±1.1	155.2	50.1	48.3	39.9	156.9	37.8	158.3
7			56.7	105.2				
8			60.8	140.3				

Figura 40

Ángulos para la evaluación postural del paciente No. 5.



Tabla 10

Distancias en el eje x y en el eje y para la evaluación postural del paciente No. 5

MARCADOR	PLANO 1_VER		PLANO 1_NAR		PLANO 2_DER		PLANO 3_IZQ	
	XP	YP	XP	YP	XP	YP	XP	YP
1	39,5±0,7	105,8±0	29,7±0	10±0	44,75±1,9	6,4±0,3	39,75±1,6	4,7±1,6
2	40,75±0,2	137±0,1	29,9±0	48,2±0,3	41,9±1,8	48,9±0,1	41,2±0,8	48,4±0,6
3	40,05±1,5	148,8±0,3	22,95±0,5	102,9±0,1	34,6±0,8	87,2±0,8	45,9±2,3	87,45±1,5
4	39,7±1,3	161,8±0,3	18,35±0,5	137,6±0,1	35,5±1,1	102,9±0,4	47,15±0,8	103,1±0,4
5	48,95±0,5	150±0,1	50,2±0	10,1±0,1	43,5±2,1	143,3±0,3	42,6±1,1	142,1±0,7
6	32,4±0,3	149,7±0	48,3±0,1	48,6±0,3	37,75±0,5	152,35±0,2	42,2±0	151,5±0,1
7			55,8±0,1	102,6±0				
8			60,85±0,5	136,7±0,3				

Los resultados de las desviaciones estándar obtenidas para las distancias de las evaluaciones posturales en todos los casos indican que no hubo variaciones significativas entre los datos, lo cual indica que el programa cumple con el principio de repetibilidad, es decir que la evaluación se puede repetir muchas veces sin presentar cambios significativos en los resultados.

La variabilidad postural sugiere una mayor variabilidad en la posición de los marcadores. Esto podría indicar inestabilidad en la postura del paciente en determinadas zonas, lo que podría requerir una evaluación más exhaustiva para comprender los motivos de estas desviaciones.

Las asimetrías posturales podrían ser indicadas por diferencias significativas en las desviaciones estándar entre distintos marcadores o planos. En el mismo plano, por ejemplo, si un marcador presenta una desviación estándar significativa más que otros, esto podría indicar una asimetría en ese segmento del cuerpo.

3. Conclusiones

Se determinaron los criterios de diseño como herramientas a utilizar, disposición del escenario, definición de planos de estudio (lateral y frontal), se definieron los 26 marcadores que indican los principales puntos anatómicos para la evaluación postural estática y las bases necesarias para crear el software, todo fue verificado y aprobado por el profesional de apoyo en fisioterapia.

Se diseñó la interfaz gráfica mediante procesamiento de imágenes utilizando visión artificial, la cual fue validada mediante pruebas preliminares en tres posiciones de marcadores, análisis estadístico definido por promedio y desviación estándar y el cálculo del error absoluto y porcentual, obteniendo una herramienta de apoyo en el diagnóstico de evaluaciones posturales estáticas.

Finalmente, se implementó el sistema de visión con el cual se genera la evaluación postural estática y se comprobó el correcto funcionamiento del dispositivo por medio de resultados obtenidos experimentalmente, aprobados y certificados por el profesional en fisioterapia.

4. Recomendaciones

En esta sección se presentan las recomendaciones basadas en los hallazgos realizados en la investigación, con el fin de orientar futuras investigaciones y a personas interesadas en el tema, para el avance continuo del tema de estudio.

Se recomienda el uso mínimo de ropa, para hombres el uso de pantaloneta y para mujeres pantaloneta y top, el color debe ser diferente al color de los marcadores que se están usando.

Ambiente controlado, la iluminación debe ser adecuada para que el sistema pueda reconocer de manera fácil los marcadores, si el lugar está muy oscuro apoyarse de lámparas led pero que esta no esté dirigida directamente hacia el paciente.

La población de personas a las que se puede realizar la evaluación postural comprende edades entre 14 y 90 años, y estaturas en el rango de 150 cm y 190 cm.

