



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA PROTOTIPO BASADO EN
VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN Y ALERTA DE
POSTURAS FORZADAS A NIVEL DEL TRONCO EN LOS
PUESTOS DE TRABAJO DE CAJERAS EN LOS
SUPERMERCADOS”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES:

MANUEL ALEXANDER VILLACÍS HIDALGO

FABIAN MAURICIO TIBANLOMBO BAYAS

Riobamba-Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA PROTOTIPO BASADO EN
VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN Y ALERTA DE
POSTURAS FORZADAS A NIVEL DEL TRONCO EN LOS
PUESTOS DE TRABAJO DE CAJERAS EN LOS
SUPERMERCADOS”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES: MANUEL ALEXANDER VILLACÍS HIDALGO

FABIAN MAURICIO TIBANLOMBO BAYAS

DIRECTOR: Ing. EDUARDO FRANCISCO GARCÍA CABEZAS

Riobamba-Ecuador

2022

©2022, Manuel Alexander Villacís Hidalgo & Fabian Mauricio Tibanlombo Bayas

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Manuel Alexander Villacís Hidalgo y Fabian Mauricio Tibanlombo Bayas, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 04 de agosto de 2022



Manuel Alexander Villacís Hidalgo

Cédula de identidad: 180552332-9



Fabian Mauricio Tibanlombo Bayas

Cédula de identidad: 220038774-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Propuesta Tecnológica, “**DESARROLLO DE UN SISTEMA PROTOTIPO BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA DETECCIÓN Y ALERTA DE POSTURAS FORZADAS A NIVEL DEL TRONCO EN LOS PUESTOS DE TRABAJO DE CAJERAS EN LOS SUPERMERCADOS**”, realizado por los señores: **MANUEL ALEXANDER VILLACÍS HIDALGO Y FABIAN MAURICIO TIBANLOMBO BAYAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marcelo Esteban Calispa Aguilar PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2022-08-04
Ing. Eduardo Francisco García Cabezas DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 _____	2022-08-04
Ing. Juan Carlos Cayán Martínez MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 _____	2022-08-04

DEDICATORIA

El presente trabajo se la dedico a todos mis seres queridos especialmente a mi madre quien siempre ha estado conmigo brindándome su apoyo incondicional y motivándome a enfrentar las dificultades de la vida, a mis amigos, a los maestros y a todos quienes me han ayudado a cumplir un objetivo más en la vida.

Fabian

El presente trabajo se lo dedico a mis padres Ramiro Villacís y Sara Hidalgo por haberme forjado con valores y principios los cuales me han servido para convertirme en un hombre de bien. A mi hijo Yael Villacis quien ha sido la principal motivación y fortaleza para salir adelante en mis estudios y poder lograr todas las metas soñadas. A mi esposa Mercy Chicaiza por haberme acompañado durante los momentos más turbulentos de mi vida y a lo largo de la carrera

Manuel

AGRADECIMIENTO

A mis padres y mi familia por brindarme su apoyo incondicional y por la paciencia que tuvieron conmigo mientras lograba esta travesía.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y los docentes quienes son los responsables de nuestra formación para contribuir al desarrollo de la sociedad que nos vio crecer siendo un símbolo de admiración y superación para todas las personas.

Fabian

A toda mi familia en especial a mis padres por el apoyo incondicional que me brindaron en esta etapa de mi vida.

A mi profesor y tutor Ing. Eduardo García Cabezas por compartir sus conocimientos y experiencia para el desarrollo de esta tesis.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas y ser parte de tan gloriosa Universidad.

Manuel

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes.....	2
Planteamiento y análisis del problema.....	3
Justificación.....	4
Objetivos... ..	5
<i>Objetivo General</i>	5
<i>Objetivos Específicos</i>	5
Alcance.....	5
1. MARCO TEÓRICO	6
1.1. Estado actual del Arte	6
1.2. Tronco Humano	6
1.2.1. <i>Dorso</i>	7
1.2.1.1. <i>Columna Vertebral</i>	7
1.2.2. <i>Tórax</i>	7
1.2.3. <i>El Abdomen</i>	8
1.2.4. <i>La Pelvis</i>	8
1.2.5. <i>Espalda</i>	8
1.3. Postura	9
1.3.1. <i>Postura de pie</i>	9
1.3.2. <i>Postura sentada</i>	9
1.3.3. <i>Postura Forzada</i>	10
1.4. Ergonomía	10
1.4.1. <i>Evaluación del tronco mediante la Norma NTE INEN-ISO 11226</i>	11
1.4.1.1. <i>Postura del Tronco</i>	11
1.5. Visión Artificial	15

1.6.	Lenguajes de programación para visión artificial.....	16
<i>1.6.1.</i>	<i>Java.....</i>	<i>16</i>
<i>1.6.1.1.</i>	<i>JavaVis.....</i>	<i>16</i>
1.6.2.	Matlab.....	16
<i>1.6.2.1.</i>	<i>Computer Vision Toolbox.....</i>	<i>17</i>
1.6.3.	Python.....	17
<i>1.6.3.1.</i>	<i>OpenCv.....</i>	<i>17</i>
1.7.	Entornos Virtuales.....	17
1.8.	Sockets.....	18
1.9.	Etapas en un proceso de visión artificial.....	18
<i>1.9.1.</i>	<i>Cámara.....</i>	<i>19</i>
<i>1.9.2.</i>	<i>Iluminación.....</i>	<i>20</i>
1.10.	Operaciones básicas en el manejo de imágenes.....	20
<i>1.10.1.</i>	<i>Inversión.....</i>	<i>20</i>
<i>1.10.2.</i>	<i>Adición y sustracción.....</i>	<i>20</i>
<i>1.10.3.</i>	<i>Producto o división por una constante.....</i>	<i>20</i>
1.11.	Sensores Inerciales STT-IWS IMU.....	21
<i>1.11.1.</i>	<i>Características sensor STT-IWS.....</i>	<i>21</i>
<i>1.11.2.</i>	<i>Especificaciones técnicas sensor STT-IWS.....</i>	<i>23</i>
1.12.	Software iSen.....	24
2.	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	25
2.1.	Diseño.....	25
2.2.	Requerimientos de diseño.....	26
<i>2.2.1.</i>	<i>Sistema de identificación de una postura inadecuada.....</i>	<i>26</i>
<i>2.2.1.1.</i>	<i>Requisitos de la Cámara.....</i>	<i>26</i>
<i>2.2.1.2.</i>	<i>Requisitos del Ordenador.....</i>	<i>26</i>
<i>2.2.1.3.</i>	<i>Sistema de codificación.....</i>	<i>26</i>
<i>2.2.2.</i>	<i>Sistema de alerta.....</i>	<i>27</i>
2.3.	Etapas para la construcción del prototipo.....	27
<i>2.3.1.</i>	<i>Hardware.....</i>	<i>27</i>
<i>2.3.1.1.</i>	<i>Cámara.....</i>	<i>28</i>
<i>2.3.1.2.</i>	<i>Ordenador.....</i>	<i>29</i>
<i>2.3.1.3.</i>	<i>Modulo ESP32.....</i>	<i>29</i>
<i>2.3.1.4.</i>	<i>Power Bank.....</i>	<i>30</i>
<i>2.3.1.5.</i>	<i>Micro motor vibrador.....</i>	<i>31</i>

2.3.1.6.	<i>Transistor 2n2222 (PN2222)</i>	32
2.3.1.7.	<i>Corrector de postura</i>	33
2.3.2.	<i>Softwares</i>	33
2.3.2.1.	<i>Python</i>	33
2.3.2.2.	<i>Sublime Text</i>	33
2.3.2.3.	<i>Qt Designer</i>	34
2.3.2.4.	<i>Arduino</i>	34
2.3.3.	<i>Codificación del Algoritmo</i>	34
2.3.3.1.	<i>Instalación de Softwares</i>	34
2.3.3.2.	<i>Espacio de Trabajo en el ordenador</i>	35
2.3.3.3.	<i>Librerías para trabajar con visión artificial</i>	35
2.3.3.4.	<i>Desarrollo del algoritmo</i>	38
2.3.4.	<i>Construcción del Sistema de Alerta</i>	54
2.3.4.1.	<i>Pasos para la construcción</i>	54
2.3.4.2.	<i>Configuración IDE de Arduino para programar el MCU ESP32.</i>	56
2.3.4.3.	<i>Codificación ESP32</i>	58
2.3.4.4.	<i>Comunicación Ordenador- Python -ESP32</i>	59
2.3.5.	<i>Interfaz con el usuario</i>	60
2.3.5.1.	<i>Menú Principal</i>	60
2.3.5.2.	<i>Menú Inicio</i>	61
2.4.	<i>Validación y Pruebas de Funcionamiento</i>	63
2.4.1.	<i>AutoCAD</i>	63
2.4.2.	<i>Sensores iSen STT-IWS</i>	74
3.	<i>GESTIÓN DEL PROYECTO</i>	87
3.1.	<i>Cronograma</i>	87
3.2.	<i>Recursos y materiales: humanos, equipos y financiamiento</i>	88
3.2.1.	<i>Presupuesto</i>	88
3.2.2.	<i>Talento Humano</i>	88
3.2.3.	<i>Recursos Materiales</i>	88
	CONCLUSIONES	90
	RECOMENDACIONES	91
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Evaluación postural del tronco	11
Tabla 2-2: Tiempo de Mantenimiento del paso 2	13
Tabla 3-2: Características de los Sensores Inerciales	23
Tabla 1-3: Ángulos del Prototipo vs AutoCAD.....	65
Tabla 2-3: Cálculo de Error Absoluto y Error Relativo.....	66
Tabla 3-3: Inclinación del Tronco en el Software iSen.....	75
Tabla 4-3: Preparación de los elementos del Prototipo.....	79
Tabla 1-4: Cronograma de actividades	87
Tabla 2-4: Presupuesto.....	88

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Diagrama de pantalla de Inicio.....	44
Gráfico 2-3: Diagrama de ventana de Inicio.....	46
Gráfico 3-3: Diagrama de determinación de postura inadecuada	49
Gráfico 4-3: Diagrama del ángulo formado entre 3 puntos	52
Gráfico 5-3: Diagrama de distancia entre 2 puntos.....	53
Gráfico 6-3: Diagrama de Almacenamiento de datos	54
Gráfico 7-3: Diagrama de funcionamiento del módulo ESP32	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Tronco Humano	6
Figura 2-2: Columna vertebral.....	7
Figura 3-2: Espalda.....	8
Figura 4-2: Postura de pie.....	9
Figura 5-2: Postura sentada	10
Figura 6-2: Persona en postura forzada de pie y sentada.....	10
Figura 7-2: Ejes de la simetría del tronco humano	12
Figura 8-2: Ángulo de inclinación del tronco.....	13
Figura 9-2: Condiciones de evaluación según la inclinación del tronco.....	14
Figura 10-2: Postura en la región lumbar convexa	15
Figura 11-2: Ángulo de cadera mostrado por el número 1	15
Figura 12-2: Etapas de un proceso de visión artificial.....	19
Figura 13-2: IMU STT-IWS	21
Figura 1-3: Diseño del prototipo.....	25
Figura 2-3: Cámara web Logitech BRIO.....	28
Figura 3-3: Ordenador portátil marca HP	29
Figura 4-3: Funciones del módulo ESP32	30
Figura 5-3: Power bank	31
Figura 6-3: Micro motor vibrador.....	32
Figura 7-3: Transistor 2n2222	32
Figura 8-3: JNTAR Corrector de postura de espalda superior para hombres y mujeres	33
Figura 9-3: Representación de los 33 puntos de MediaPipe pose	37
Figura 10-3: Recursos de Qt Designer.....	39
Figura 11-3: Creación del fondo de pantalla.....	40
Figura 12-3: Gui de la pantalla Principal.....	41
Figura 13-3: Configuración del QGroupBox.....	42
Figura 14-3: Aplicación GUI del menú de Inicio	43
Figura 15-3: Diseño del circuito del sistema de alerta.....	55
Figura 16-3: Sistema de alerta	55
Figura 17-3: Ventana Preferencias	56
Figura 18-3: Gestor de tarjetas.....	57
Figura 19-3: Selección de la Tarjeta ESP32	57
Figura 20-3: Configuración del nombre de red y contraseña	59
Figura 21-3: Conexión del dispositivo y su dirección IP.....	60

Figura 22-3: Ubicación de la dirección IP del ESP32	60
Figura 23-3: Menú principal	61
Figura 24-3: Menú Inicio	62
Figura 25-3: Ubicación del ángulo requerido para el análisis.	64
Figura 26-3: Prueba de simetría del Tronco Aceptable	67
Figura 27-3: Prueba de simetría del Tronco con baja tolerancia	68
Figura 28-3: Prueba de simetría del tronco con alta tolerancia.....	69
Figura 29-3: Persona en una postura natural.....	69
Figura 30-3: Inclinación del Tronco Aceptable	70
Figura 31-3: Inclinación del tronco Aceptable con tiempo de Permanencia	70
Figura 32-3: Inclinación del tronco No recomendado con tiempo de Permanencia	71
Figura 33-3: Inclinación del tronco No recomendado supera lo permisible.....	72
Figura 34-3: Persona en posición Sentada (1)	72
Figura 35-3: Persona en posición Sentada (2)	73
Figura 36-3: Persona con un ángulo de cadera pequeño (1).....	74
Figura 37-3: Persona con un ángulo de cadera pequeño (2).....	74
Figura 38-3: Software iSen y sensores Inerciales	75
Figura 39-3: Posición de los sensores y descripción	76
Figura 40-3: Inclinación del Tronco mediante software iSen.....	76
Figura 41-3: Inclinación del Tronco mediante Prototipo.....	77
Figura 42-3: Ubicación del Comercial Sandrita	78
Figura 43-3: Aplicación del sistema en el Comercial Sandrita (1)	81
Figura 44-3: Aplicación del sistema en el Comercial Sandrita (2)	82
Figura 45-3: Ubicación del supermercado Punto Rojo.....	84
Figura 46-3: Aplicación del sistema en el supermercado Punto Rojo (1)	84
Figura 47-3: Aplicación del sistema en el supermercado Punto Rojo (2)	85

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PASOS PARA LA CREACIÓN DEL ENTORNO VIRTUAL

ANEXO B: CODIFICACIÓN EN PYTHON EN LA ETAPA INICIAL

ANEXO C: PROTOTIPO DE VISIÓN ARTIFICIAL EN SU ETAPA INICIAL

ANEXO D: CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA

ANEXO E: CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ALERTA

ANEXO F: CODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE ALERTA - MÓDULO ESP32

ANEXO G: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

ANEXO H: APLICACIÓN DEL PROTOTIPO EN EL SUPERMERCADO

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se desarrolló un sistema prototipo basado en visión artificial con el fin de efectuar la detección y alerta de posturas forzadas a nivel del tronco en las personas que laboran de cajeras en los supermercados para lo cual, la detección se fundamenta en los parámetros establecidos por la norma NTE INEN-ISO 11226 de la postura del tronco cuya codificación se realizó en el software Python haciendo uso de las librerías OpenCv y MediaPipe Pose, para la alerta se construyó un circuito electrónico que tiene como base un módulo ESP32 que comunica Python con Arduino mediante el uso de sockets UDP y un micro motor vibrador que se activa cuando existe una postura forzada e incita al mismo a tomar acciones correctivas. Finalizado el prototipo se realizó la validación del mismo mediante el uso del software AutoCAD donde se obtuvo un error relativo del 0.2% considerando al ángulo de inclinación del tronco de AutoCAD como medición exacta y el valor obtenido por el prototipo como medición experimental, además se hizo uso de sensores inerciales STT-IWS en conjunto con el software iSen para evaluar la postura en el tronco del prototipo y el software mencionado, arrojando resultados confiables, luego se realizó las pruebas de funcionamiento en un supermercado donde la persona adoptó diferentes ángulos de inclinación del tronco lo cual en base a la norma especificada fueron recomendadas y no recomendadas, esto permitió mejorar de manera ergonómica el puesto de trabajo demostrando así la operatividad del prototipo. Se concluye que el prototipo tiene una aplicación muy amplia no solo a los cajeros de supermercado sino también a los puestos de trabajo que involucren posturas de trabajo estáticas y se recomienda en futuras investigaciones completar el estudio con la evaluación de todas las partes del cuerpo humano.

PALABRAS CLAVES: <VISIÓN ARTIFICIAL> <ERGONOMÍA> <POSTURA FORZADA> <PYTHON> <SENSORES INERCIALES (ISEN-STT)> <ENTORNOS VIRTUALES> <OPEN CV>.

2090-DBRA-UTP-2022



SUMMARY

In this degree research, a prototype system based on artificial vision was developed in order to detect and alert forced postures at the trunk level in people working as cashiers in supermarkets for which the detection is based on the parameters established by the standard NTE INEN-ISO 11226 of the trunk posture whose coding was developed in Python software using the OpenCv and MediaPipe Pose libraries, for the alert, an electronic circuit was built based on an ESP32 module that communicates Python with Arduino through the use of UDP sockets and a vibrating micro motor that is activated when there is a forced posture and incites it to take corrective actions. Once the prototype was completed, it was validated using AutoCAD software, where a relative error of 0.2% considering the trunk inclination angle of AutoCAD as the exact measurement and the value obtained by the prototype as the experimental measurement. In addition, STT-IWS inertial sensors were used in conjunction with the iSen software to evaluate the trunk posture of the prototype and the aforementioned software, yielding reliable results, Then the operation tests were performed in a supermarket where the person adopted different angles of inclination of the trunk based on the specified standard were recommended and not recommended, it allowed to improve ergonomically the workstation showing the operability of the prototype. It is concluded that the prototype has a very wide application not limited to supermarket cashiers but also to jobs involving static work postures and it is recommended in future research to complete the study with the evaluation of all parts of the human body.

KEYWORDS:<ARTIFICIAL VISION> <ERGONOMICS> <FORCED POSTURE>
<PYTHON> <INERTIAL SENSORS (ISEN-STT)> <VIRTUAL ENVIRONMENTS> <OPEN
CV>.



Mgs. Mónica Paulina Castillo Niama.

C.I. 060311780-5

INTRODUCCIÓN

Ergonómicamente una persona debe tener un lugar adecuado de trabajo y libre de riesgos que puedan afectar su salud, integridad, seguridad y bienestar. Una persona saludable puede desarrollar sus actividades de trabajo de manera adecuada y productiva.

Las malas posturas a nivel del tronco adquiridas por una persona durante tiempos prolongados al ejercer su profesión son la principal causa de molestias que se van presentando de manera periódica, estas son: inflamación, presencia de contracturas musculares, dolores de espalda, entre otras, éstas son persistentes en el tiempo y se debe tomar las medidas correctivas para evitar daños a la salud.

Actualmente la visión artificial como una herramienta tecnología ha incursionado en el mundo de la medicina, sus aplicaciones van desde, la detección de tumores hasta realizar acciones sin la presencia de un doctor, el ser humano ha sabido aprovechar esta tecnología para cuidar la posesión más valiosa que es su salud. La visión artificial combinada con la alta capacidad de los computadores ha logrado monitorear en tiempo real el cuerpo de una persona por medio de imágenes procesadas en alta resolución, en este caso el desarrollo de este proyecto tiene la finalidad de detectar malas posturas a nivel de tronco adquiridas de manera inconsciente.

El prototipo desarrollado en este proyecto se enfoca en el área de trabajo de las personas que laboran de cajeras en los supermercados, tomando en cuenta que la pandemia COVID-19 ha provocado que laboren jornadas extenuantes es diferentes posturas, por este motivo el prototipo se enfoca en reducir el riesgo de adquirir enfermedades profesionales y aumentar la productividad de los trabajadores conservando su salud.

Antecedentes

Vivimos en un mundo donde la tecnología y la medicina cada vez son más complementarias, un claro ejemplo de esto es la visión artificial o como otros autores la llaman visión por computadora. Dentro de sus logros más significativos de esta disciplina tecnológica en el campo de la medicina están: detección automática de patologías, conteo de elementos en imágenes microscópicas, la reconstrucción tridimensional y la realización de una cirugía sin la presencia de un doctor. (Sanabria S. y Archila D. 2011, p. 182)

Según (Mallare et al., 2017, p. 4), la valoración de la postura de una persona de manera precisa y fiable se logra mediante el uso de visión por computador, debido a que éstas poseen alta capacidad para procesar información por medio de imágenes que son captadas mediante el uso cámaras con una resolución adecuada, este método de evaluación postural considera muchos parámetros que dan como resultado mejores medidas antropométricas de la persona comparables a profesionales con mucha experiencia como son los fisioterapeutas.