El color de los marcadores es factor importante ya que deben ser de color neón, con el objetivo que sobresalgan entre el color de piel de la persona y la ropa del paciente para facilitar el reconocimiento del sistema.

La morfología de las personas es un limitante del sistema, ya que la diversidad de texturas que presentan las personas hace que la ubicación de los marcadores se dificulte, en personas con obesidad, se complica la localización de sus prominencias óseas o puntos de referencia que tiene el profesional en la salud para la realización de la evaluación postural.

Referencias bibliográficas

- Abarca, Y. M. (2019). *Obtención automática de parámetros posturales mediante el procesamiento digital de imágenes fotográficas*. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17175/1/UPS-CT008207.pdf>
- Bahit, E. (2017). *Curso: Python para Principiantes*. Retrieved from <http://www.iaa.es/python/curso-python-para-principiantes.pdf>
- Bricot, B. (2008). Postura normal y posturas patológicas. *Revista IPP*, 1–13. Retrieved from <http://www.montsepladevall.cat/estudi/pdf/posturaNormalPosturaPatologica.pdf>
- Cando, D. A., y Gaibor, J. A. (2017). Diseño e implementación de un sistema autónomo basado en visión artificial para la evaluación ergonómica de posturas aplicando el método RULA. Retrieved from <http://dspace.esoach.edu.ec/handle/123456789/9343>
- Duque, R. G. (2018). *Python para todos*. Madrid, España. Retrieved from <http://mundogeek.net/tutorial-python/>
- Espasa, M. (2013). Higiene postural y su repercusión en la prevención de problemas de espalda en la Infancia, 1–58.
- Estévez, A. G., Martínez, R., Rodríguez, J., y Portillo, O. (2017). Sistema electrónico para reeducación postural estática en tiempo real. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomedica*, 38(1), 390–401. <https://doi.org/10.17488/RMIB.38.1.35>
- Garzón, D., & Diego, J. (2014). Uso Del Sensor Kinect Para La Estimación Del Error Cometido Al Emplear El Método Owas De Evaluación Postural. *XVIII Congreso Internacional de Gestión de Proyectos e Ingeniería*, (July), 16–18.

- Gómez, M., Callejón, Á. J., Pérez, J., Díaz, M., y Carrillo, J. A. (2020). *Musculoskeletal risks: RULA bibliometric review. International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 17). <https://doi.org/10.3390/ijerph17124354>
- Heredia, C., Huapaya, C., y Gomero, R. (2018). INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. Postural evaluation and presence of osteo-muscular pain in workers of a mother-child clinic in the city of Lima. *Rev Med Hered*, 29, 17–21.
- Jarrin, J. (2019). *Sistema de detección del ángulo articular en los movimientos de miembro superior para evaluación en fisioterapia mediante visión artificial*. [Tesis de pregrado]. Journal of Chemical Information and Modeling. UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE. Retrieved from <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10295>
- Javaid, M., y Haleem, A. (2020). Impact of industry 4.0 to create advancements in orthopaedics. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 11, S491–S499. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2020.03.006>
- Kapandji, A. . (2011). *Fisiología Articular* (5th ed.). Chile.
- Kim, Y. M., Son, Y., Kim, W., Jin, B., y Yun, M. H. (2018). Classification of children's sitting postures using machine learning algorithms. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/app8081280>
- Klishkovskaia, T., Aksenov, A., Sinitca, A., Zamansky, A., Markelov, O. A., y Kaplun, D. (2020). Development of classification algorithms for the detection of postures using non-marker-based motion capture systems. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/app10114028>