Según (Cando & Gaibor, 2017), la evaluación ergonómica aplicando el método rula por medio de la visión artificial se lo puede realizar a través de una cámara con las características y requerimientos necesarios para una interpretación más versátil de los gráficos mediante el uso del lenguaje de programación para el desarrollo de los algoritmos que permiten una mejor evaluación de los movimientos. El uso de la cámara proporciona ventajas como el monitoreo en tiempo real sobre las condiciones de trabajo y la exposición a estos los riesgos ergonómicos de posturas inadecuadas que afectan la salud del trabajador. Al aplicar el uso de la visión artificial proporciona una mayor eficiencia haciéndolo más viable y factible este método para el estudio y control de los riesgos ergonómicos.

En el año 2018, se desarrolló un sistema de visión artificial para identificar, procesar y dar apoyo a la corrección de posturas que los participantes de fisiculturismo desarrollan inconscientemente durante sus actividades de entrenamiento, además mediante un algoritmo se logró la comparación del movimiento de la persona con patrones de ejercicios ya establecidos. (Martínez, 2018, p. 23)

En el mismo año (Cabrera & Pugo, 2018, p. 12), crearon un sistema embebido con las características de monitorear y alertar la posición de la espalda en las personas que durante periodos prolongados de tiempo trabajan en las áreas administrativas .

En la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA (Aguilar, 2020, p. 7), desarrolló un módulo donde permite establecer de manera adecuada la postura humana mediante el uso de la visión artificial, estima la postura de la persona en 3D a partir de una imagen RGB extraídas de la vida real usando un método basado en CNN (Convolutional neural network), a partir de ello monitorear los movimientos de un persona.

Las posturas inadecuadas que adquiere una persona de pie o sentado son causas de dolores en los músculos, tejidos, cápsulas articulares y ligamentos. Mediante estudios médicos y ergonómicos se ha revelado que estos dolores son síntomas de enfermedades crónicas como lumbago, síndrome de postura de la cabeza hacia adelante y disco cervical. (Grandjean y Hüting 1977)

Planteamiento y análisis del problema

En el Ecuador existen diferentes factores de riesgo en el trabajo, uno de estos poco tomados en cuenta son los puestos de cajeras presentes en los supermercados, debido a la labor que desempeñan frente a los ordenadores requieren mantener posturas estáticas de trabajo, esto constituye un nivel de riesgo elevado para el sistema músculo-esquelético de las personas.

El puesto de trabajo de cajera implica ejecutar movimientos repetitivos que se desarrollan en el tronco; las mismas que durante periodos prolongados pueden afectar la salud del trabajador.

Los problemas de la espalda en las cajeras de supermercados se hacen presentes de manera habitual y en la mayor parte de los trabajadores que laboran en este campo desconocen las causas de dichas afecciones, además de la falta de tecnología que permitan identificar de manera rápida y precisa la presencia de los riesgos ergonómicos en estos puestos de trabajo.

Hoy en día los supermercados son la actividad comercial que más ingresos tuvieron por la pandemia del coronavirus (COVID-19) debido a largas colas de personas esperando realizar sus compras, ha provocado que las personas que trabajan en estos puestos de trabajo no dispongan de tiempo para realizar pausas activas, teniendo en cuenta que a estos puestos de trabajo no se les aplica un estudio ergonómico adecuado.

Justificación

La creciente población en el mundo ha generado una gran exigencia de alimentos y los supermercados están destinados a cubrir dicha necesidad, los trabajadores destinados a cumplir con este campo laboral son indispensables debido a las funciones que desempeñan, como en todo trabajo existen riesgos presentes, en este caso son conocidos riesgos ergonómicos. Estas personas están sometidas a largas horas de trabajo lo que genera cansancio al cuerpo humano lo que conlleva a que de manera inercial el cuerpo adopte posturas inadecuadas no recomendadas en el tronco.

De acuerdo al (Reglamento Del seguro General de RIESGOS del Trabajo, Capítulo II, Art 6. 2017), señala que las Enfermedades Profesionales u Ocupacionales “Son afecciones crónicas, causadas de una manera directa por el ejercicio de la profesión u ocupación que realiza el trabajador y como resultado de la exposición a factores de riesgo, que producen o no incapacidad laboral.”.

Tomando en consideración lo mencionado se busca contribuir al bienestar de los trabajadores mediante el desarrollo tecnológico de un prototipo basado en visión artificial para evaluar las malas posturas del tronco en el puesto de trabajo de cajeras, de tal manera que, éstas colaboren a mejorar el rendimiento de los trabajadores en largos periodos de tiempo, proveyendo además al puesto de trabajo y a los trabajadores de una herramienta necesaria que permite evitar enfermedades profesionales u ocupacionales. De esta manera estamos dando solución a un problema que ha venido sofocando a las personas a lo largo del tiempo además de contribuir al trabajo sano.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un sistema prototipo basado en visión artificial para la detección y alerta de posturas forzadas a nivel del tronco en los puestos de trabajo de cajeras en los supermercados.

Objetivos Específicos.

- Identificar por medio de un estudio bibliográfico los parámetros de evaluación de posturas para personas que desempeñan sus labores con tiempos prolongados en posturas estáticas considerando el campo de estudio específico determinado.
- Seleccionar los hardware adecuados para tener una mejor adquisición y procesamiento de datos para el prototipo.
- Seleccionar el software adecuado para la codificación de un algoritmo de visión artificial para la identificación y valoración de posturas en los puestos de trabajo del caso de estudio.
- Definir un sistema de alerta que incite al usuario a tomar acciones correctivas en su puesto de trabajo.
- Aplicar el software ISEN en conjunto con los sensores inerciales para comparar los resultados arrojados por el prototipo en el caso de estudio.
- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo para determinar su confiabilidad.

Alcance

El trabajo propuesto está encaminado al desarrollo de un prototipo basado en visión artificial para contribuir un ambiente seguro para los trabajadores que desempeñan sus labores diarias en el área de cajeras en los supermercados, enfocado en la detección y alerta de posturas forzadas a nivel del tronco que son adoptadas por el trabajador de manera inconsciente, de esta manera se brinda una solución novedosa a un problema que viene afectando a la sociedad, el diseño del prototipo está enfocado a no interferir con el trabajo que el trabajador está realizando buscando mejorar el desempeño y la productividad conservando su salud y bienestar.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Estado actual del Arte

En la actualidad la visión artificial tiene muchos campos aplicativos, uno de estos es el campo de la medicina mediante la recolección, procesamiento y análisis de imágenes de alta calidad en tiempo real. Las malas posturas que adquiere una persona durante la jornada de trabajo suelen ser las principales causas de bajo rendimiento laboral. Por lo antes mencionado, desarrollar un sistema prototipo basado en visión artificial para la detección y alerta de malas posturas de espalda en el puesto de trabajo de cajas en los supermercados sería factible.

1.2. Tronco Humano

El tronco es catalogado como el segmento más grande del cuerpo humano, es la parte principal que comprende el dorso, el tórax, el abdomen y la pelvis. (Delgado 2017, p. 9)

El tronco desempeña un papel importante en el movimiento de las extremidades debido a que la postura que este adopte puede alterar de manera significativa al funcionamiento de estas. El movimiento y la posición del tronco pueden examinarse observando las diferentes regiones de la columna vertebral. (Hamill, Knutzen y Derrick 2015, p. 242). (Figura 1-2)

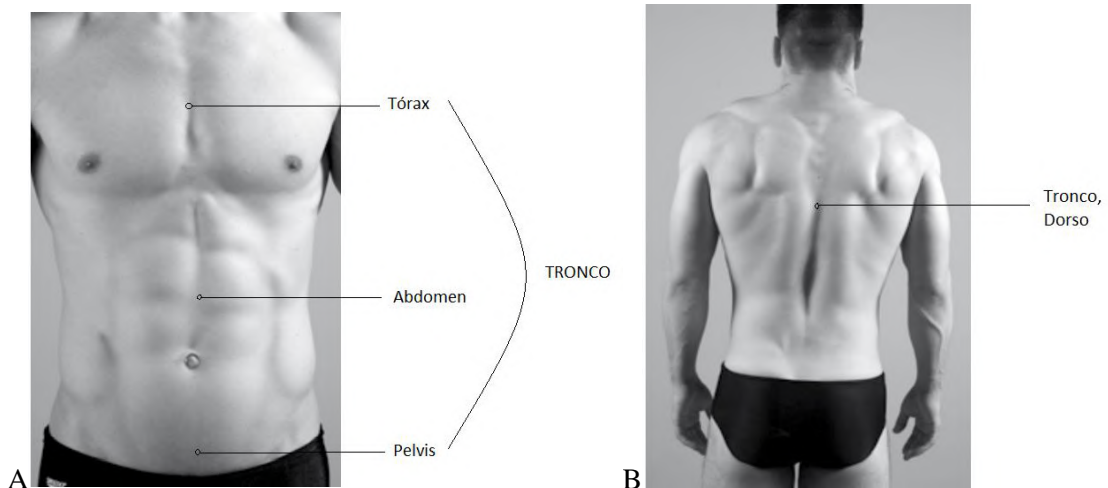


Figura 1-2: Tronco Humano

Fuente: (Hamill, Knutzen y Derrick 2015, p. 254-255)

1.2.1. Dorso

El dorso soporta tres regiones anterolaterales, ocupadas por la mayor parte de los aparatos respiratorio, digestivo y urogenital, es muy importante a nivel postural debido a que sostiene la cabeza, sujeta el tronco y mantiene firme al cuerpo, se encuentra por detrás del tórax, el abdomen y la pelvis; además de eso la columna vertebral se encuentra en esta área como se muestra en la Figura 1-2 B.(Delgado 2017, p. 11)

1.2.1.1. Columna Vertebral

La columna vertebral o espina dorsal es considerada el pilar del cuerpo debido a su fuerte musculatura, protege la médula espinal y también los nervios espinales, además posee una gran variedad de movimientos importantes para desarrollar cualquier actividad física.(Delgado 2017, p. 11). (Figura 2-2)

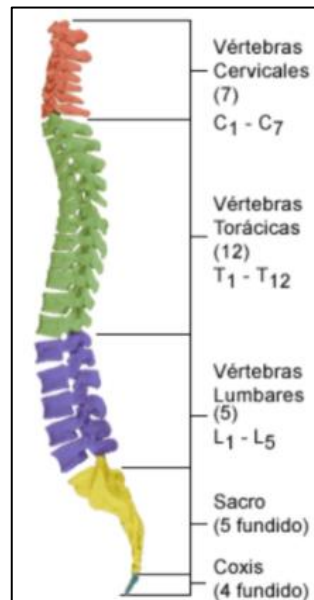


Figura 1-2: Columna vertebral

Fuente: (Baranda et al. 2017, p. 21)

1.2.2. Tórax

El tórax ubicado entre el cuello y el abdomen (Figura 1-2 A) es la parte del cuerpo donde se ubican órganos críticos como el corazón, los pulmones y vasos sanguíneos abdominales. Su estructura es muy importante dado que es un foco primario de los exámenes clínicos.(Olinger 2016, p. 1)

1.2.3. El Abdomen

El Abdomen (Figura 1-2 A) es la región que alberga a vísceras, vasos sanguíneos y órganos vitales. Se ubica encima del diafragma torácico y debajo de la entrada de la pelvis. Clínicamente es muy importante dado que contiene los órganos vitales. (Olinger 2016, p. 71).

1.2.4. La Pelvis

La pelvis (Figura 1-2 A) es la estructura ósea en forma de cuenco que distribuye el peso corporal, es el lugar donde el tronco topa con las extremidades inferiores y protege los órganos pélvicos como son los órganos reproductores. (Olinger 2016, p. 143)

1.2.5. Espalda

La espalda es el pilar principal de la anatomía humana, se encuentra ubicado en la parte posterior del cuerpo humano, siendo esta la responsable de mantener al cuerpo en una posición estable, debido a que los cuerpos vertebrales se encuentran enlazados formando la estructura del esqueleto, en éstas, se encuentran los discos intervertebrales, mediante la inserción de tejidos musculares permiten la realización de movimientos como la rotación, lateralidad, flexión y extensión. (Rodríguez et al., 2018, p. 833)

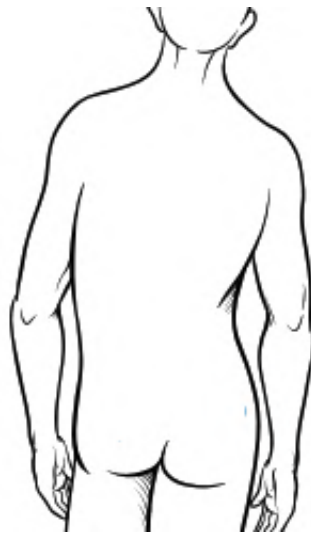


Figura 3-2: Espalda

Fuente: (Hamill, Knutzen y Derrick 2015, p. 253)

1.3. Postura

1.3.1. Postura de pie

El tronco influye mucho en la postura al estar de pie debido a que está sometida a una constante de inclinación hacia delante, esto se da a consecuencia de que el centro de gravedad del ser humano se encuentra ubicado al frente de la columna vertebral, por consiguiente, los encargados del control de la postura erguida es la columna, ésta es lo más parecido a una S, además están los músculos y ligamentos posteriores.(Hamill, Knutzen y Derrick 2015, p. 258)



Figura 4-2: Postura de pie

Fuente: (Hamill, Knutzen y Derrick 2015, p. 258)

1.3.2. Postura sentada

La postura en posición sentada demanda menos consumo energético, a diferencia de cuando se está de pie, las extremidades inferiores están sometidas a menores cargas, pero puede generarse efectos negativos a la columna lumbar a una persona al estar sentado durante largos periodos de tiempo. Al estar sentados se debe evitar las posturas desgarbadas y deben estar dispuestas de un soporte, esto para evitar el exceso de las actividades musculares en las regiones torácicas y abdominales.(Hamill, Knutzen y Derrick 2015, p. 258)

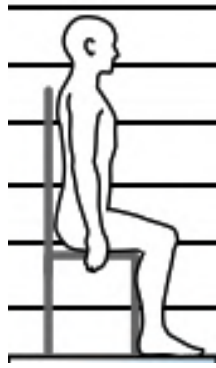


Figura 5-2: Postura sentada

Fuente: (Hamill, Knutzen y Derrick 2015, p. 258)

1.3.3. Postura Forzada

Una postura forzada se puede definir cuando la persona deja de estar en una posición natural o de confort, esto genera hiperextensiones, hiperflexiones y/o hiperrotaciones osteoarticulares, se ven involucrados una o varias regiones del cuerpo humano que podría contraer lesiones a la persona. (Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud (España) y Comisión de Salud Pública 2000, p. 12)

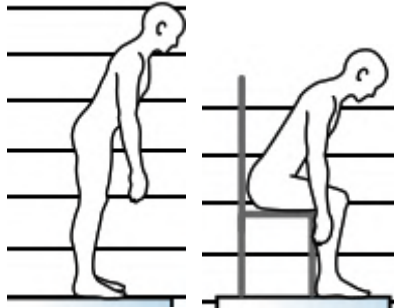


Figura 6-2: Persona en postura forzada de pie y sentada

Fuente: (Hamill, Knutzen y Derrick 2015, p. 258)

1.4. Ergonomía

La ergonomía se define como una disciplina donde existe la interacción del trabajador con el puesto de trabajo, con los equipos, herramientas y el entorno laboral, donde se involucran muchas ciencias como: médicas, biológicas, técnicas entre otras. La ergonomía hace énfasis en la forma de cómo se está desarrollando el trabajo, en especial, toma en consideración los movimientos corporales de los trabajadores y cuáles son las posturas que mantienen al realizar sus actividades. (Velásquez et al., 2019, p. 4)

1.4.1. Evaluación del tronco mediante la Norma NTE INEN-ISO 11226

La norma NTE INEN-ISO 11226 es una norma ecuatoriana para la evaluación postural que tiene como campo aplicativo los puestos de trabajo estáticos, se evalúa la postura del trabajador con la finalidad de evitar riesgos laborales mediante recomendaciones ergonómicas a los trabajadores en las diferentes áreas de trabajo, además especifica los rangos de movimientos en la adopción de posturas del tronco, de la cabeza, de las extremidades superiores e inferiores en una persona.

1.4.1.1. Postura del Tronco

Para determinar la postura del tronco de una persona en su puesto de trabajo se deben seguir los siguientes pasos:

Primer paso: Se debe realizar la evaluación de la postura del tronco considerando las 3 condiciones 1, 2 y 3, esta última corresponde a la postura de una persona en posición sentado. El Segundo paso corresponde al tiempo de mantenimiento que se debe evaluar mediante el uso de la figura denominada condiciones de evaluación según la inclinación del tronco. (INEN 11226 2014, p. 3)

Tabla 1-2: Evaluación postural del tronco

Característica postural	Aceptable	Avance al paso 2	No recomendado
1) Postura simétrica del tronco ^a No Sí	X		X
2) Flexión del tronco α^b > 60° 20° a 60° sin apoyo total del tronco 20° a 60° con apoyo total del tronco 0° a 20° < 0° sin apoyo total del tronco < 0° con apoyo total del tronco	X X X	X	X X
3) Para sentado: Postura de la columna vertebral con la región lumbar convexa ^c No Sí	X		X
^a Con una postura simétrica del tronco no hay rotación axial ni flexión lateral de la parte superior del tronco (tórax) con respecto a la parte inferior del tronco (pelvis).			

- b La postura durante la ejecución de la tarea (segmento oscuro del cuerpo, línea continua) con respecto a la postura de referencia (segmento blanco del cuerpo, línea puntuada) cuando se observa de lado del tronco (para α , en donde la inclinación está dada por un signo positivo).
Existe un procedimiento para determinar la inclinación del tronco.
- c Curvatura convexa de la región lumbar de la columna. Esta postura tiene más probabilidad de que ocurra.
- Cuando la parte lumbar de la columna no está apoyada en un espaldar, y
 - Cuando la cadera adopta un pequeño ángulo.

Fuente: (INEN 11226.2014, p. 4)

De la tabla anterior en el paso numero 1 podemos reafirmar que la persona en el puesto de trabajo debe mantener una postura simétrica de manera natural y equilibrada con respecto a todos los ejes, esto se evidencia observando la siguiente figura.

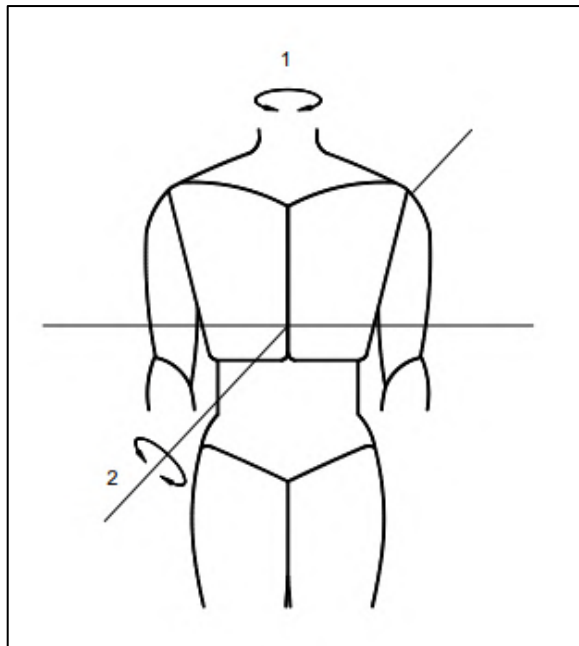


Figura 7-2: Ejes de la simetría del tronco humano

Fuente: (INEN 11226 2014, p. 5)

El paso 2 hace referencia la intervención de un ángulo denominado α que se forma al realizar una inclinación del tronco, como se muestra en la siguiente figura.(INEN 11226 2014, p. 3)

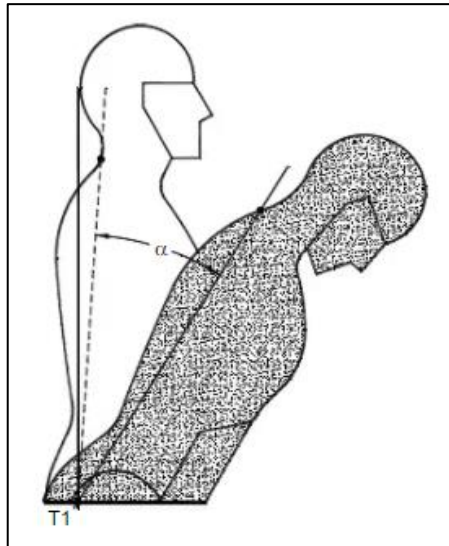


Figura 8-2: Ángulo de inclinación del tronco

Fuente: (INEN 11226 2014, p. 6)

Para determinar el ángulo α existe un procedimiento adecuado descrita en dicha norma, esta inicia considerando 3 aspectos principales mostrados a continuación:

- Los puntos considerados deben relacionarse con la sección del cuerpo humano.(INEN 11226 2014, p. 16)
- Los puntos deben ser detectables de manera clara por el sistema de medición. (INEN 11226 2014, p. 16)
- Los puntos no deben estar muy cerca entre sí para disminuir los errores de medición.(INEN 11226 2014, p. 16)

El ángulo α se debe analizar tomando en cuenta el factor tiempo en la norma descrita como el paso número 2 que se presenta al iniciar una actividad, lo cual dependiendo de ciertas condiciones es calificada de diferente forma, el gráfico del ángulo vs el tiempo se muestra a continuación.

Tabla 2-2: Tiempo de Mantenimiento del paso 2

Tiempo de mantenimiento	Aceptable	No recomendado
> Tiempo de mantenimiento máximo aceptable ^a		X
≤ tiempo de mantenimiento máximo aceptable ^a	X	

Fuente: (INEN 11226 2014, p. 7)

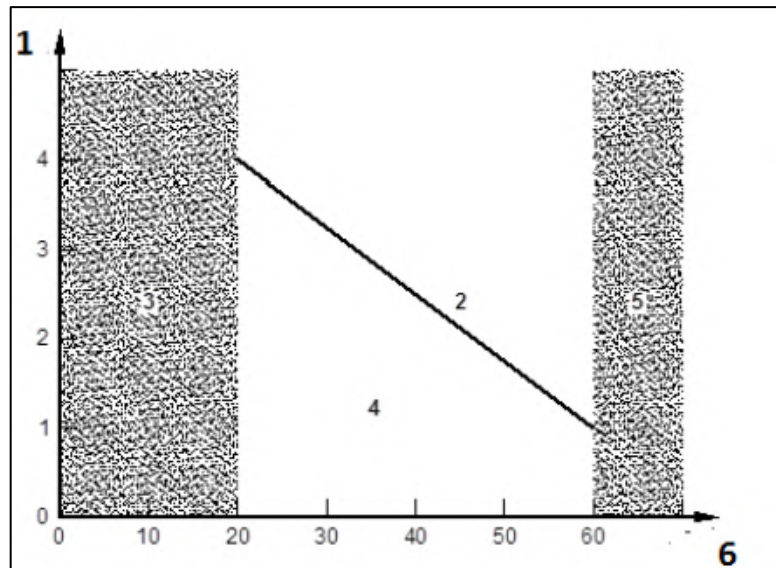


Figura 9-2: Condiciones de evaluación según la inclinación del tronco

Fuente: (INEN 11226 2014, p. 7)

Desde la figura anterior se afirma que:

1. Corresponde al tiempo de mantenimiento en minutos.
2. Condición No recomendada
3. Condición Aceptable
4. Condición Aceptable
5. Condición No recomendada
6. Correspondiente al ángulo α que se inclina el tronco

En el caso del numeral 3 trata sobre la postura de la columna vertebral con la región lumbar convexa, esta se da cuando la persona no está apoyada sobre un espaldar o cuando ángulo de la cadera es pequeño, este ángulo se forma entre las piernas y la inclinación que adopta el tronco. Estas condiciones se muestran en los siguientes gráficos.

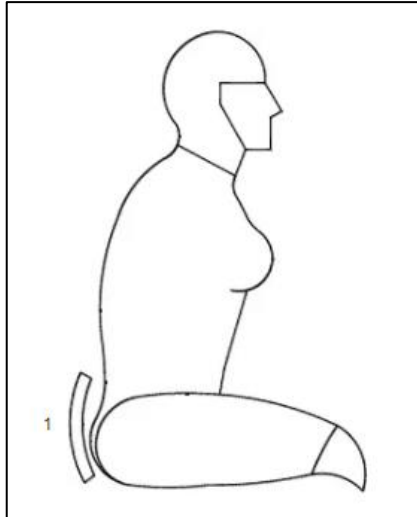


Figura 10-2: Postura en la región lumbar convexa

Fuente: (INEN 11226 2014, p. 6)

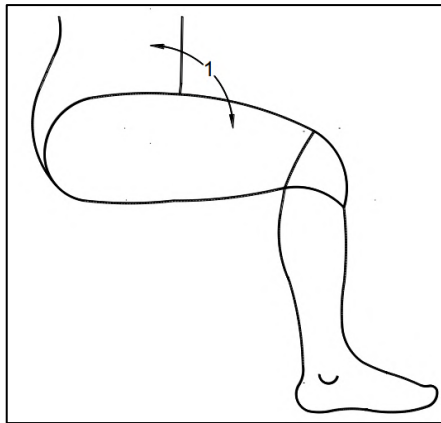


Figura 11-2: Ángulo de cadera mostrado por el número 1

Fuente: (INEN 11226 2014, p. 15)

1.5. Visión Artificial

La visión artificial o también conocido como la interpretación de imágenes como disciplina comprende todos las técnicas y métodos capaces de proporcionar ojos a una máquina, de tal forma que permitan el análisis y deducción de forma autónoma partiendo de imágenes con estructura bidimensional captadas de un entorno tridimensional. (González Marcos et al. 2006, p. 11)

1.6. Lenguajes de programación para visión artificial

1.6.1. Java

Java es un lenguaje de programación desarrollado por la compañía Sun Microsystems en los años 90, actualmente es uno de los lenguajes más utilizados a nivel mundial, su lenguaje es familiar, sencillo, multiplataforma, de alto rendimiento, robusto, orientado a objetos, distribuido y concurrente. (Abenza 2015, p. 2-3)

1.6.1.1. JavaVis

JavaVis es una librería escrita en Java que se utiliza para visión artificial, esta librería se empieza a desarrollar como un trabajo de la asignatura Sistemas Informáticos de la Ingeniería en Informática en la Universidad de Alicante. En esta librería se tienen las siguientes funciones desarrolladas: conversión, ajustes, suavizado, realce, convolución, manipulación, geometría, contorno, gradiente entre otras. (Cazorla et al. 2001, p. 475-476)

1.6.2. Matlab

MATLAB es la abreviación de las palabras MATrix LABoratory, es un software que facilita el procesamiento y análisis de los datos de alto nivel científico y tecnológico representando sus valores en base a matrices. («MathWorks - Creadores de MATLAB y Simulink - MATLAB y Simulink» []).

Su funcionamiento se basa en la aplicación de un lenguaje de programación propio, aunque es compatible también con otros softwares, su versatilidad aumenta con la incorporación de librerías completas, ideales para el trabajo con simulaciones en donde tienen un amplio campo aplicativo. La interfaz de este programa con el usuario es interactiva, permite la aplicación y visualización de algoritmos para la resolución de problemas de manera natural.

Matlab es un software altamente empleado en la solución de problemas debido a su disponibilidad en varios sistemas operativos tales como: Windows, Linux, Unix entre otros; disponen también de algunas herramientas y paquetes adicionales que permiten el desarrollo de los algoritmos y la creación de modelos.

1.6.2.1. Computer Vision Toolbox

Computer Vision Toolbox™ otorga la facilidad de utilizar funciones, algoritmos y aplicaciones ideales para el procesamiento de datos provenientes de un vídeo, idóneo el diseño y prueba de sistemas mediante el uso de cámaras, aplicando esta herramienta se puede realizar la detección y seguimientos de los objetos para el análisis según el campo aplicativo requerido. («MathWorks - Creadores de MATLAB y Simulink - MATLAB y Simulink»)

1.6.3. Python

Python es un lenguaje de programación interpretado de alto nivel creado por Guido van Rossum en Holanda que está orientado principalmente a objetos. Es un lenguaje multiplataforma que se puede desenvolver en distintos sistemas operativos como son Windows, Linux, Apple, BSD, Raspbian, entre otros gracias a su facilidad de uso. Python es un software libre, se distribuye bajo la licencia “Python Software Foundation License”, su funcionamiento se basa principalmente en el uso de librerías que se encuentran disponibles para cualquier usuario. (Hinojosa Gutierrez 2015, p. 21)

1.6.3.1. OpenCv

OpenCV es una biblioteca de visión por computador, utilizado por su fuente gratuita y su gran versatilidad en su campo aplicativo, fue iniciado por Gary Bradsky en Intel, actualmente OpenCV puede admitir gran variedad de algoritmos que guardan relación con la visión artificial y la capacidad de aprendizaje de manera automática. La biblioteca OpenCV es ejecutable en varios sistemas operativos como Linux, Windows y Mac OS X. (Mordvintsev y K 2017, p. 7)

1.7. Entornos Virtuales

Un entorno virtual es un espacio de trabajo aislado que permite el uso de librerías y herramientas completas, mediante la instalación y activación de este espacio de trabajo se ha convertido en una necesidad debido a que ésta no interfiere con sistema operativo del ordenador ni a ningún otro entorno virtual instalado en el sistema, es decir que en la misma computadora se puede instalar múltiples versiones de una misma librería sin ningún problema. (Nolasco Valenzuela 2018, p. 81)

1.8. Sockets

Los sockets son utilizados para comunicar dos programas (cliente y servidor) mediante una dirección IP, estos sockets se encuentran en Python y existe diferentes tipos. Los sockets se clasifican en sockets de datagramas (`socket.SOCK_DGRAM`) y sockets de flujo (`socket.SOCK_STREAM`) esto dependiendo del servicio que se utilice ya sea TCP o UDP , también se los puede clasificar de acuerdo a la familia donde existe sockets UNIX (`socket.AF_UNIX`) y sockets (`socket.AF_INET`). (González Duque , p. 92)

Para crear un socket en Python se utiliza la sintaxis `socket.socket()` donde dentro del paréntesis se debe ubicar los parámetros correspondientes como son el tipo , la familia y el protocolo. (González Duque , p. 92)

1.9. Etapas en un proceso de visión artificial

La visión artificial es un proceso de interpretación de imágenes donde en primer lugar se debe adquirir una imagen en forma digital, después se debe preprocesar la imagen, es decir se debe mejorar la imagen para obtener mayor confiabilidad del proceso de visión artificial, posterior a esto se debe dividir la imagen en las partes que la constituyen, este proceso es muy importante ya que de ello dependerá la solución del problema, el paso siguiente es la parametrización que es la selección de rasgos para extraer información de interés, el último paso culmina con el reconocimiento y la interpretación de las mismas. (Ana González Marcos et al. 2006, p. 15)

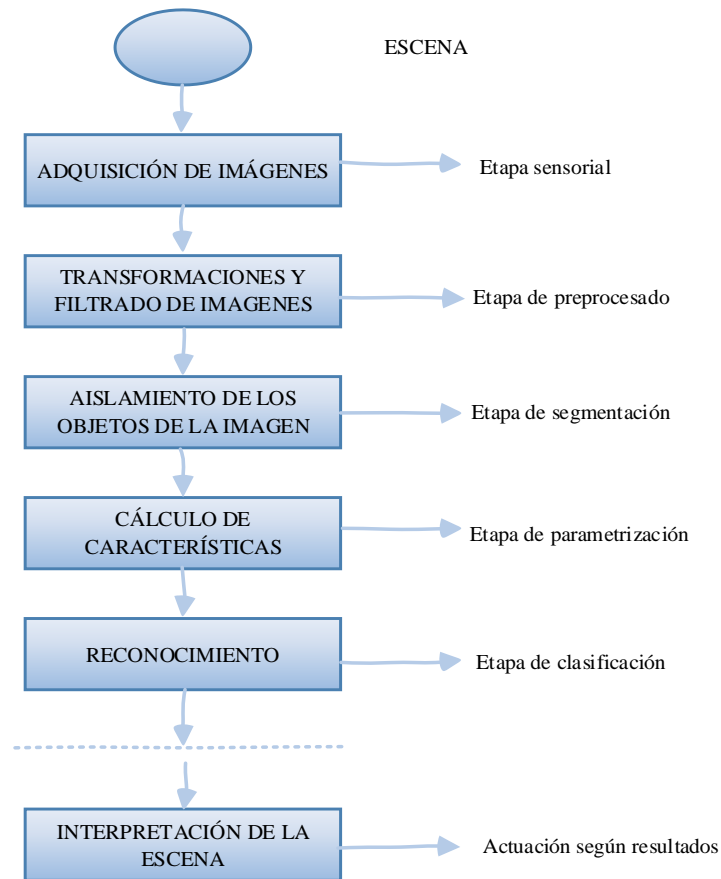


Figura 12-2: Etapas de un proceso de visión artificial

Fuente: (Ana González Marcos et al. 2006, p. 16)

1.9.1. Cámara

Las cámaras son muy importantes al hablar de Visión Artificial, se encuentran adaptados en muchos dispositivos, existen diferentes tipos, éstas pueden ser a color o a escala de grises, digitales o analógicas con diferentes tipos de salida de video un claro ejemplo es el tipo de salida RGB, aunque existen otras con características propias, generalmente, éstas están en relación con su precio cubriendo muchas de las necesidades actuales.

Las cámaras se eligen de acuerdo con el campo aplicativo, como por ejemplo las cámaras a color que tienen la característica de mayor almacenamiento de la información en las imágenes, se pueden usar donde se clasifican las frutas, verduras entre otras de acuerdo a la pigmentación que éstas que presentan, otro ejemplo de su utilización es en la clasificación de los metales, aunque se usan en muchos otros campos donde involucran la fotografía.(González Marcos et al. 2006, p. 19)

1.9.2. Iluminación

La Iluminación tiene gran importancia en la adquisición de la información mediante imágenes y debe realizarse de una manera adecuada siendo esta de manera frontal donde a la iluminación, esta actúa directamente sobre la entidad de análisis ya sea de manera horizontal o vertical, o también de manera indirecta donde se busca las formas o contornos de dicha entidad. (González Marcos et al. 2006, p. 33)

1.10. Operaciones básicas en el manejo de imágenes

Dentro de las etapas de un proceso de visión artificial está la etapa de preprocesado que es una etapa fundamental e importante, de esta etapa depende el éxito del proceso es por ello por lo que necesitamos mejorar las imágenes adquiridas digitalmente. Para mejorar las imágenes existen operaciones en el manejo de imágenes que detallaremos a continuación

1.10.1. Inversión

La inversión, aunque es una operación que no se utiliza a menudo, consiste en obtener el valor inverso de cada píxel ($1/\text{valor del píxel}$). Esta operación se utiliza generalmente para aspectos estéticos. (Ana González Marcos et al. 2006, p. 33)

1.10.2. Adición y sustracción

Esta es una operación que se utiliza cuando desea buscar un objeto dentro de una escena, dentro de esta operación es necesario contar por lo menos con dos imágenes donde se comparan dichas imágenes en un tiempo determinado, básicamente consiste en sumar o restar imágenes unas con otras. (Ana González Marcos et al. 2006, p. 34)

1.10.3. Producto o división por una constante

Esta operación consiste en multiplicar o dividir el valor de cada píxel de una imagen por un valor constante, con esta operación se logra disminuir o aumentar el brillo en una imagen. (Ana González Marcos et al. 2006, p. 34)

1.11. Sensores Inerciales STT-IWS IMU

Los sensores inerciales también conocidos como IMU (unidades de medida inercial) incorporados con giroscopios, acelerómetros, y magnetómetros se utilizan en el estudio y análisis de movimiento permitiendo obtener la orientación , velocidad y posición de cualquier objeto.(Mecafenix 2018)

El sensor STT-IWS inercial (IMU) inalámbrica (Wi-Fi) creado por la empresa STT tienen un rendimiento muy eficiente, opera a altas tasas de adquisición hasta 400 Hz, tiene memoria para el registro de datos los mismos que serán útiles para realizar análisis de movimiento.(STT Systems)



Figura 13-2: IMU STT-IWS

Fuente: (STT Systems 2016)

1.11.1. Características sensor STT-IWS

A continuación, se detallan las características que posee el sensor STT-IWS

Inalámbrico:

Los sensores se comunican mediante una red wifi (bandas 2.4GHz y 5GHz) lo cual permite que sean muy versátiles.(STT Systems 2016)

400 Hz

Se puede seleccionar la frecuencia hasta los 400 Hz lo cual permite una velocidad sumamente elevada en la adquisición de datos.(STT Systems 2016)

Multi-Sensor

El sensor incluye sensores internos como son: giróscopo triaxial, magnetómetro triaxial, acelerómetro triaxial, barómetro, sensor de humedad y sensores internos de temperatura.(STT Systems 2016)

Memoria Interna

Estos sensores se pueden trabajar de manera exterior es decir en campo, donde gracias a su memoria los sensores entran en modo grabación de datos.(STT Systems 2016)

Procesamiento Interno

Los sensores STT-IWS poseen un algoritmo sofisticado de fusión AHRS que proporciona medidas de orientación, aceleración y altitud en tiempo real.(STT Systems 2016)

Integrable

Los sensores STT-IWS reciben datos analógicos, hasta 8 canales @ 1 kHz / 10-bit data (0-3.3 V), además poseen un puerto serie adicional que permite conectar datos de dispositivos como un receptor GPS.(STT Systems 2016)

Datos sincronizados

Los datos procedentes de cada sensor están sincronizados debido a que cada muestra lleva una marca de tiempo.(STT Systems 2016)

Exactitud y precisión

Los sensores STT-IWS tienen un nivel de precisión y exactitud único: Pitch/ roll < 0.5° (RMS), Heading < 2° (RMS).(STT Systems 2016)

Para Desarrolladores

STT ofrece herramientas de código libre para Windows (GUI, API en C#), con las que se puede configurar los sensores , además se puede recibir o almacenar datos en CSV (Excel, MATLAB, etc.).(STT Systems 2016)

1.11.2. Especificaciones técnicas sensor STT-IWS

A continuación, se detallan las especificaciones técnicas del sensor STT-IWS

Tabla 3-2: Características de los Sensores Inerciales

MEDICIONES DE SENSORES	
Rango de giroscopio de 3 ejes	$\pm 2000^\circ/\text{s}$
Rango de acelerómetro de 3 ejes	$\pm 16\text{g}$
Gama de magnetómetros de 3 ejes	$\pm 1300 \mu\text{T}$
Tasa de sensor de presión barométrica	300 a 1100 hPa
Sensores calibrados en temperaturas	Sí
Sensor de humedad	Sí
PRECISIÓN	
Precisión de tono estático (RMS)	$<0.5^\circ$
Precisión de balanceo estático (RMS)	$<2^\circ$
Precisión de rumbo estático (RMS)	$<2^\circ$
TASA DE MUESTRA	
Frecuencia de muestreo definida por el usuario	Sí
Tasa de muestreo máxima	400 Hz
Número máximo de unidades STT-IWS a 400 Hz	17
DIMENSIONES FÍSICAS	
Largo \times Ancho \times Alto	56 (64) \times 38 \times 18 mm
Peso	46 gramos
ENTRADA ANALÓGICA	
Número de canales disponibles	1 a 8
Frecuencia	8kHz / 10-bit
Tensión	0-3.3V
PUERTOS DE TRANSMISIÓN	
Puerto USB (Micro B)	1
Puerto serie	1
Wi-Fi (802.11n @ 5 GHz)	Sí
Compatibilidad Bluetooth	<i>En pruebas</i>
Tarjeta Micro-SD para almacenamiento datos	Sí
ALIMENTACIÓN	

Batería Interna	Sí
Conector USB	Sí
Fuente de alimentación externa	Sí

Fuente: (STT Systems 2016)

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

1.12. Software iSen

El software iSen se comunica mediante WIFI con los sensores inerciales STT-IWS en tiempo real, donde se puede adquirir ángulos, velocidades angulares y aceleraciones. Este software sirve para realizar el análisis de los resultados ya que posee una interfaz muy sencilla y sofisticada. Los sensores inerciales STT-IWS y el software iSen son muy versátiles en sesiones al aire libre.(STT Systems 2018)

2. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

2.1. Diseño

El diseño del prototipo nos proporciona un enfoque adecuado sobre el funcionamiento del sistema de visión artificial usado en el caso de estudio, el prototipo se fundamenta en la identificación y alerta de posturas forzadas a nivel del tronco para ello se diseñó un boceto sobre el funcionamiento del sistema como se muestra a continuación.