- Lowe, B. D., Dempsey, P. G., y Jones, E. M. (2019). Ergonomics assessment methods used by ergonomics professionals. *Applied Ergonomics*, 81(June), 102882. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102882>
- Naranjo, D., Reina, J., y Roa, L. M. (2020). Sensor technologies to manage the physiological traits of chronic pain: A review. *Sensors (Switzerland)*, 20(2). <https://doi.org/10.3390/s20020365>
- Padilla, B., y Ramiro, B. (2018). *Despolarización miofascial con técnica de Cupping aplicado a trabajadores con lumbalgia mecánica*. Universidad Católica de Santiago de Chile.
- Peterson, F., Kendall, E., Geise, P., McIntyre, M., y Anthony, W. (2007). *Kendall's Músculos. Pruebas funcionales postura y dolor*. Marban (5th ed.). Madrid, España.
- Sac, M. P. (2013). Plan de higiene postural y tratamiento fisioterapéutico en dolor cervical y lumbar. *Universidad Rafael Landívar Facultad de Ciencias de La Salud Campus de Quetzaltenango*, 1–133. Retrieved from <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2013/09/01/Sac-Maria.pdf>
- Secretaría de Salud Laboral de CCOO de Madrid. (2016). Métodos de evaluación ergonómica. *Comisiones Obreras de Madrid, 1ra edición*, 1–70.
- Wang, J., y Huang, A. (2021). Image recognition of martial arts movements based on FPGA and image processing. *Microprocessors and Microsystems*, 80(October 2020), 103536. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103536>
- Wu, Z., Zhang, J., Chen, K., y Fu, C. (2019). Yoga posture recognition and quantitative evaluation with wearable sensors based on two-stage classifier and prior bayesian network. *Sensors (Switzerland)*, 19(23), 1–19. <https://doi.org/10.3390/s19235129>

Zeas, C., Diego, J., Méndez, P., Xavier, E., Luis, I., y Andrade, J. S. (2018). Diseño y construcción de un sistema inteligente para la detección de malas posturas sobre la columna vertebral al sentarse, 148. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16205/1/UPS-CT007865.pdf>

Anexos

Anexo A. Puntos de referencia para ubicar marcadores

Vista anterior (plano frontal)		Vista posterior (plano frontal)		Vista lateral derecha	
punto	Ubicación	punto	Ubicación	punto	Ubicación
F1	Entrecejo	P1	Apófisis espinosa de la 7ma vértebra cervical	L1	Oído
F2	Mentón	P2	Apófisis espinosa de la 75a 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	Ombliigo	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				

Fuente: Tomado de Abarca Reyes (2019)

Anexo B. Validación del software

The screenshot displays an Excel spreadsheet with the following sections and data:

- POSICION C:** A table with columns for 'No. MANEJO', 'REP1', 'REP2', 'REP3', 'PRGM', and 'DS'. It contains data for positions 1 through 8.
- POSICION A:** A table with columns for 'No. MANEJO', 'REP1', 'REP2', 'REP3', 'PRGM', 'DS', 'X', 'Y', 'X2', 'Y2', 'X3', 'Y3', 'X4', 'Y4'. It contains data for positions 1 through 8.
- ÁNGULOS:** A table with columns for 'No. MANEJO', 'POSICIÓN', 'REP1', 'REP2', 'REP3', 'PRGM', 'DS', 'REP4', 'REP5', 'REP6', 'PRGM2', 'DS2'. It contains data for positions 1 through 8.
- DISTANCIAS (CM):** A table with columns for 'No. MANEJO', 'XPM', 'YPM', 'XPA', 'YPA', 'XPB', 'YPB', 'XPC', 'YPC', 'XPD', 'YPD'. It contains data for positions 1 through 8.
- ERROR:** A table with columns for 'No. MANEJO', 'POSICION A', 'POSICION B', 'POSICION C', 'X', 'Y', 'X2', 'Y2', 'X3', 'Y3', 'X4', 'Y4'. It contains data for positions 1 through 8.
- RESUMEN:** A summary table with columns for 'No. MANEJO', 'POSICION A', 'POSICION B', 'POSICION C', 'X', 'Y', 'X2', 'Y2', 'X3', 'Y3', 'X4', 'Y4'. It contains data for positions 1 through 8.

La validación completa se anexa en un documento Excel llamado “ANEXO B. VALIDACIÓN”.