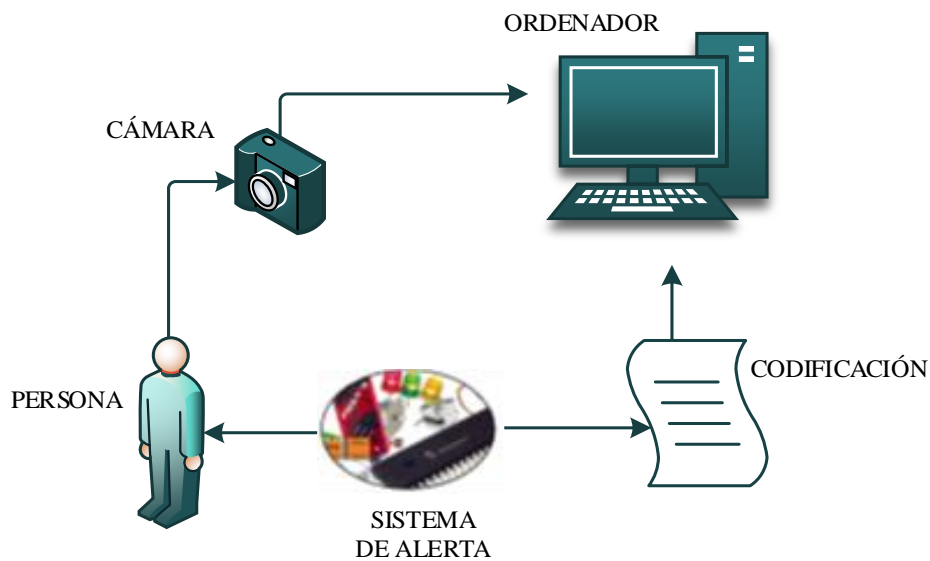


Figura 1-3: Diseño del prototipo

Realizador por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

De acuerdo con la figura representativa del diseño del prototipo, se observa que para la detección de una postura forzada a nivel del tronco se requiere de una cámara que permite la recolección de datos de una persona que está laborando en el puesto de trabajo de cajera en un supermercado, estos datos son procesados y codificados mediante software en el ordenador las mismas que proporcionan resultados que serán enviados al sistema de alerta para el actuar del trabajador.

El sistema de alerta es muy importante debido a que permite alertar al trabajador que labora en el puesto de trabajo de cajera sobre si está trabajando en condición de postura a nivel del tronco inadecuado para incitarle a tomar acciones correctivas, este sistema de alerta debe actuar en conjunto con el sistema de detección por lo tanto también debe ser codificado en el ordenador.

2.2. Requerimientos de diseño

Dentro de los requerimientos de nuestro sistema de visión artificial para tener un mejor desempeño y rendimiento demanda de características propias, estas se enlistan y detallan a continuación:

2.2.1. Sistema de identificación de una postura inadecuada

2.2.1.1. Requisitos de la Cámara

El sistema requiere de una cámara para la recolección de la información, el cual debe cumplir con las siguientes características, estas son las más importantes.

- Debe ser una cámara Web
- Tener de un tamaño adecuado (pequeña).
- Fácil manipulación y apta para colocar en diferentes lugares.
- Capacidad de video de alta definición.
- Compatible con varios sistemas operativos.
- Autorregulable a la cantidad de iluminación.

2.2.1.2. Requisitos del Ordenador

La importancia del ordenador radica en que en esta se van a ejecutar los algoritmos que permiten la identificación y alerta de una postura forzada a nivel del tronco por lo que debe cumplir con ciertas características que lo hacen ideales para el campo aplicativo.

- Computador portátil: Es debido al campo aplicativo, éste requiere de la capacidad de ser transportado de una manera fácil además de su eficiencia en la capacidad trabajo en un espacio reducido.
- Alta capacidad de procesamiento y almacenado de datos
- Sistema operativo actual preferiblemente Windows.

2.2.1.3. Sistema de codificación

La codificación de los algoritmos se desarrolla en diferentes softwares, estas deben cumplir principalmente con las siguientes características.

- Deben ser libre acceso al público.

- Deben ser interactivos con el usuario.
- Deben estar disponibles en varios sistemas operativos.

2.2.2. Sistema de alerta

El sistema de alerta es debe contar con características únicas debido a que este debe ser el encargado de incitar al trabajador a tomar acciones correctivas mediante el uso de señales, este sistema debe cumplir principalmente lo siguiente.

- Debe contar con una fuente de alimentación recargable.
- Debe ser inalámbrico debido a que los cables pueden interferir con el trabajo y perjudicar su rendimiento del trabajador
- Debe ser compacto y de tamaño reducido debido a que esta debe estar ubicado en el trabajador.
- Las señales de alerta deben ser mediante vibraciones.
- La ubicación del sistema de alerta en el trabajador debe ser mediante un corrector de postura u otro medio que contribuya al mejoramiento de la postura de la persona.

2.3. Etapas para la construcción del prototipo

Para la elaboración del prototipo se tomó en cuenta las siguientes etapas en las cuales se describen el proceso de construcción de manera detallada.

- Selección del hardware
- Selección del software
- Codificación del algoritmo para la detección y alerta de una postura forzada.
- Construcción Sistema de alerta

2.3.1. Hardware

Al hablar de Visión Artificial es indispensable utilizar una cámara que cuente con las características necesarias que permitan tener un mejor desempeño del prototipo, de ahí la importancia y necesidad de una correcta selección de ésta, además para el procesamiento y análisis de este tipo de datos es necesario contar con un ordenador, el uso de éstas me permitirá encaminar a la solución del problema propuesto.

2.3.1.1. Cámara

Dentro del desarrollo del proyecto se requiere de una cámara que se adapte a las necesidades y exigencias del proyecto, debido a esto se utilizó la cámara web Logitech BRIO 4K para la adquisición de datos almacenadas en las imágenes

La cámara web Logitech BRIO es muy versátil y cuenta con las siguientes características:

- Resolución 4K Ultra HD con diferentes fps que permiten obtener un alto grado de nitidez, fluidez y detalle.
- Se ajusta a la iluminación existente.
- Sensores ópticos e infrarrojos.
- Campo de visión es ajustable para encuadrar el vídeo perfectamente.
- El montaje de la cámara se puede realizar en: pantalla LCD, portátil o sobre la mesa por medio de un clip.
- Las dimensiones son: altura: 27 mm, ancho: 102 mm, profundidad: 27 mm, longitud del cable: 2,2 m con un peso de 63 g.



Figura 2-3: Cámara web Logitech BRIO

Fuente: (Cámara web Logitech BRIO)

La cámara es apta para trabajar en Windows debido a su compatibilidad con su sistema operativo y la disponibilidad de las entradas de puertos USB, es recomendable trabajar con un puerto de 3.0 para aprovechar al máximo las capacidades que brinda la cámara.

2.3.1.2. Ordenador

Las características que un ordenador debe tener para trabajar con visión artificial no han sido definidas completamente, debido al continuo avance tecnológico los ordenadores cada vez son mejores y su incidencia en la visión por computadora es significativa, mientras mejores características tienen el ordenador existe una mejor eficiencia del prototipo.

El ordenador utilizado en el caso de estudio es una Laptop de modelo Hp, con las siguientes características: sistema operativo Windows 10 64 bits con un procesador Intel Core i5 de décima generación con 8192 MB de RAM, siendo ésta un ordenador que permite trabajar con visión artificial de una buena forma.



Figura 3-3: Ordenador portátil marca HP

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

2.3.1.3. Modulo ESP32

Dentro del desarrollo del sistema de alerta se utilizó el módulo ESP32 que es un chip WIFI/BLUETOOTH todo en uno, el mismo que mediante el protocolo UDP (User datagram protocol) permite controlar el micro motor vibrador cuando el operario ejerza una postura forzada en base a la programación realizada, las características del módulo ESP32 son las siguientes:

Procesador y memoria:

- CPU: Xtensa dual-core 32-bit LX6
- Frecuencia: 160 a 240 MHz

- Memoria RAM: 520 KB SRAM
- Memoria flash interna: 4 MB
- ROM: 448 KB
- Oscilador: 40 Mhz

Interfaces de radio:

- Wi-Fi: 802.11 b/g/n
- Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE

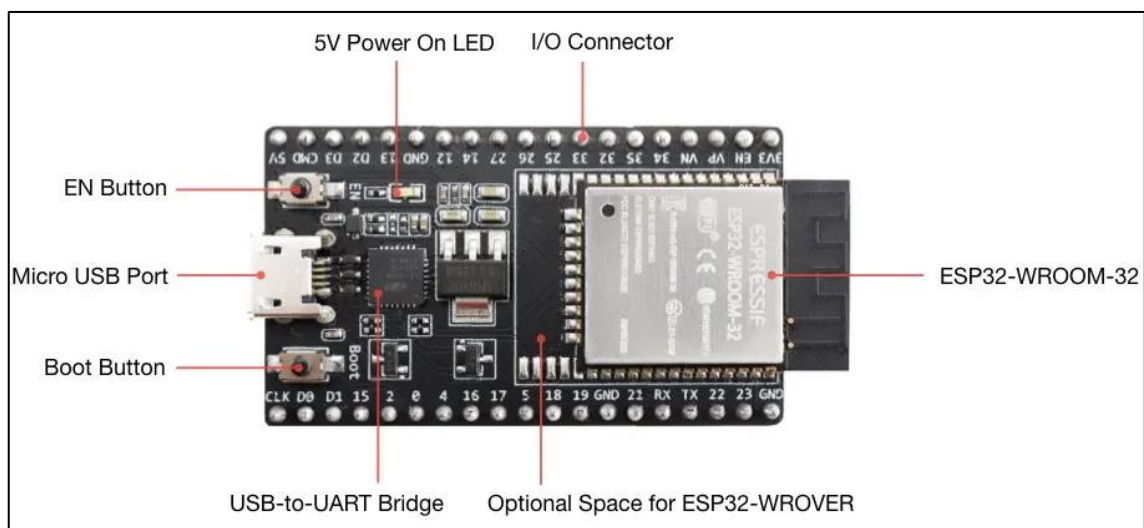


Figura 4-3: Funciones del módulo ESP32

Fuente: (ESP32-DevKitC V4)

2.3.1.4. Power Bank

Este elemento se utilizó para la construcción del sistema de alerta con el objetivo de alimentar el módulo ESP32 ya que este elemento junto con la placa base se ubicará en el corrector de postura el mismo que utiliza el operario durante la jornada de trabajo, cabe recalcar que el uso de la power bank como fuente de energía es muy importante debido a que esta no necesita estar conectada a un tomacorriente más bien durante el descanso se la puede recargar y mucho más importante es que no distrae al operario en sus actividades, las características de la power bank son las siguientes:

- 2 puertos de salida USB que se pueden utilizar al mismo tiempo
- Puertos de entrada doble Micro USB y Tipo-C

- Con linterna LED dual
- Superficie similar a un espejo, suave y delicada.
- Con pantalla LED para mostrar la energía de la batería
- Tamaño compacto
- Adecuado todo producto digital

Especificaciones:

- Capacidad marcada: 20000mAh
- Capacidad real: 10000 mAh
- Puerto de entrada: Micro USB/Tipo C: 5V/2.1A
- Puerto de salida: 2 * USB: 5V/2A
- Material: ABS
- Tamaño del producto: 80*80*23mm



Figura 5-3: Power bank

Fuente: (TVC-Mall.com)

2.3.1.5. Micro motor vibrador

El prototipo se fundamenta en dos principios: identificación y alerta de posturas forzadas, la identificación se lo realiza con la cámara y la alerta se lo realiza con un motor vibrador que cuenta con las siguientes características.

- Alimentación: DC 3V
- Tamaño: 11,2 * 3,2 mm

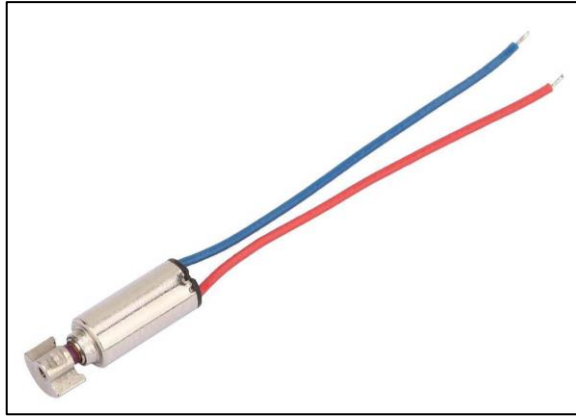


Figura 6-3: Micro motor vibrador

Fuente: (Amazon)

2.3.1.6. Transistor 2n2222 (PN2222)

Se utilizo este elemento ya que uno de sus tantos usos es la de actuar en modo saturación es decir actúa como un conmutador simple, capaz de activar o desactivar elementos con una corriente grande, en este caso se usa este elemento para activar y desactivar el motor vibrador el cual consume una corriente relativamente alta en comparación con la corriente de salida de los pines del módulo ESP32.

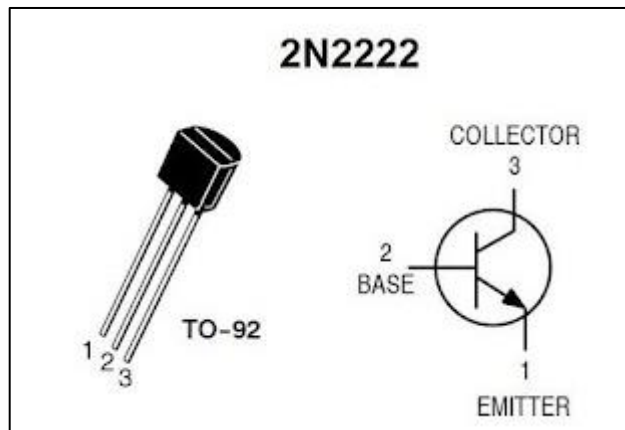


Figura 7-3: Transistor 2n2222

Fuente: (PROYECTOS DE TECNOLOGÍA)

2.3.1.7. *Corrector de postura*

Este elemento se utilizó para ubicar el sistema de alerta compuesto por: una power bank, un módulo ESP32, un micromotor vibrador, un transistor 2n2222, dos resistencias y un foco led color verde todos ensamblados sobre una placa bakelita, es importante aclarar que este elemento tiene funciones del fabricante como son las de prevenir problemas de salud y soporte de espalda y hombros.



Figura 8-3: JNTAR Corrector de postura de espalda superior para hombres y mujeres

Fuente: (Amazon)

2.3.2. *Softwares*

2.3.2.1. *Python*

Python es uno de los lenguajes de programación que funciona por medio de librerías de código abierto, es decir son de acceso a todo público, el software es compatible con muchos sistemas operativos existentes actualmente, es muy utilizado en la ingeniería al igual que Matlab, un beneficio del uso de este software es que es muy interactivo con el usuario, además de que el requerimiento para el ordenador es relativamente bajo con respecto a otros softwares.

2.3.2.2. *Sublime Text*

Sublime Text es un editor de código que se encuentra de manera gratuita en la red, aunque existen muchos otros editores de códigos que ofrecen igual o mejor experiencia en la codificación de

algoritmos este fue el utilizado en este caso de estudio debido a su rapidez y sencillas, además tiene una interfaz muy amigable con el usuario.

2.3.2.3. Qt Designer

Este es un software utilizado para crear una interfaz gráfica (GUI) con el usuario de manera sencilla, su fortaleza radica en su disponibilidad de forma gratuita para distintos sistemas operativos y compatibilidad con distintos softwares como lo es Python, de esta manera se puede utilizar para personalizar las ventanas usados en la entrada y salida de datos de manera dinámica y natural.

2.3.2.4. Arduino

Este software se utilizó para configurar el módulo ESP32, debido a que Arduino proporciona un gestor de tarjetas que se pueden descargar libremente de la red, es un software open source de gran utilidad debido a su versatilidad.

2.3.3. Codificación del Algoritmo

La codificación se realiza en un software instalado en el ordenador, este la hace un elemento principal del prototipo en esta se desarrolla el mayor parte del funcionamiento del prototipo, en esta se instalan los softwares y se adaptan de manera directa o indirecta los hardware, antes de empezar a digitalizar los códigos de nuestro sistema se instalan los softwares como se describen a continuación.

2.3.3.1. Instalación de Softwares

La instalación de los softwares que permiten la codificación del algoritmo para la detección y alerta de una postura forzada requiere de los softwares antes seleccionados, esto se lo realiza de la siguiente manera:

En el caso del Python al ser un software de código abierto se lo puede instalar de la siguiente manera:

- a) En la página oficial de Python siendo este www.python.org/downloads/ buscar la opción de descargas, escoger el sistema operativo y de las especificaciones del ordenador para descargar el instalador siendo el utilizado la versión 3.8.2 en este caso de estudio.
- b) Instalar Python ejecutando como administrador y habilitando la opción de Add Python to PATH.

Para el editor de código Sublime Text se lo puede descargar e instalar de manera directa desde su página oficial cuyo acceso se encuentra en la siguiente ruta: <https://www.sublimetext.com>

Por otro lado, Arduino al ser un software de código abierto se lo puede instalar descargando su archivo ejecutable desde su página oficial que se accede mediante la siguiente ruta: <https://www.arduino.cc/en/software>

Finalmente, el software Qt designer se lo puede descargar e instalar de manera gratuita y segura desde su desde su página oficial cuyo acceso se encuentra en la siguiente ruta: <https://n9.cl/jrw3m>.

2.3.3.2. Espacio de Trabajo en el ordenador

Para empezar a trabajar con los algoritmos en Python es muy importante crear un espacio de trabajo denominado comúnmente entorno virtual, este permite instalar ciertas librerías y paquetes de diferentes versiones que se utilizan, su mayor utilidad radica que ésta no afecta al sistema operativo del ordenador lo que lo hace ideal para trabajar con visión artificial cuyo procedimiento esta descrito en el ANEXO A.

El método antes mencionado es el que se debe realizarse para la creación y activación de un entorno virtual, aunque actualmente existen otros métodos para crear un entorno virtual, tal es el caso del uso de anaconda que permite crear y administrar entornos virtuales, aunque todos están enfocados a cumplir el mismo objetivo.

2.3.3.3. Librerías para trabajar con visión artificial

Python trabaja juntamente con librerías por lo que se debe instalar estos recursos en el ordenador, de preferencia instalarlas dentro del entorno virtual. Las librerías utilizadas y su aporte se enlistan a continuación:

OpenCV

OpenCV es una biblioteca de código abierto utilizada para visión artificial y machine learning. Su utilización en el visón artificial se centra en la detección de objetos, rostros, reconocimiento de patrones, etc., ideal para el tema de estudio. Su instalación se lo realiza escribiendo en el CMD: `pip install opencv-contrib-python`

Numpy

Numpy es una librería de Python que permite realizar todo en cuanto a cálculos matemáticos ya que posee una gran colección de funciones matemáticas, se instala de manera automática al momento de instalar OpenCv, aunque también se lo puede realizar mediante el comando `pip install numpy` escrito en el CMD.

El uso de esta librería nos permite determinar el ángulo de inclinación del tronco humano con el cual se identifica las posturas forzadas que adopta el tronco durante la jornada laboral basados en la norma INEN 11226 y aplicados mediante cálculos.

Tabulate

Tabulate es un módulo de Python que permite imprimir datos de manera ordenada en forma de tabla y en diferentes formatos, esto es muy importante debido que permite utilizar estos datos para un posterior análisis de esta información, estos datos se guardan en formato .xlsx usado en nuestro campo de estudio, la instalación de esta librería se lo realiza escribiendo la sentencia `pip install tabulate` en el CMD.

Openpyxl

Openpyxl es una librería de Python que permite escribir y leer archivos del software Excel, en este caso aplicativo permite guardar en un archivo Excel una tabla con las variables tiempo y ángulo de manera ordenada, la instalación de esta librería se lo realiza digitalizando la sentencia `pip install openpyxl` en el CMD.

Mediapipe

Mediapipe al ser una solución de Machine Learning, es una librería que permite el análisis de los datos provenientes de las imágenes de una video cámara, la aplicación de esta librería facilita la

detección de la persona y la superposición de la información en las video imágenes de entrada otorgando una realidad aumentada usado en nuestro sistema, y aunque la aplicación de la librería MediaPipe para Python es limitado cubre las necesidades del campo aplicativo.

La instalación de esta librería se lo puede realizar desde el ordenado mediante la aplicación de este comando: `pip install mediapipe`, hay que tener en cuenta que este paquete tiene como requerimiento la instalación dentro de un entorno virtual previamente creado.

Dentro de la librería existen varias soluciones, pero en este caso se utilizó la solución MediaPipe pose, este es el recurso base utilizada guía por la norma ecuatoriana INEN 11226 para la programación del algoritmo usado en la detección y alerta de la postura a nivel del tronco de una persona a través del video streaming usando la cámara web.

Los puntos que MediaPipe pose nos proporciona son 33 que fueron nombrados mediante los nombres de cada parte del cuerpo humano en inglés a las que pertenece cada uno, éstos se encuentran enlistados en la figura siguiente:

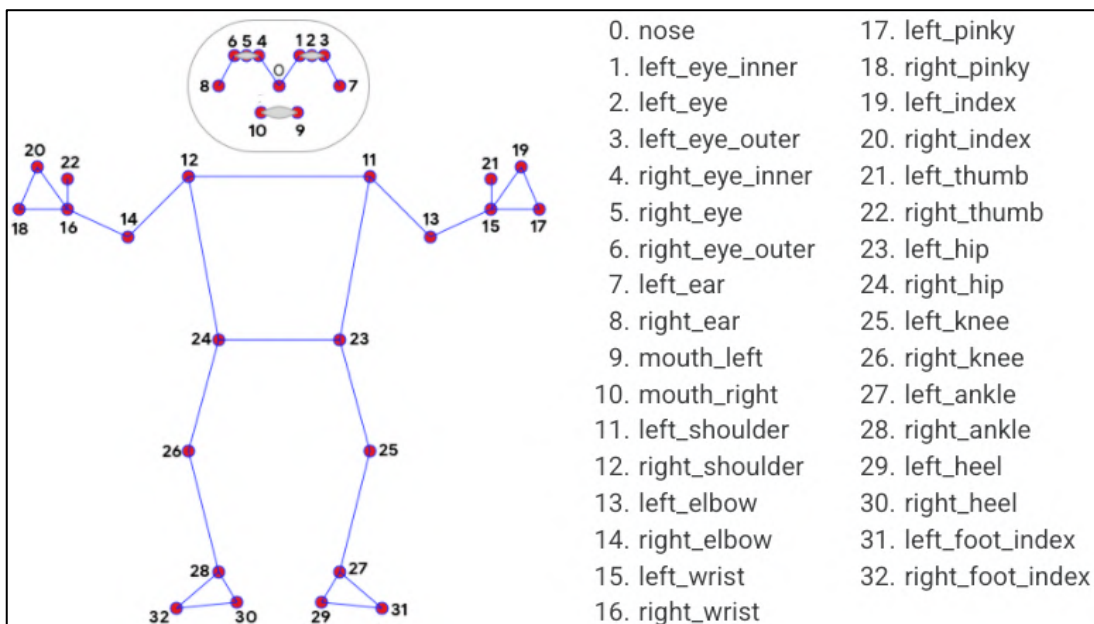


Figura 9-2: Representación de los 33 puntos de MediaPipe pose

Fuente: (MediaPipe)

Estos 33 puntos son creados virtualmente, basados en el hombre de Vitruvio el cual representa las proporciones ideales del cuerpo humano, estos puntos de referencia son identificados mediante

la solución mediapipe pose y seguidas mediante un algoritmo de alta predicción lo que le hace confiable la ubicación de estos puntos en el cuerpo humano.

PyQt5

PyQt5 es un conjunto de enlaces de Python que permite crear una interfaz gráfica (aplicación) de manera muy interactiva, se pueden utilizar diferentes elementos que provee este software para ejecutar el código desde la aplicación GUI, para su instalación digitar la sentencia `pip install pyqt5-tools` en el CMD.

2.3.3.4. Desarrollo del algoritmo

Menú de la Aplicación

Para el desarrollo de la aplicación se utilizó una GUI desarrollado mediante el uso del software Qt Designer, esta aplicación permite tener un mejor manejo de las variables de entrada y salida usados en Python, además este software permite utilizar diferentes elementos para crear una interfaz gráfica para el usuario, estos tienen una gran importancia y deben ser seleccionados y configurados de acuerdo con la necesidad o al uso al que va a ser destinado cada uno en nuestro sistema.

Los elementos utilizados en la creación de la GUI (interfaz gráfica) deben asignarse un nombre específico para que de esta manera se pueda realizar su uso dentro del código de programación en Python sin generar conflictos en el código.

El desarrollo de la aplicación GUI empieza al abrir la aplicación de Qt Designer y crear una pantalla de trabajo, esta es donde se crea y configura todos los parámetros de la aplicación, esta pantalla de trabajo consta con de los recursos necesarios para crear la interfaz gráfica de usuario, las partes principales del software Qt Designer se muestra a continuación:

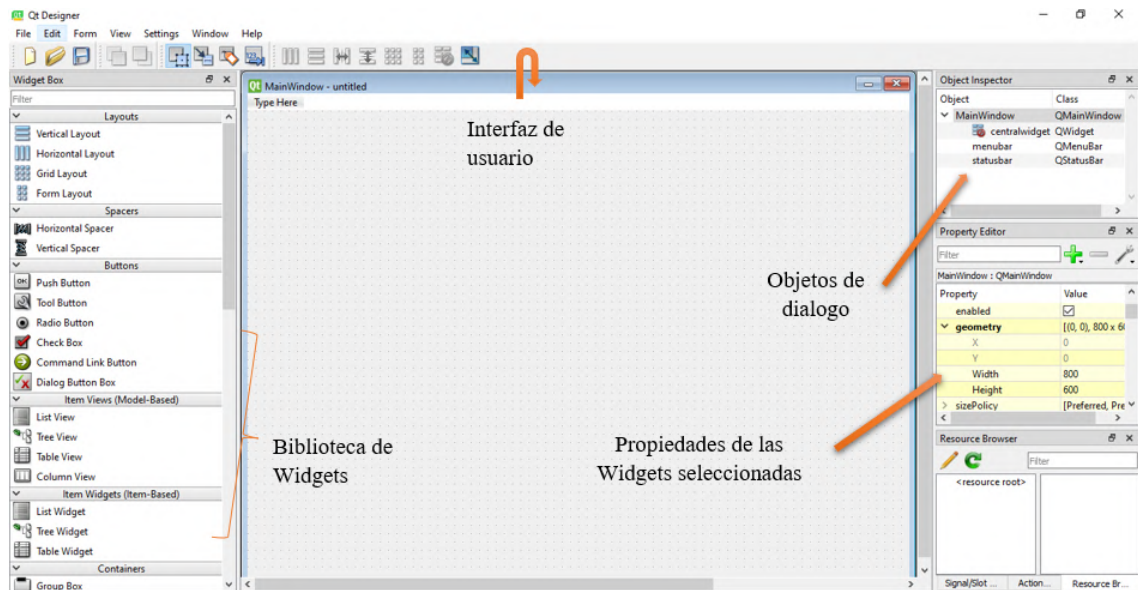


Figura 10-3: Recursos de Qt Designer

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

Haciendo uso de los recursos mostrados en la figura se crea las dos interfaces gráficas GUI denominados Menú de Inicio y el Menú principal con el que nuestro sistema trabajo cuyo diseño se detalla a continuación:

GUI del Menú principal

El menú principal es la pantalla de presentación del trabajo de titulación el cual consta de los siguientes elementos:

- Fondo de pantalla
- Título del Trabajo de Titulación
- Sello de la institución y de la carrera,
- Autores, director y miembro involucrados en el trabajo de titulación.
- Botón destinado a empezar el menú de inicio.

Para la creación del fondo de pantalla de la guide se realiza mediante el arrastre de un QLabel a la pantalla de trabajo, lo configuramos en las propiedades de las Widgets específicamente en la opción de pixmap para agregar el fondo de pantalla deseado, también marcamos la opción de scaledContents para fijar a la escala, además asignarle un nombre al objeto, aunque este ya viene con uno por defecto.

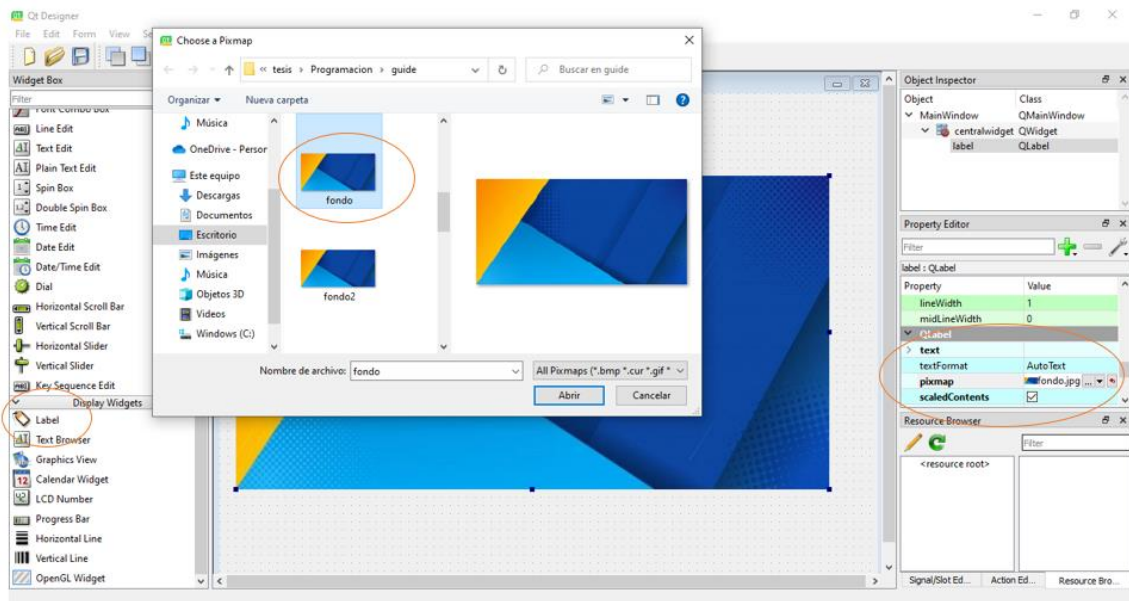


Figura 11-3: Creación del fondo de pantalla

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

De la misma manera haciendo uso de 4 QLabels agregamos los demás componentes de la pantalla principal los cuales fueron enlistados con anterioridad y los configuramos de acuerdo con las necesidades de diseño, además se utilizó también un push button para la opción de empezar. Es importante asignar el nombre al objeto debido a que este se requiere para la codificación del algoritmo en Python, al finalizar todas las configuraciones guardamos la interfaz gráfica de la pantalla principal.

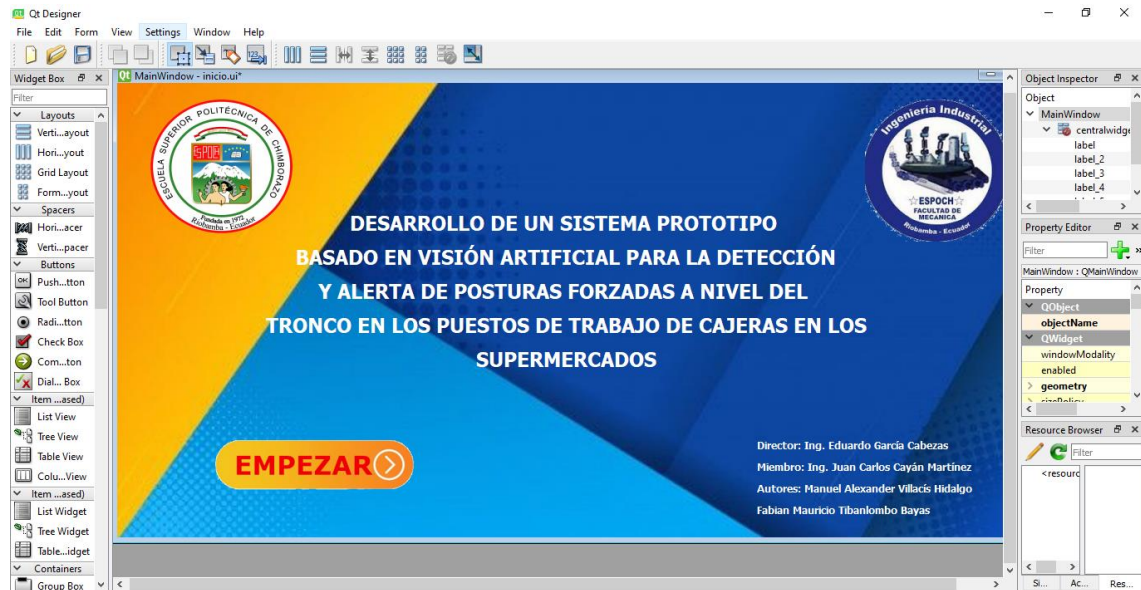


Figura 12-3: Gui de la pantalla Principal

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

GUI de la pantalla de inicio

Debemos tener en cuenta que la pantalla de inicio se encuentran los elementos principales del sistema desarrollado, estos están destinados a proporcionar datos o valores entrada y salida de datos, este menú debe constar principalmente de los siguientes elementos que son los requerimientos para esta aplicación GUI planteada:

- Cuadro donde se muestra la cámara
- Botón de Iniciar
- Botón de Detener
- Botón para modificar la tolerancia tronco simétrico
- Botón para modificar la tolerancia del tronco en posición sentada
- Tabla de característica Postural evaluando la norma INEN 11226
- Botón de Guardado
- Tabla de criterio de actuación según la evaluación de la norma INEN 11226

Para crear la pantalla de inicio se realiza de la misma manera que en la creación de la pantalla principal asignando primero fondo adecuado, este menú está dividido en dos grupos: groupBox y groupBox_2 de acuerdo con el diseño.

Dentro del primer grupo denominado QgroupBox llamado configuración se encuentran algunos QLabel, push Button y QTextEdit que se usan de acuerdo con las necesidades de nuestro sistema los mismo que fueron usados de la siguiente manera:

- QLabel para la cámara
- QPushButton para el botón iniciar
- QPushButton para el botón detener
- QPushButton para el botón guardar
- QTextEdit para el nombre del archivo a guardar
- Otros QLabels usados para escribir texto

Estos deben ser configurados y ubicados de acuerdo a un diseño previo y plasmarlo en la pantalla de trabajo, además se asigna un nombre propio al elemento para usarlos en la codificación del algoritmo en Python.

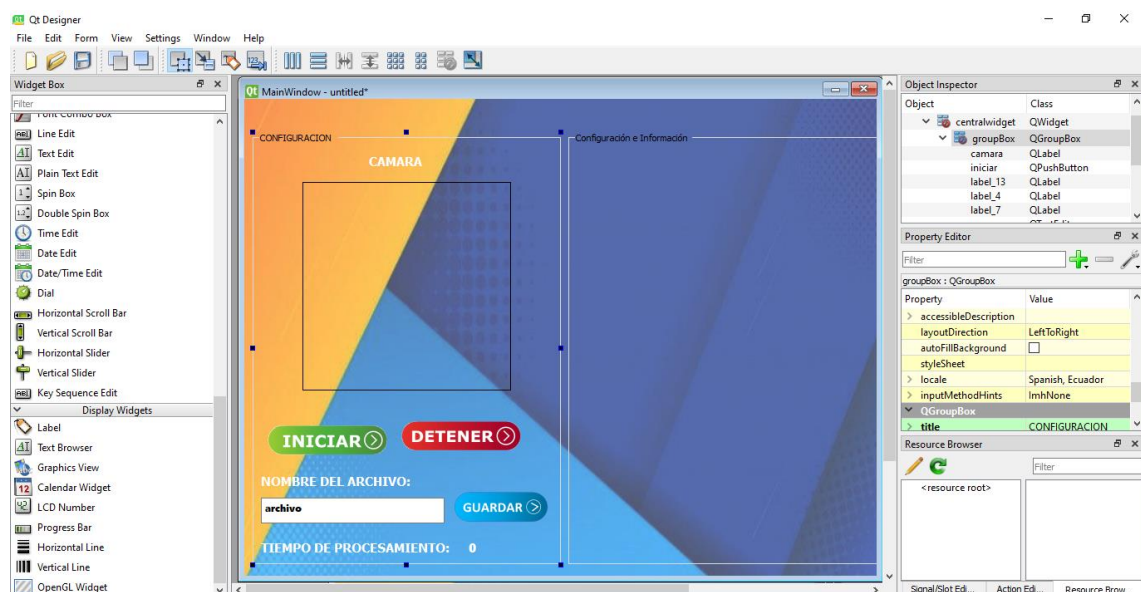


Figura 13-3: Configuración del QGroupBox

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

Dentro del groupBox_2 denominado configuración e información se encuentran los QCheckBox, QLabel, QSlider, QTextEdit y un QTableWidgetItem que de acuerdo a las necesidades de nuestro diseño del sistema configurados adecuadamente de forma que ayuden a cumplir con los requerimientos planteados, en este grupo se encuentra la tabla de información y el criterio de actualización de la persona según la norma INEN 11226 además de las tolerancias de a simetría del tronco y la tolerancia en una posición sentado.

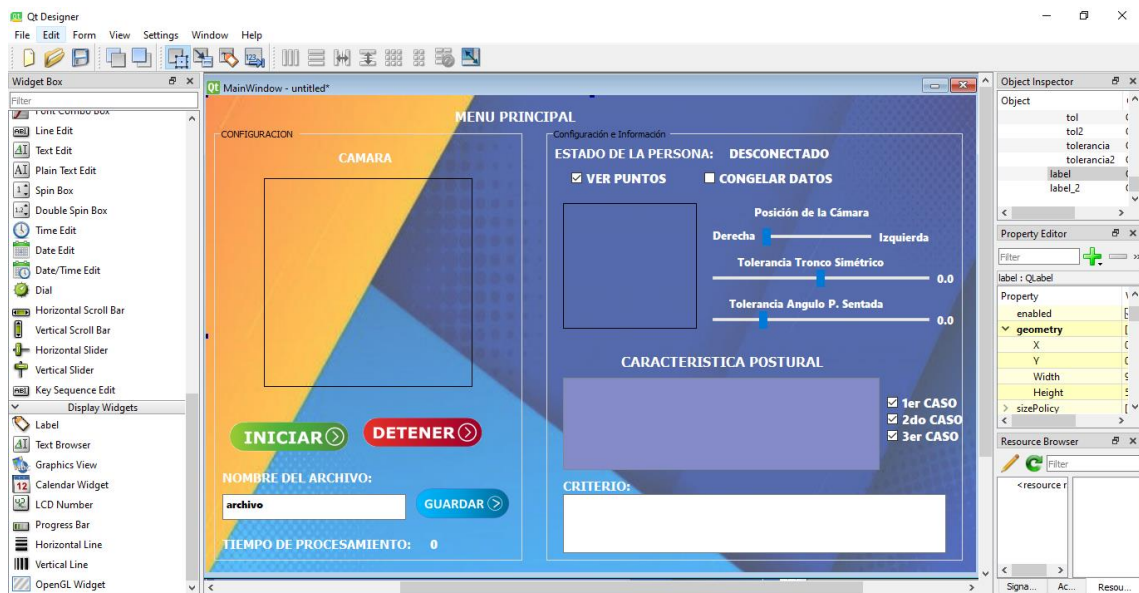


Figura 14-3: Aplicación GUI del menú de Inicio

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

Al finalizar el desarrollo del menú de inicio se guarda la para usarlo en la codificación de Python.

Codificación en Python

Haciendo uso de la GUI los elementos que estas contienen se procede a la codificación de los algoritmos que me permiten la identificación de una postura forzada a nivel del tronco en el software Python, este se desarrolla haciendo uso de los diferentes códigos propios del del software, cabe tener cuenta que la codificación se realiza en base a ciertos diagramas que fueron realizadas con anterioridad que tienen la finalidad de esquematizar y guiar de manera clara y precisa al cumplimiento del objetivo propuesto.