Anexo D. Resultados de las evaluaciones posturales estáticas

FECHA:	26/10/23
NOMBRE:	ALVARO CHAMORRO_EV_4
EDAD:	56
SEXO:	MASCULINO
PESO:	60 Kg
LATERALIDAD:	DRECHO

DATOS DE MARCADORES POSICION EN PLANO x-y (CM Y ANGULOS °)										
No. MARCADOR	PLANO 1 FRONTAL				PLANO 2 DER		PLANO 3 IZQ			
	VERDE		NARANJA		VERDE		VERDE			
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	39	105,8	29,7	10	38,1	5,8	40,9		3,6	
2	40,6	136,9	29,9	48	34,9	48,8	41,8		48	
3	39	148,6	22,6	102,8	29	87,8	47,5		88,5	
4	38,8	161,6	1,8	137,5	28,1	102,6	47,7		103,4	
5	48,6	149,9	50,2	10	36,8	143,3	43,4		141,6	
6	32,2	149,7	48,2	48,4	33,8	151,6	42,2		151,6	
7			55,7	102,6						
8			60,5	136,5						

No. ANGULO	PLANO 1 FRONTAL	
1	CABEZA	0,8
2	HOMBROS	-1,5
3	CADERA	-0,4
4	RODILLA	1,4
5	PIES	0

ALINEACION CORPORAL	
PLANO 2 DER	PLANO 3 IZQ
ALINEACION CORPORAL	ALINEACION CORPORAL
-1,6	0,5

ANGULOS Y FOTOS DE LAS SECCIONES



CABEZA
0,8



HOMBROS
-1,5



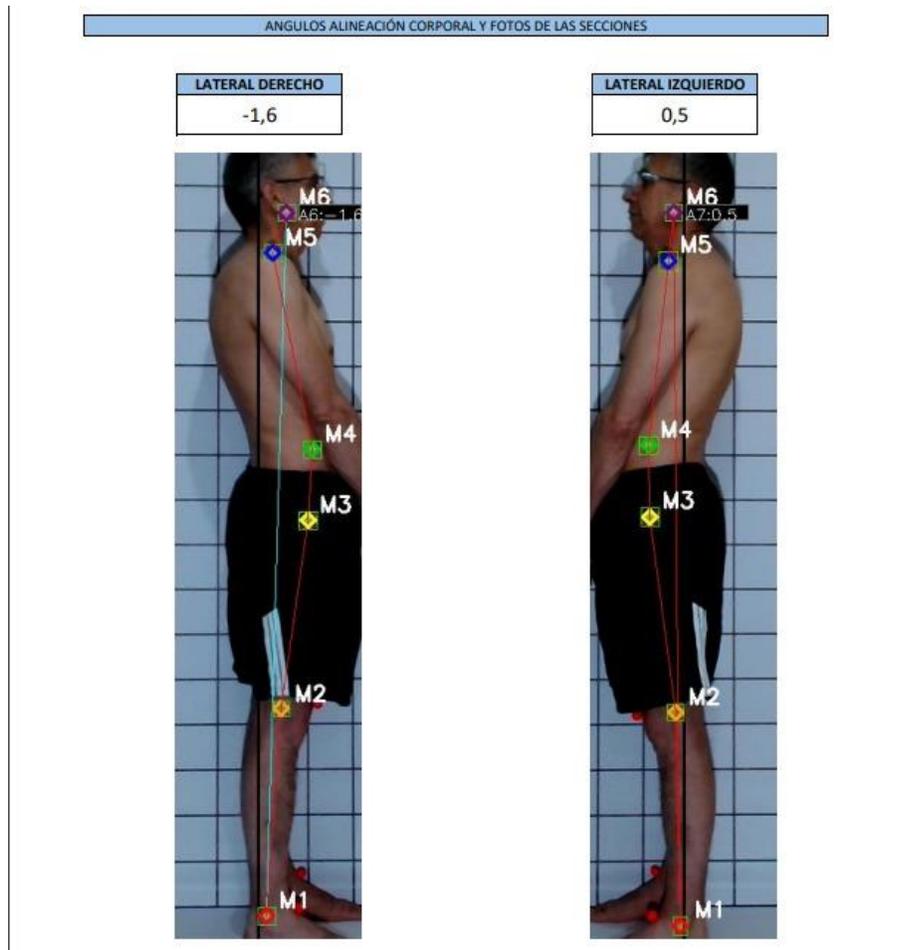
CADERA
-0,4



RODILLAS
1,4



PIES
0



Los anexos de los resultados para todos los pacientes se presentan en el documento Excel nombrado "ANEXO D. RESULTADOS PACIENTES".