La codificación y funcionamiento de la pantalla principal de la aplicación GUI se desarrolla de acuerdo con el siguiente diagrama esquemático:

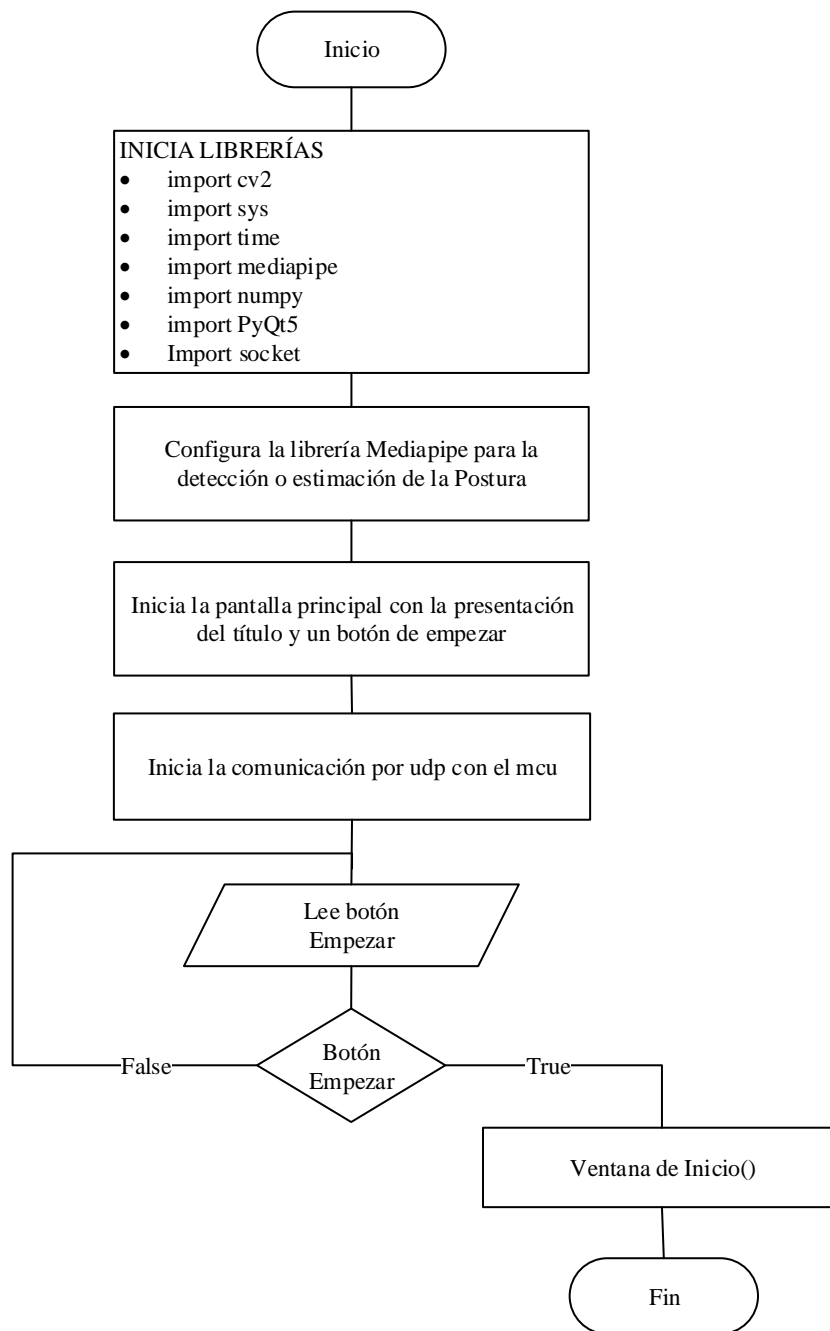


Gráfico 1-3: Diagrama de pantalla de Inicio

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

De acuerdo al diagrama representativo la codificación empieza con la incorporación de la aplicación GUI denominado pantalla principal, pero en Python la codificación empieza con la importación de las librerías que se van a utilizar como son: cv2 correspondiente a Opencv, mediapipe que es la librería base usado en la estimación de la postura inadecuada, time que corresponde a una librería que permite hacer uso del tiempo, entre otras librerías que son necesarias para la solución de nuestra problemática.

Luego de importar las librerías de manera consecutiva se procede a la configuración de la librería mediapipe para la estimación de postura, de manera consecutiva se inicia la pantalla principal de la interfaz gráfica con la presentación del título y los demás elementos con la que consta el diseño, además en este está presente un botón de empezar que una vez seleccionado redirige hacia una ventana de inicio donde se muestra la funcionalidad de nuestro prototipo.

Debemos tener en cuenta que después de la configuración de las librerías se debe iniciar la comunicación por UDP con el MCU(Microcontrolador) que se utiliza en el sistema de alerta debido a la particularidad que el sistema de alerta funciona mediante la conexión de zona wifi generado desde el ordenador.

El siguiente diagrama se muestra el proceso de codificación y funcionamiento utilizando la segunda parte de la aplicación GUI denominada pantalla principal que ha sido realizado con anterioridad.

.

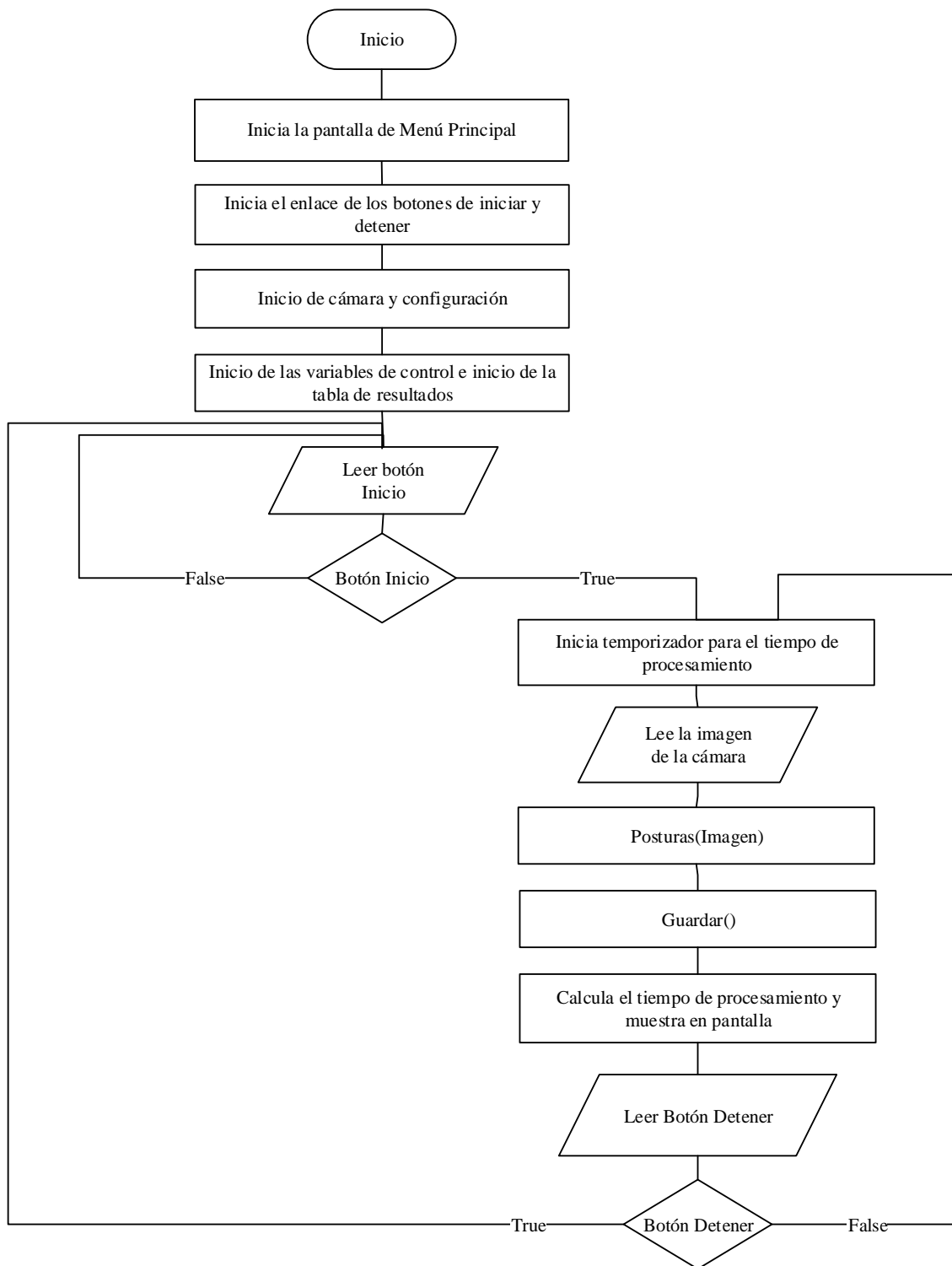


Gráfico 2-3: Diagrama de ventana de Inicio

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

El diagrama muestra el inicio de la codificación iniciando la ejecución de la ventana de inicio denominado pantalla principal, en este instante se inician los botones de iniciar y detener, estos son los utilizados controlar el funcionamiento del sistema de detección y alerta de las posturas

inadecuadas, también se deben iniciar la cámara y las ventanas de configuración, además en ese mismo instante se inicia las variables de control así como también las tablas de resultados y los criterios de actuación según la norma con la que nuestro sistema está trabajando.

Continuando con el código se observa la existencia de un botón de inicio quien contiene una condición de un bucle hasta que el código reciba una señal para iniciar el sistema, esta va a estar activo hasta que reciba una señal para detener el sistema debido a la condición de decisión del bucle creado. Esto permite iniciar nuevamente el sistema partiendo desde la condición del botón de inicio disponible siempre a cuando se desea arrancar nuevamente el sistema.

Debemos tener en cuenta que cuando se recibe una señal para iniciar el sistema se inicia también el temporizador para tomar el tiempo de procesamiento del sistema, además inicia la lectura de las imágenes provenientes de cámara de video y determina las posturas mediante el uso de estas mismas imágenes, luego se almacena en la opción de guardado y calcula el tiempo del tiempo de en qué se estaba ejecutando el sistema.

Para la determinación de las posturas forzadas a nivel del tronco se hace uso de los 33 puntos que Mediapipe pose proporciona, en nuestro caso la codificación de nuestro sistema contempla trabajar con los siguientes puntos 11, 12, 23, 24, 25 y 26 los cuales se muestran en la figura 6-3 correspondiente a la representación de los 33 puntos de mediapipe pose. Estos números corresponden a la ubicación de puntos con respecto a las partes del cuerpo humano cuya traducción es se muestra a continuación:

- 11. hombro izquierdo (left_shoulder)
- 12. hombro derecho (right_shoulder)
- 23. cadera izquierda (left_hip)
- 24. cadera derecha (right_hip)
- 25. rodilla izquierda (left_knee)
- 26. rodilla derecha (right_knee)

La utilización de estos puntos se programa en base a la norma NTE INEN-ISO 11226 correspondientes a las posturas de trabajo en el tronco. En la norma antes mencionada se observa que la postura del tronco contempla 3 condiciones, los cuales se detallan en el Capítulo 2 correspondiente a la evaluación del tronco mediante la norma antes mencionada, siendo más específico en la postura del Tronco humano, estas condiciones descritas se reflejan en la codificación del algoritmo.

Para codificación de la primera y segunda condición descrita en la norma antes mencionada se utilizan los puntos 11, 12 de los hombros izquierdo y derecho y los puntos 23, 24 que corresponden a la cadera izquierda y derecha respectivamente; para el caso 3 se utilizan los puntos 25 y 26 correspondientes a las rodillas, aunque también se puede hacer el uso de los puntos antes mencionados para su codificación realizando diferentes operaciones de ingeniería.

El siguiente diagrama muestra la codificación para la detección de la postura forzada a nivel del tronco basado en la Norma antes mencionada mediante sus parámetros de evaluación y criterios descritos en la misma.

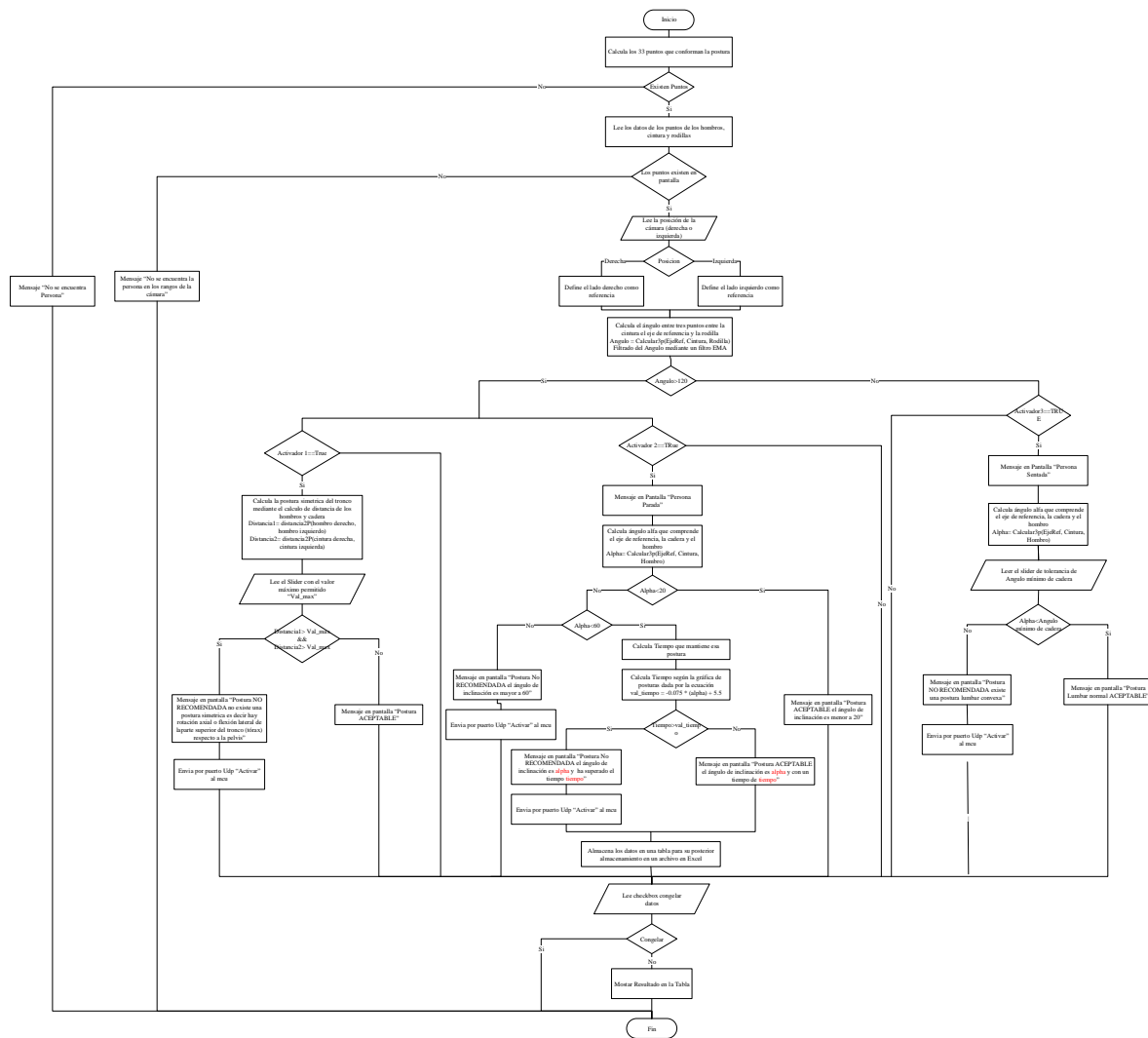


Gráfico 3-3: Diagrama de determinación de postura inadecuada

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

El diagrama para la codificación del algoritmo empieza con la determinación de los 33 puntos en del cuerpo humano en donde estas son usadas para generar una condición existencia de puntos, que da como resultado que si se encuentran los puntos el código puede continuar ejecutándose caso contrario no existen puntos, consecuente a esto se envía un mensaje de que o existe ninguna persona en frente de la cámara, pero si existe una persona esta lee los datos los hombros, cadera y rodilla de la persona.

Luego de la lectura de datos requeridos para la codificación existe una condición de que existen los puntos en la pantalla, esto permite verificar si los persona se encuentra dentro de los rangos de la cámara caso contrario se envía un mensaje de que la persona no se encuentra dentro de este rango para la su corrección. Si la persona se encuentra dentro del rango de la cámara esta debe leer la posición de la cámara ya sea derecha o izquierda, esta debe ser manipulado por el usuario mediante la slider de la aplicación GUI para tener una mejor precisión de los resultados.

En dependencia del criterio de decisión sobre la posición de la cámara define el lado derecho o izquierdo como referencia para realizar las operaciones que se van a desarrollar, luego se calcula el ángulo entre tres puntos entre la cintura el eje de referencia y la rodilla para determinar si la persona esta posición sentaba o en posición parado, la condición es que si el ángulo es mayor a 120° esta persona se encuentra en posición parado.

Este ángulo fue establecido por los autores debido a que escasas de información pertinente sobre los ángulos que son tomados en consideración para que una persona se considere que este en posición sentado o en posición parado, pero se utilizó un criterio profesional para la selección de este ángulo.

Si la persona se encuentra en posición parado se codifica de mediante el uso de dos activadores:

Activador 1 destinado a evaluar la simetría del tronco, si esta se encuentra activa calcula las distancias 1 y 2 correspondientes a los hombros y caderas, de manera consecutiva se lee el Slider con un valor máximo y esta se compara con las distancias calculadas con anterioridad si este es mayor al valor máximo se envía un mensaje de postura no recomendada de acuerdo al criterio de simetría del tronco, además se envía una señal por el puerto UDP al MCU para activar el sistema de alerta y corregir la postura inadecuada y si la distancia es menor al valor máximo se considera una postura aceptable. Aunque el método usado para evaluar la simetría del tronco es propio también se puede realizar mediante otros métodos.

Activador 2 destinado a evaluar la simetría del tronco, si esta se encuentra activa imprime un mensaje de persona en posición parada e inicia el cálculo del ángulo de inclinación utilizando el eje de referencia,

los puntos de la cadera y el hombro para luego realizar una condición de ángulo, si este es menor a 20° envía un mensaje de postura aceptable, pero si este ángulo es mayor se realiza otra condición de que si el ángulo es mayor a 60° esta envía un mensaje de postura no recomendado, además emite una señal por el puerto UDP al MCU para activar el sistema de alerta y corregir la postura inadecuada.

Si en ángulo calculado se encuentra entre los 20 y 60 grados se calcula el tiempo que la persona mantiene esa postura y también se calcula el tiempo mediante la gráfica de posturas de acuerdo a la norma utilizada para luego comparar estos ángulos mediante la condición de que si el tiempo que una persona mantiene esa postura es mayor a la gráfica de posturas de la norma esta envía un mensaje de postura no recomendado y emite una señal por el puerto UDP al MCU para activar el sistema de alerta y corregir la postura inadecuada, pero por el contrario si es menor esta envía un criterio de postura aceptable.

En esta condición de que si en ángulo calculado se encuentra entre los 20 y 60 grados se guarda los datos en una tabla para su posterior almacenamiento en un archivo Excel.

Pero si el ángulo de para determinar si una persona se encuentra en posición parado o sentado es menor a 120° es evaluado mediante una condición de un activador 3 si este está activo envía un mensaje de persona en posición sentado y se calcula el ángulo que comprende el eje de referencia, la cadera y el hombro siendo este el complementario del ángulo de cadera.

En ese mismo momento se lee la slider con un ángulo mínimo de cadera para luego compararlos, si ángulo calculado es menor esta envía un mensaje de postura aceptable, pero si este ángulo es mayor se envía un mensaje de postura no recomendado además de emitir una señal por el puerto UDP al MCU para activar el sistema de alerta y corregir la postura inadecuada.

Al finalizar se lee QCheckBox de congelar datos si esta se desactiva me permite congelar los datos presentes en la tabla de la pantalla principal, esto se realiza con la finalidad de visualizar de una mejor manera los resultados.

Los diagramas usados para la determinación del ángulo entre 3 puntos y la distancia entre dos puntos utilizados en la codificación del algoritmo del diagrama anterior se realiza de la siguiente forma.

Calculo 3P (Ángulo entre 3 puntos)

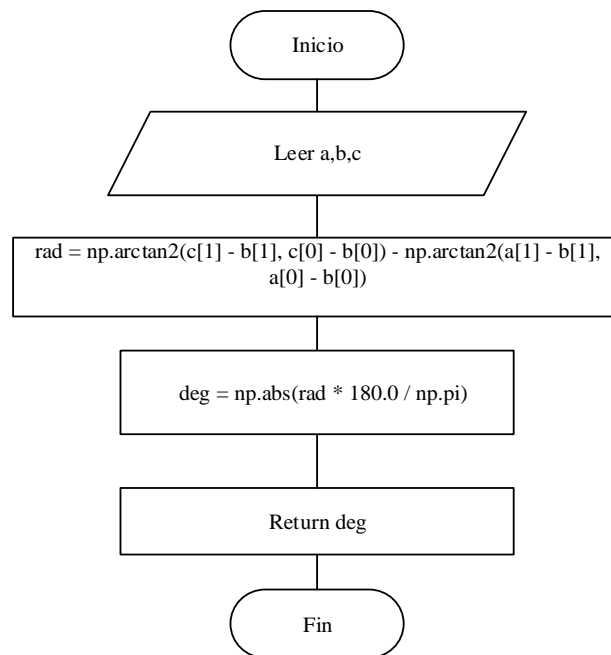


Gráfico 4-3: Diagrama del ángulo formado entre 3 puntos

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

El diagrama anterior muestra la codificación de un ángulo de formado entre 3 puntos, el cual empieza con la lectura de los puntos de donde se requiere calcular el ángulo y de manera seguida se aplica su fórmula y se obtiene el ángulo en radianes para luego transformar a grados.