Anexo E. Certificación del fisioterapeuta

CERTIFICADO

A quien responda:

Yo, Nathalia Basante Torres identificada con cedula de ciudadanía No. 1.085.313.130 en calidad de coasesora y docente del programa de fisioterapia de la Universidad Mariana, certifico que los estudiantes del programa de Ingeniería Mecatrónica Jhonny Fernando Espitia Luna identificado con cedula de ciudadanía No. 1.016.053.999 y Edison Alexander Salazar Melo identificado con cedula de ciudadanía No. 1.088.738.788, realizaron las pruebas de funcionamiento de su trabajo de grado titulado **SISTEMA DE VISIÓN ENFOCADO EN LA AYUDA A FISIOTERAPEUTAS PARA EL DIAGNÓSTICO EN LA EVALUACIÓN POSTURAL ESTÁTICA EN DOS PLANOS**, cuyo resultado fue satisfactorio arrojando resultados coherentes con el concepto fisioterapéutico.

En constancia de lo anterior se firma en la ciudad de Pasto (Nariño), a los 5 días del mes de noviembre del año 2023.

Atentamente:

Nathalia Basante T.

NATHALIA BASANTE TORRES
Fisioterapeuta Especialista en Entrenamiento Deportivo

Anexo F. Código completo

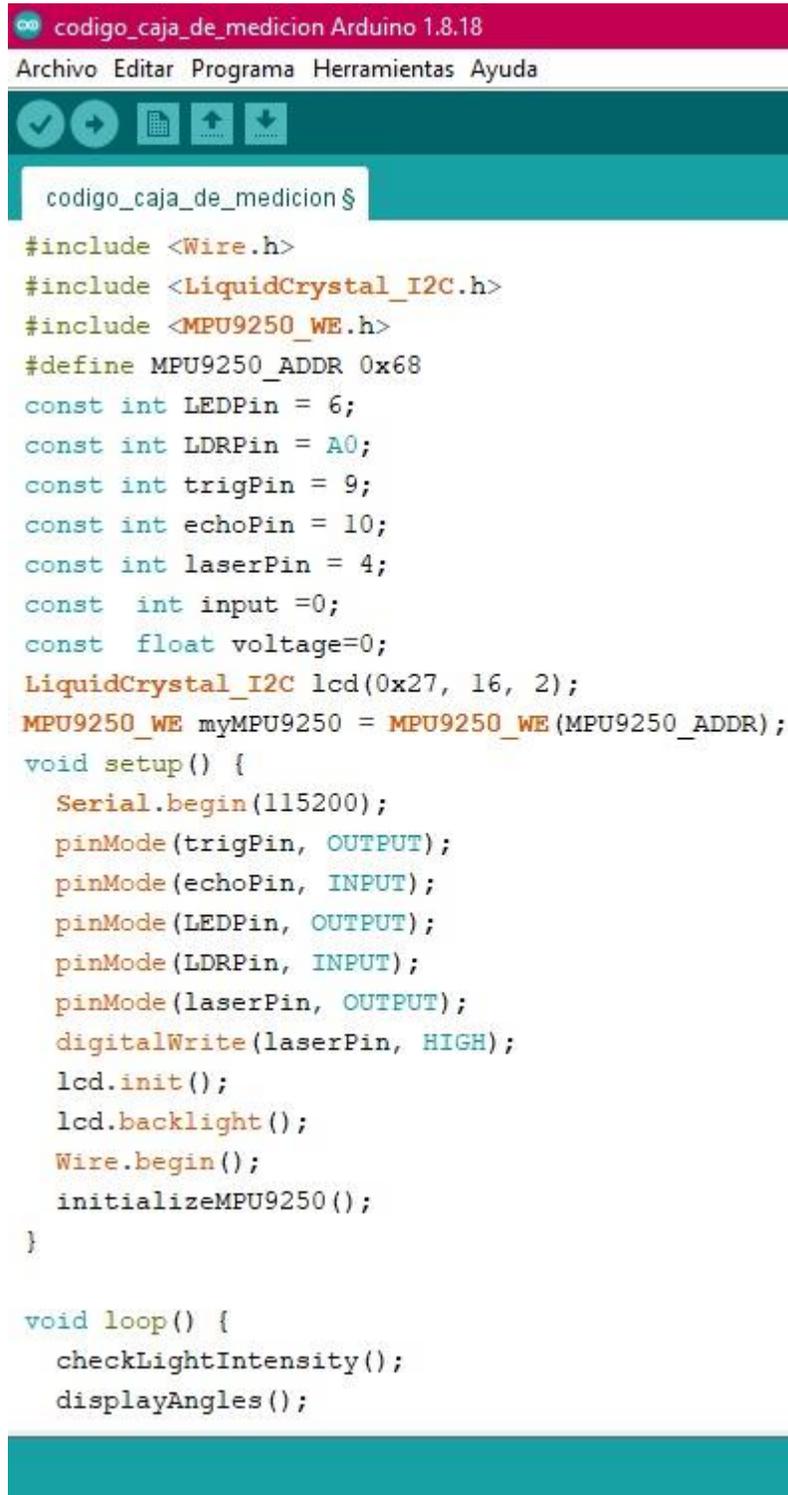
```

590     roi = frame[min(y,y1,y2,y3):max( y,y1,y2,y3), min( x,x1,x2,x3):max(x,x1,x2,x3)]
591     # Dibujar un rectángulo alrededor de la ROI en el fotograma original
592     cv2.rectangle(frame, (x, y), (x1,y3), (0, 0, 0), 3)
593     cv2.rectangle(frame,(0, 0),(400,900), (0, 0, 0), -1)
594     cv2.rectangle(frame,(0, 0),(400,900), (128, 128, 128), 5)
595     cv2.putText(frame,"MARCADORES",(30,40), cv2.FONT_HERSHEY_PLAIN, 2,(255,255,255),1)
596     # frame[min(y,y1,y2,y3):max( y,y1,y2,y3), min( x,x1,x2,x3):max(x,x1,x2,x3)] = roi0
597     width=x1-x
598     height=y2-y
599     relacion_px_cm_Y= round(height/192,2)
600     relacion_px_cm_X= round(width/80,2)