Cálculo 2P (Distancia entre dos puntos)

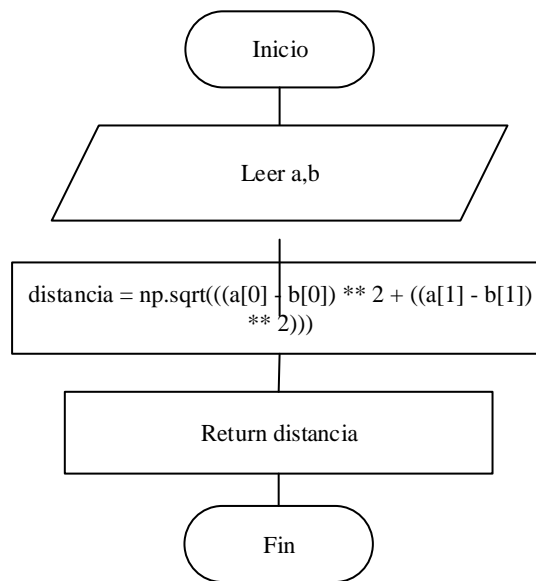


Gráfico 5-3: Diagrama de distancia entre 2 puntos

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

El diagrama muestra la codificación de la distancia entre dos puntos, el cual empieza con la lectura de los puntos del cual se requiere conocer la distancia.

Un análisis fundamental sobre el funcionamiento del prototipo es la capacidad de guardado de la información, esto se desarrolló mediante el diagrama de a continuación.

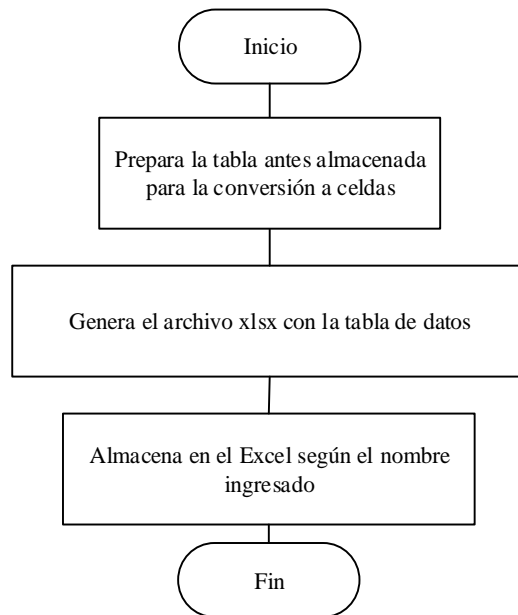


Gráfico 6-3: Diagrama de Almacenamiento de datos

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

En el diagrama mostrado se puede observar que primero se prepara la tabla almacenada para su conversión en celdas, luego se genera un archivo.xlsx. Con la tabla de datos y finalmente se almacena en Excel asignándole un nombre al archivo. Este almacenamiento de datos es muy importante debido a que con estas se puede saber el comportamiento que tuvo el tronco de la persona bajo estudio.

2.3.4. Construcción del Sistema de Alerta

El sistema de alerta permite dar una advertencia al operario que cambie de postura debido a que si da continuidad en la misma postura esta puede ocasionar problemas en su salud a mediano y largo plazo, este sistema será ubicado en el corrector de postura en la zona de la espalda.

2.3.4.1. Pasos para la construcción

Primeramente, se seleccionó los elementos que conformaran el sistema de alerta los cuales se detallan a continuación:

- 1 microcontrolador ESP32
- 1 micromotor vibrador
- 1 transistor 2N2222
- 1 resistencia de $470 \pm 5\%$ Ohm
- 1 resistencia de $220 \pm 5\%$ Ohm

1 led

Posterior a esto se diseñó el circuito como se muestra en la figura

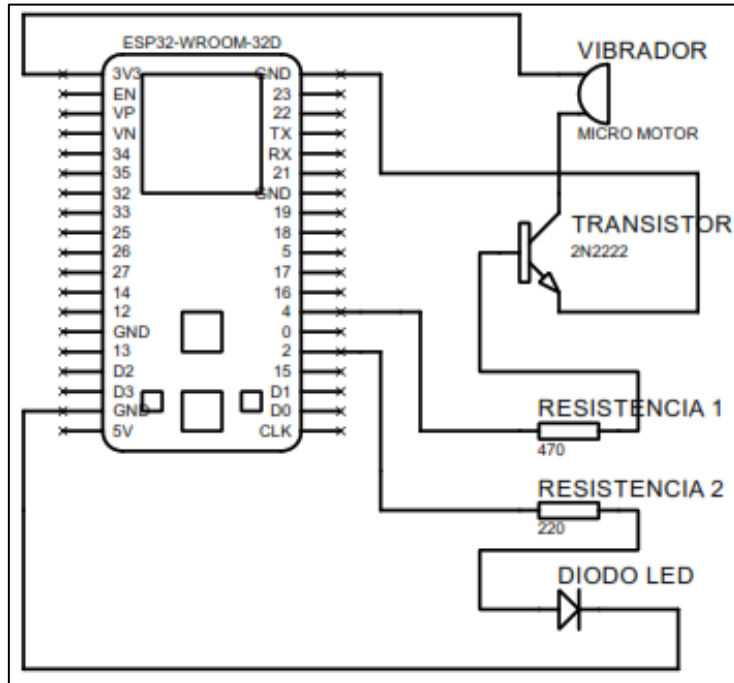


Figura 15-3: Diseño del circuito del sistema de alerta

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

Luego de esto se realizó la PCB para poder ensamblar los elementos como se muestra en la figura 22-3.

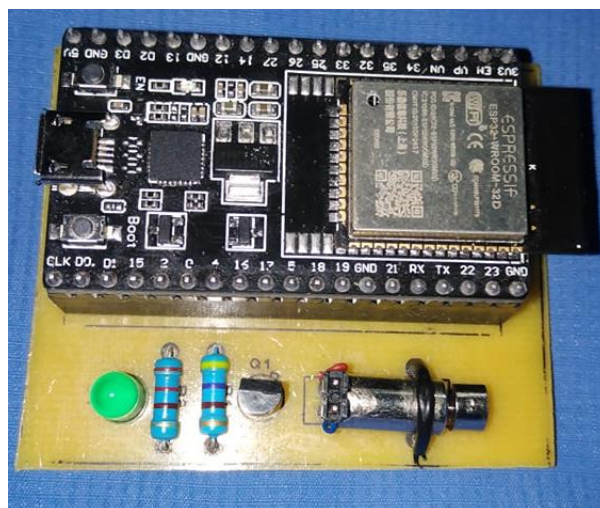


Figura 16-3: Sistema de alerta

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

Una vez ensamblados los componentes en la PCB se realizó la codificación del MCU ESP32 en el IDLE de Arduino.

2.3.4.2. Configuración IDE de Arduino para programar el MCU ESP32.

Para programar la tarjeta ESP32 debemos configurar el IDE de Arduino ya que por defecto está configurado para productos de Arduino, los pasos a seguir se detallan a continuación:

- Abrir el programa Arduino y dentro del menú Archivo nos dirigimos a la opción de Preferencias y la seleccionamos.
- En la ventana desplegada nos dirigimos a la opción de Gestor de URLs Adicionales de Tarjetas y pegamos la dirección: https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json y presionamos OK, mediante esta dirección el gestor de tarjetas tendrá acceso a módulos y placas ESP32 de varios fabricantes.

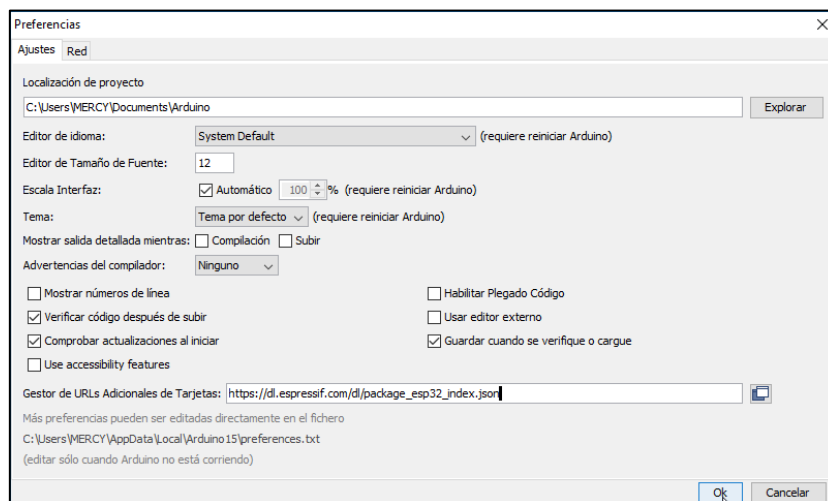


Figura 17-3: Ventana Preferencias

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

- Una vez configurado la ventana Preferencias nos dirigimos al menú Herramientas y dentro de este al submenú Placa en donde encontraremos la opción de Gestor de tarjetas como en la gráfica que se muestra a continuación.

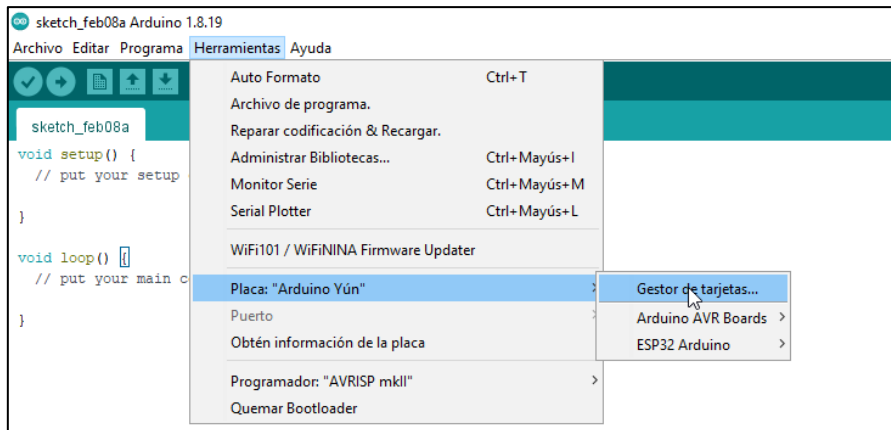


Figura 18-3: Gestor de tarjetas

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

- Una vez seleccionado la opción de Gestor de Tarjetas se abre una ventana nueva donde digitaremos ESP32 en la barra de búsqueda y seleccionamos la opción instalar, una vez instalado cerramos la ventana.
- Instalado la tarjeta ESP32 nos dirigimos nuevamente al menú Herramientas, después al submenú Placa donde aparece la tarjeta ESP32 Arduino y seleccionamos la opción DOIT ESP32 DEVKIT V1.

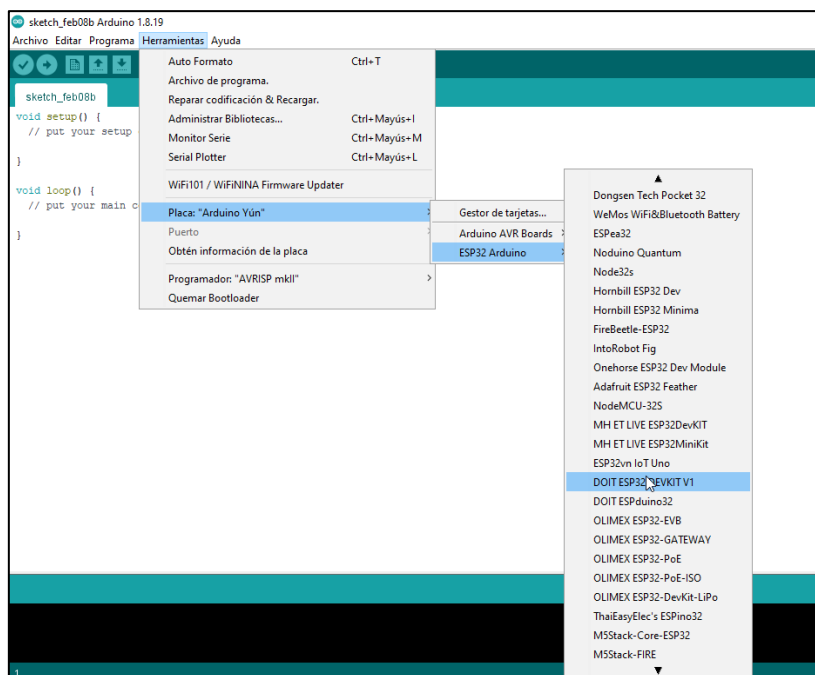


Figura 19-2: Selección de la Tarjeta ESP32

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

Una vez que se ha realizado todos los pasos tenemos configurado el IDE de Arduino para empezar con la codificación del módulo ESP32.

2.3.4.3. Codificación ESP32

La codificación del ESP32 es muy importante ya que de esta depende en gran medida el sistema la funcionalidad del sistema de alerta, debido a ello se ha realizado un diagrama esquemático del algoritmo a seguir.

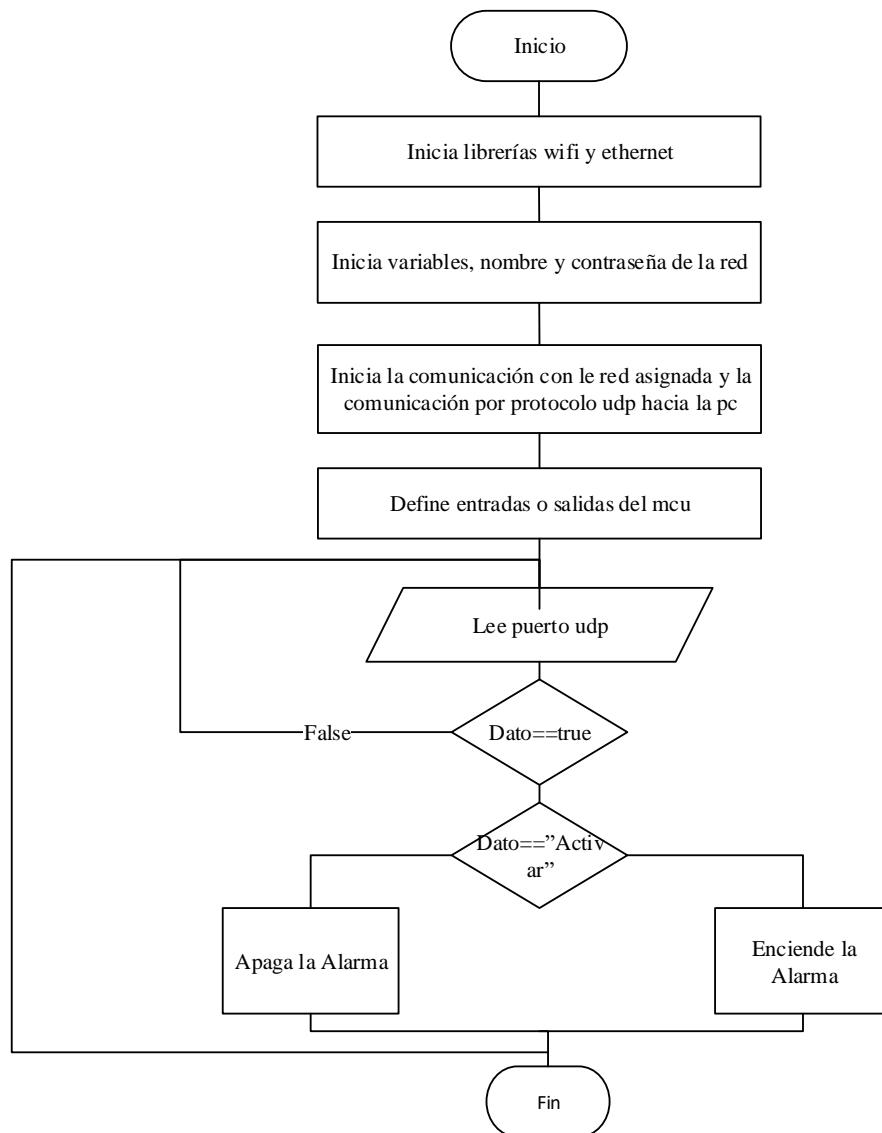


Gráfico 7-3: Diagrama de funcionamiento del módulo ESP32

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

El algoritmo empieza con el proceso de incluir las librerías de wifi y ethernet que proporciona el módulo ESP32 las mismas que servirán para poder conectarnos a la red, luego inician las variables y se configura el nombre y contraseña de red, además se realiza la comunicación con la red asignada y la comunicación

mediante el protocolo UDP, luego de esto se define las entradas y salidas del ESP32, a continuación se leerá el puerto UDP para el ingreso de datos y si el dato de entrada corresponde a Activar se enciende el micromotor vibrado si no permanece apagado.

2.3.4.4. Comunicación Ordenador- Python -ESP32

Para el funcionamiento del sistema de alerta con el trabajador de manera inalámbrica se debe establecer la conexión mediante Python que es donde se desarrolló la codificación del sistema de detección y alerta de posturas forzadas, esta comunicación se logra siguiendo los siguientes puntos:

- En el IDE de Arduino configurar el nombre de la red y la contraseña a la que se va a conectar el módulo ESP32, esto se lo realiza antes de cargar el código en la placa ESP32



The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar reads "tesisPostura Arduino 1.8.13". The menu bar includes "Archivo", "Editar", "Programa", "Herramientas", and "Ayuda". The toolbar contains icons for file operations and a search icon. The main text area shows the following code:

```
#include <WiFi.h>
#include <WiFiUdp.h>
const int m=4;
const int led=2;
const char* ssid = "Postura";
const char* password = "123456789@";

WiFiUDP Udp;
unsigned int localUdpPort = 3333; // local port to listen on
char incomingPacket[255]; // buffer for incoming packets
boolean act=false;
int estado;
int periodo = 1000;
```

An orange oval highlights the lines defining the SSID and password: `const char* ssid = "Postura";` and `const char* password = "123456789@";`. A green arrow points to the right from the oval.

Figura 20-3: Configuración del nombre de red y contraseña

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

- Activar la conexión a internet y la zona de cobertura móvil en el ordenador
- El módulo ESP32 se conecta de manera automática a la red.
- Dentro de la configuración de redes y recursos compartidos se encuentra el conectado el módulo ESP32, junto a este se encuentra la dirección IP que lo utilizaremos posteriormente.

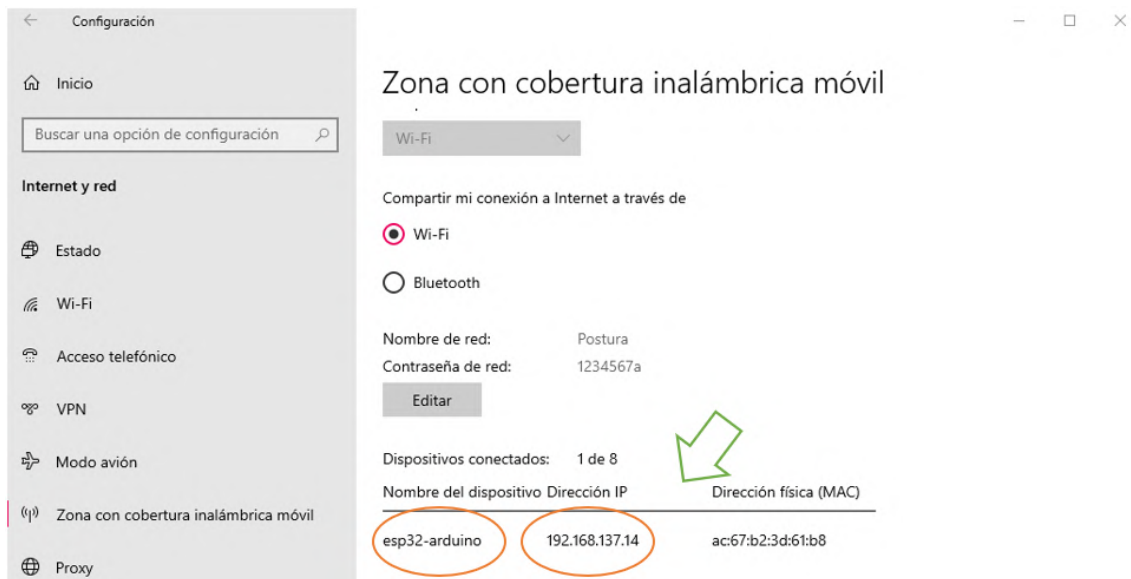


Figura 21-2: Conexión del dispositivo y su dirección IP

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

- Ubicar la dirección IP en del ESP32 en la codificación de Python.