601     roi0=roi.copy()
602     #lienzo= np.zeros(roi.shape,dtype=np.uint8)#creo un lienzo de taño de roi lleno de ceros
603     dst=roi
604     cv2.line(dst,(width//2,0),(width//2,900),(0, 0, 0),2)
605     #print('y',y,'y1',y1,'y2',y2,'y3',y3)
606     #print('x',x,'x1',x1,'x2',x2,'x3',x3)
607     #cv2.imshow('ROI',roi0)
608     #print('tamaño de ROI1',roi.shape)
609     dst0=dst.copy()
610     dst1=dst.copy()
611     dst2=dst.copy()
612     dst3=dst.copy()
613     dst4=dst.copy()
614     dst_excel=dst.copy()
615     frameHSV = cv2.cvtColor(dst4, cv2.COLOR_BGR2HSV)
616     frameHSV0 = cv2.cvtColor(dst0, cv2.COLOR_BGR2HSV)
617     frameHSV1 = cv2.cvtColor(dst1, cv2.COLOR_BGR2HSV)
618     frameHSV2=cv2.cvtColor(dst3, cv2.COLOR_BGR2HSV)
619
620     maskAmarilla = cv2.inRange(frameHSV2,AmarilloBajo, AmarilloAlto)
621     maskAmarilla = cv2.erode(maskAmarilla,None,iterations = 1)
622     maskAmarilla = cv2.dilate(maskAmarilla,None,iterations = 5)
623     maskAmarilla = cv2.medianBlur(maskAmarilla, 7)
624
625     maskVerde = cv2.inRange(frameHSV1,verdeBajo, verdeAlto)
626     maskVerde = cv2.erode(maskVerde,None,iterations = 1)
627     maskVerde = cv2.dilate(maskVerde,None,iterations = 5)
628     maskVerde = cv2.medianBlur(maskVerde, 7)
629
630     maskNaranja = cv2.inRange(frameHSV0, orangeBajo, orangeAlto)
631     maskNaranja = cv2.erode(maskNaranja,None,iterations = 1)
632     maskNaranja = cv2.dilate(maskNaranja,None,iterations = 5)
633     maskNaranja = cv2.medianBlur(maskNaranja, 7)
634
635     maskCeleste = cv2.inRange(frameHSV, celesteBajo, celesteAlto)
636     maskCeleste = cv2.erode(maskCeleste,None,iterations = 1)#borrar
637     maskCeleste = cv2.dilate(maskCeleste,None,iterations = 5)#aumentar
638     maskCeleste = cv2.medianBlur(maskCeleste, 7)

```

El código completo se adjuntó en un documento denominado “Anexo F. Código completo.py”.

Anexo G. Código caja de calibración



```
codigo_caja_de_medicion Arduino 1.8.18
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
codigo_caja_de_medicion $
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <MPU9250_WE.h>
#define MPU9250_ADDR 0x68
const int LEDPin = 6;
const int LDRPin = A0;
const int trigPin = 9;
const int echoPin = 10;
const int laserPin = 4;
const int input =0;
const float voltage=0;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
MPU9250_WE myMPU9250 = MPU9250_WE (MPU9250_ADDR);
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  pinMode(LEDPin, OUTPUT);
  pinMode(LDRPin, INPUT);
  pinMode(laserPin, OUTPUT);
  digitalWrite(laserPin, HIGH);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  Wire.begin();
  initializeMPU9250();
}

void loop() {
  checkLightIntensity();
  displayAngles();
}
```

```
    }
}
void initializeMPU9250() {
  if (!myMPU9250.init()) {
    Serial.println("MPU9250 does not respond");
  } else {
    Serial.println("MPU9250 is connected");
  }
  Serial.println("Position your MPU9250 flat and don't move it - calibrating...");
  delay(1000);
  myMPU9250.autoOffsets();
  Serial.println("Done!");
  myMPU9250.setAccRange(MPU9250_ACC_RANGE_2G);
  //myMPU9250.enableAccDLPF(true);
  myMPU9250.setAccDLPF(MPU9250_DLPF_6);
}
void checkLightIntensity() {

  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  long duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  float distance = duration * 0.0343 / 2;
  int input = analogRead(LDRPin);
  float voltage = map(input, 0, 1023, 0, 5000) / 1000.0; // Convertir a voltaje en mV
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("DIST-cm");
```

```
lcd.setCursor(9, 0);
lcd.print("LDR-mv");
lcd.setCursor(1, 1);
lcd.print(distance, 1);
lcd.setCursor(9, 1);
lcd.print(voltage, 2);
delay(1000);
lcd.clear();
if (voltage > 1.4 and voltage < 1.8) {
  //analogWrite(LEDpin, 128);
  for (int i = 0; i < 10; i++) { // Parpadea 10 veces rápidamente
    analogWrite(LEDpin, 255);
    delay(100); // Encendido
    analogWrite(LEDpin, 128);
    delay(100); // Apagado
    analogWrite(LEDpin, 0);
  }
}
else {
  digitalWrite(LEDpin, LOW);
}

Serial.println("Voltaje (V): ");
Serial.print(voltage, 1);
Serial.println("DISTANCIA");
Serial.print(distance);
}

void displayAngles() {
  xyzFloat angles = myMPU9250.getAngles();
```

```
float pitch = myMPU9250.getPitch();
float roll  = myMPU9250.getRoll();

Serial.print("Pitch  = ");
Serial.print(pitch,1);
Serial.print(" | Roll  = ");
Serial.println(roll,1);

lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("AngX");
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print("AngY");
lcd.setCursor(12, 0);
lcd.print("AngZ");

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(angles.x, 1);
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print(roll, 1);
lcd.setCursor(12, 1);
lcd.print(angles.z, 1);

delay(1000);
}

void displayOrientation() {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("ORIENTACION XYZ");
  lcd.setCursor(5, 1);
  lcd.print(myMPU9250.getOrientationAsString());

  delay(2000);
```