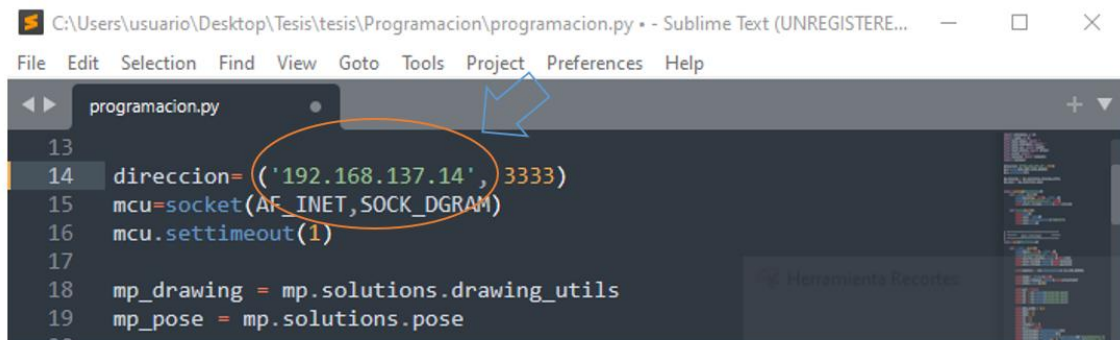


Figura 22-3: Ubicación de la dirección IP del ESP32

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

2.3.5. Interfaz con el usuario

2.3.5.1. Menú Principal

En el Menú Principal tiene la característica de ser la ventana de presentación, en esta encontramos el tema del trabajo, los autores, director y miembro, además de los sellos de la institución y la carrera. Esta ventana cuenta con un botón principal con el nombre de **Empezar** que dirigirá al apartado del menú

INICIO donde encontraremos todas los parámetros tomados en cuenta en el desarrollo de nuestro sistema.



Figura 23-3: Menú principal

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

2.3.5.2. Menú Inicio

En esta ventana se encuentra todos los parámetros para evaluar al operario durante la jornada de trabajo, estos parámetros están fundamentados en la norma INEN 11226: EVALUACION DE POSTURAS DE TRABAJO ESTÁTICAS, este menú consta de distintos elementos seleccionados para cumplir el objetivo del prototipo.



Figura 24-3: Menú Inicio

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

En este menú se describen todos los parámetros que forman parte del INICIO, los mismos que fueron creados en el software Qt Designer y para una mejor comprensión han sido enumerados como se muestra en la figura anterior. Los parámetros 1,2,3 y 12 se encuentran en un QGroupBox con el nombre de CONFIGURACIÓN, de igual manera los parámetros 4,5,6,7,8,9,10 y 11 se encuentran dentro de un QGroupBox con el nombre de CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS

1. Cámara: Este parámetro se utiliza para poder visualizar la imagen adquirida por la cámara Logitech HD Pro en tiempo real. Una vez ajustados todos los parámetros podremos visualizar al operario con los 33 puntos de referencia que proporciona la solución MediaPipe Pose los mismos que sirven para realizar un análisis de la postura adoptada por el operario y dar alerta en caso de que adquiera una postura forzada.
2. Iniciar: Cuando se pulse sobre este botón empezará a correr el algoritmo.
3. Detener: Cuando se pulse sobre este botón detendrá todo proceso que se esté llevando a cabo.
4. Característica Postural: En esta tabla se evaluación las 3 condiciones de para la evaluación de la postura a nivel del tronco fundamentadas en la norma INEN 11226
5. Estado de la persona: Este parámetro indica si el operario a evaluar está en posición sentada, en posición parada, si no se encuentra la persona dentro de los rangos de la cámara o si no se encuentra ninguna persona.

6. Ver puntos: Este parámetro permite visualizar los 33 puntos de referencia proporcionados por MediaPipe Pose, cabe recalcar que indistintamente si este parámetro esta activado o desactivado no interfiere en ningún proceso.
7. Congelar Datos: Este parámetro cuando se encuentre activo permite mantener estático el panel CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS para que el usuario pueda visualizar de mejor manera los resultados arrojados en el parámetro CRITERIO.
8. Posición de la cámara: Este parámetro permite ubicar si la cámara enfoca el perfil derecho o izquierdo del operario.
9. Tolerancia Tronco Simétrico: Este parámetro permite aumentar y disminuir el grado de simetría del tronco evaluado en la primera condición de la evaluación de la postura del tronco de la NORMA INEN 11226.
10. Tolerancia Angulo de Posición Sentada: Este parámetro permite aumentar y disminuir el ángulo de cadera evaluado en la tercera condición de la evaluación de la postura del tronco de la NORMA INEN 11226.
11. Criterio: Este panel permite mostrar los resultados de las condiciones fundamentadas en la norma INEN 11226.
12. Guardar: Este parámetro permite guardar en un archivo Excel el ángulo y el tiempo que adopta ese ángulo evaluado en la segunda condición de la evaluación de la postura del tronco de la NORMA INEN 11226.

2.4. Validación y Pruebas de Funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento se realizaron para poder encontrar limitaciones del prototipo y la validación se realizó para comprobar por softwares ya establecidos dentro del mercado que los resultados arrojados por el prototipo son confiables.

2.4.1. AutoCAD

Una vez finalizado el prototipo se realizó la validación de este para comprobar que el prototipo arroje resultados confiables, en esta primera prueba se utilizó el software AutoCAD que es un software ya establecido en el mercado, lo primero es realizar varias pruebas donde se tomaron varias capturas de pantalla de la aplicación GUI de inicio para extraer los ángulos como se muestra en la figura.




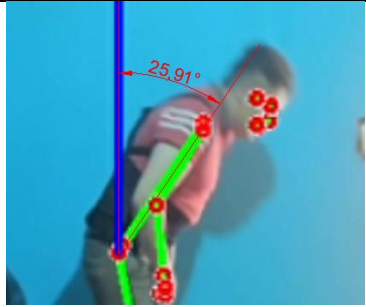

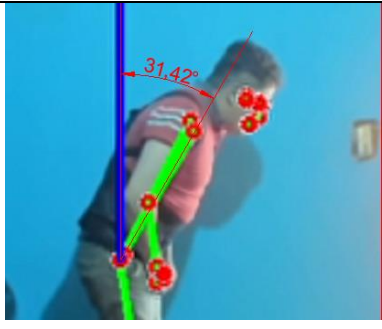
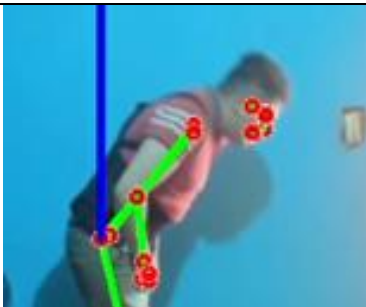
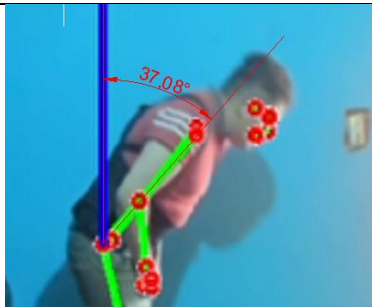

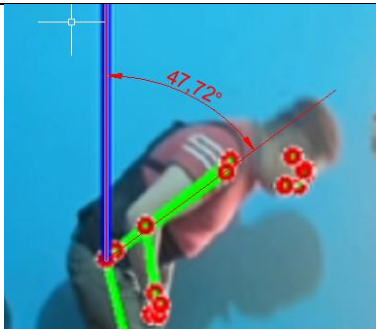
Figura 25-3: Ubicación del ángulo requerido para el análisis.

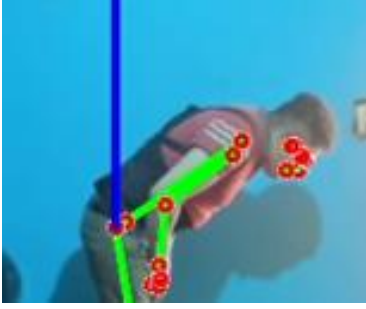
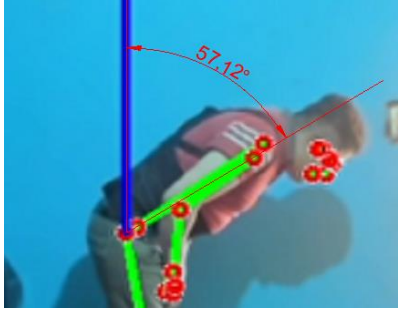

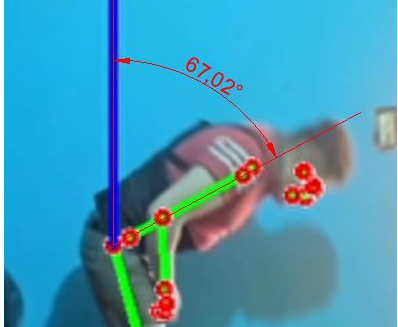
Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

Posterior a esto se recorta y utiliza la imagen tomando solo la sección de interés que en este caso es la imagen de la persona a quien se está evaluando con los puntos de referencia proporcionado por la solución MediaPipe pose, luego a esto guardamos cada captura y la copiamos en AutoCAD donde trazamos dos líneas, una vertical sobre la línea azul y otra sobre la línea que forma el hombro con la cadera que en los puntos de referencia de MediaPipe corresponde a la línea que se forma entre los puntos 12 - 24 (perfil derecho) y 11-23 (perfil izquierdo).

Para finalizar una vez que tenemos las dos líneas se forma el ángulo correspondiente al ángulo de inclinación del tronco (α), realizamos la medición de dicho ángulo acotándolo y obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 1-3: Ángulos del Prototipo vs AutoCAD

PROTOTIPO		AUTOCAD	
Fotografía	Ángulo	Fotografía	Ángulo
	25,95°		25,91°
	31,39°		31,42°
	37,1°		37,08°
	47,77°		47,72°

	57,05°		57,12°
	66,96°		67,02°

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

En la Tabla 1-3 tenemos los ángulos que proporcionan el prototipo y los ángulos proporcionados por AutoCAD donde se puede apreciar que la diferencia es muy baja, para lo cual procedimos a realizar el cálculo del Error Absoluto y el Error relativo considerando que el ángulo proporcionado por AutoCAD es la medición exacta ya que es un software 100% confiable. Teniendo en cuenta cada muestra obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 2-3: Cálculo de Error Absoluto y Error Relativo

Medición	Valor Exacto	Ea	Er
25,95	25,91	0,04	0,15%
31,39	31,42	0,03	0,10%
37,1	37,08	0,02	0,05%
47,77	47,72	0,05	0,10%
57,05	57,12	0,07	0,12%
66,96	67,02	0,06	0,09%

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

En la Tabla 2-3 se aprecia que el error relativo porcentual es menor a 1%, es decir que los resultados arrojados por el prototipo son mínimos para todas las mediciones por lo que los ángulos proporcionados por el prototipo son confiables.

Una vez verificado la confiabilidad de los ángulos se continua con las pruebas de funcionamiento acerca del cumplimiento de la norma NTE INEN 11226 explicado en el capítulo anterior, en el paso número 1 se describe la simetría del tronco en un puesto de trabajo. La funcionalidad de este paso se verifica a partir de una foto captura tomado desde la aplicación GUI extraída desde el ordenador dentro de las pruebas realizadas, esta se muestra a continuación:



Figura 26-3: Prueba de simetría del Tronco Aceptable

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

En la figura anterior se puede observar que la simetría del tronco se encuentra en un estado aceptable, observando la imagen se puede verificar de manera clara dicha condición. Por el contrario, observemos la figura que se muestra a continuación.



Figura 27-3: Prueba de simetría del Tronco con baja tolerancia

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

Encontramos que en la figura en el estado de la simetría del tronco cambia a No Recomendado debido a que el tronco de la persona se encuentra con una rotación, cabe recalcar que esto se encuentra con baja tolerancia. A diferencia de la figura que a continuación se muestra, el mismo resultado a mayor tolerancia, la persona debe presentar mayor rotación del tronco debido a su tolerancia



Figura 28-3: Prueba de simetría del tronco con alta tolerancia.

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

En la verificación del caso 2 cuando una persona realiza una inclinación del tronco como manifiesta la norma, se realizó mediante el uso de una foto captura tomado desde la aplicación GUI extraída desde el ordenador se procede a verificar la funcionalidad del prototipo mediante las pruebas realizadas.

La figura a continuación muestra a una persona en posición natural, la postura que ésta adopta es correcta por lo tanto es aceptable.



Figura 29-3: Persona en una postura natural.

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

La figura que se muestra a continuación proporciona un ángulo de inclinación del tronco de 10.29° que, de acuerdo con la norma, la inclinación del Tronco con un ángulo menor a 20° es considerada aceptable.



Figura 30-3: Inclinación del Tronco Aceptable

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

Quando el tronco se encuentra entre los ángulos de 20° y 60° se evalúa en función del tiempo, esta se muestra a continuación. La postura de la persona se encuentra en la región de aceptable debido a que el ángulo es de 40,25° con un tiempo de 146.26 segundos, siendo este aceptable por la Norma aplicada.



Figura 31-3: Inclinación del tronco Aceptable con tiempo de Permanencia

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

Una persona al momento de superar el tiempo de permanencia a un determinado ángulo el prototipo arroja una condición de No recomendado junto al criterio con que este fue evaluado como se muestra la figura a continuación.



Figura 32-3: Inclinación del tronco No recomendado con tiempo de Permanencia

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

Por el contrario, si una persona adopta un ángulo de inclinación del tronco mayor al permisible descrito en la norma ($> 60^\circ$), el prototipo de manera automática arroja una postura no recomendada y esta debe ser corregida de manera inmediata.



Figura 33-3: Inclinación del tronco No recomendado supera lo permisible.

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

Para el caso 3 cuando una persona se encuentra en posición sentado explicado en la Norma antes mencionada se procedió a realizar varias pruebas mediante el uso de una foto captura tomado desde la aplicación GUI, estas pruebas se muestran a continuación:

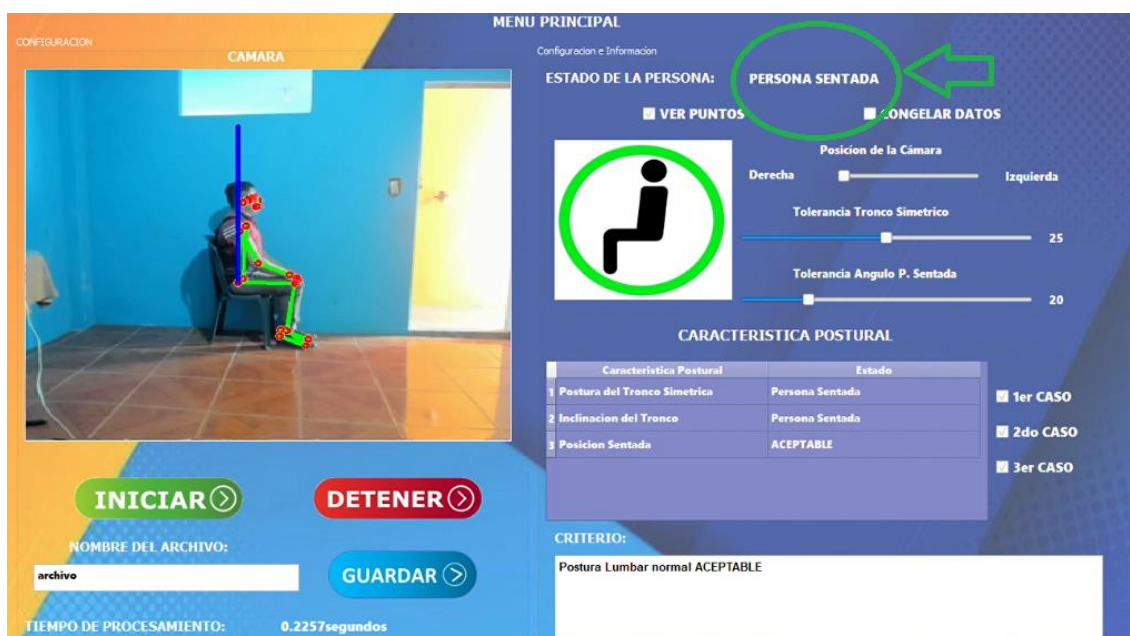


Figura 34-3: Persona en posición Sentada (1)

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

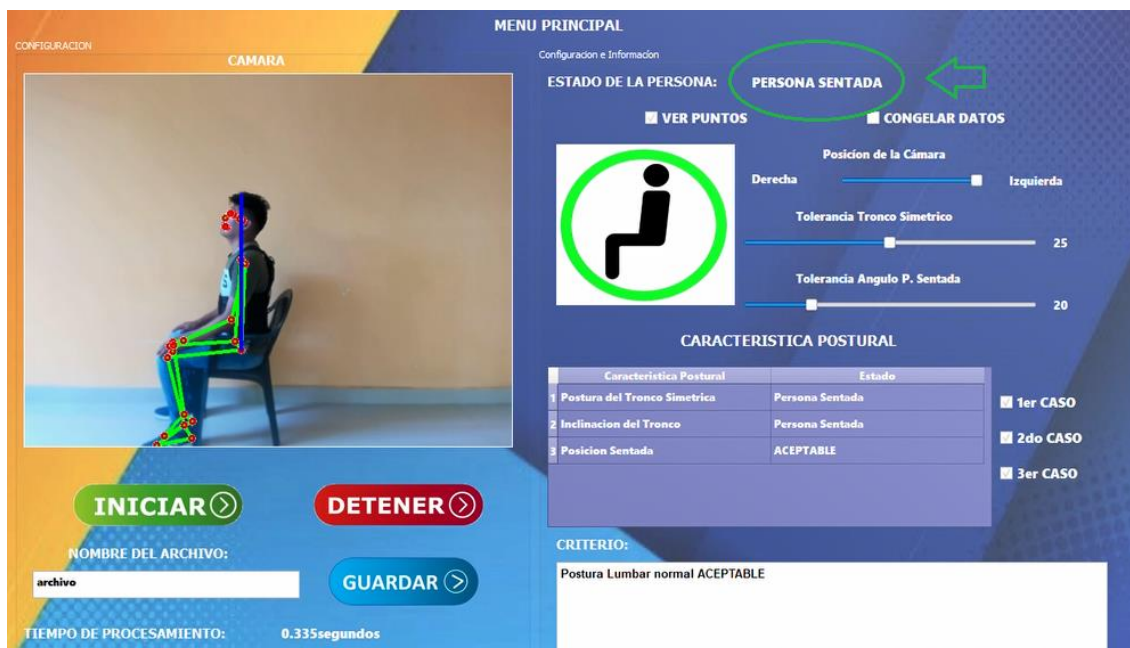


Figura 35-3: Persona en posición Sentada (2)

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

Las figuras anteriores muestran el estado de una persona sentada, en el panel de configuración e información se corrobora dicho estado y del lado izquierdo se observa que la persona efectivamente se encuentra en dicha posición, en el lado derecho dentro de la tabla de característica postural es aceptable debido a que se la persona se encuentra correctamente sentado tal como manifiesta la Norma en que fue basado el prototipo. La otra condición descrita en la Norma se muestra a continuación:

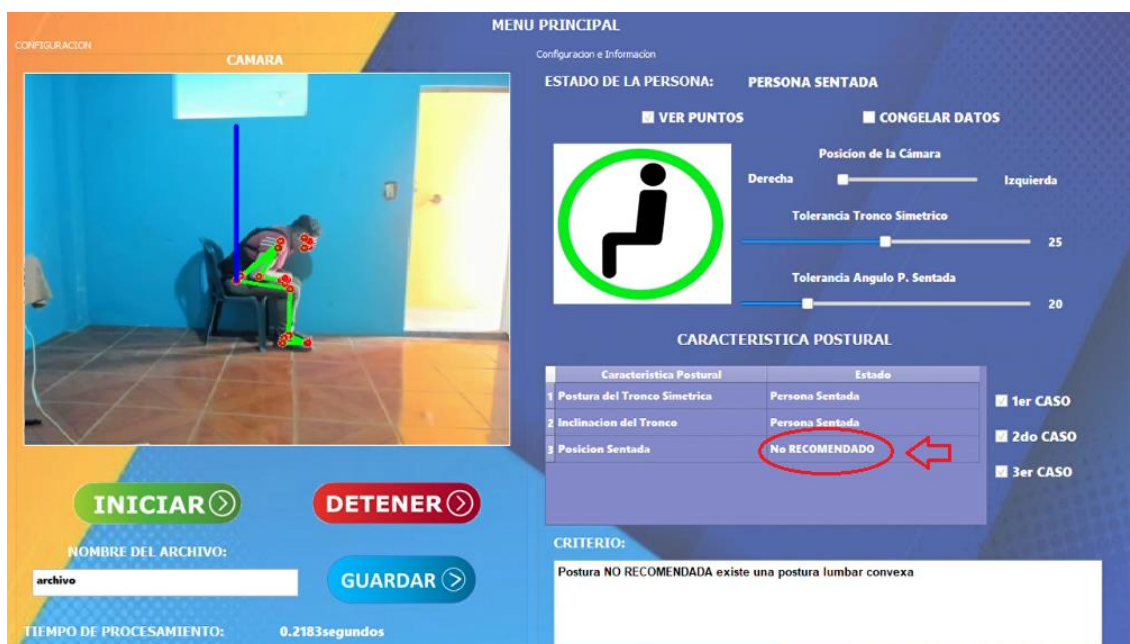


Figura 36-3: Persona con un ángulo de cadera pequeño (1)

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

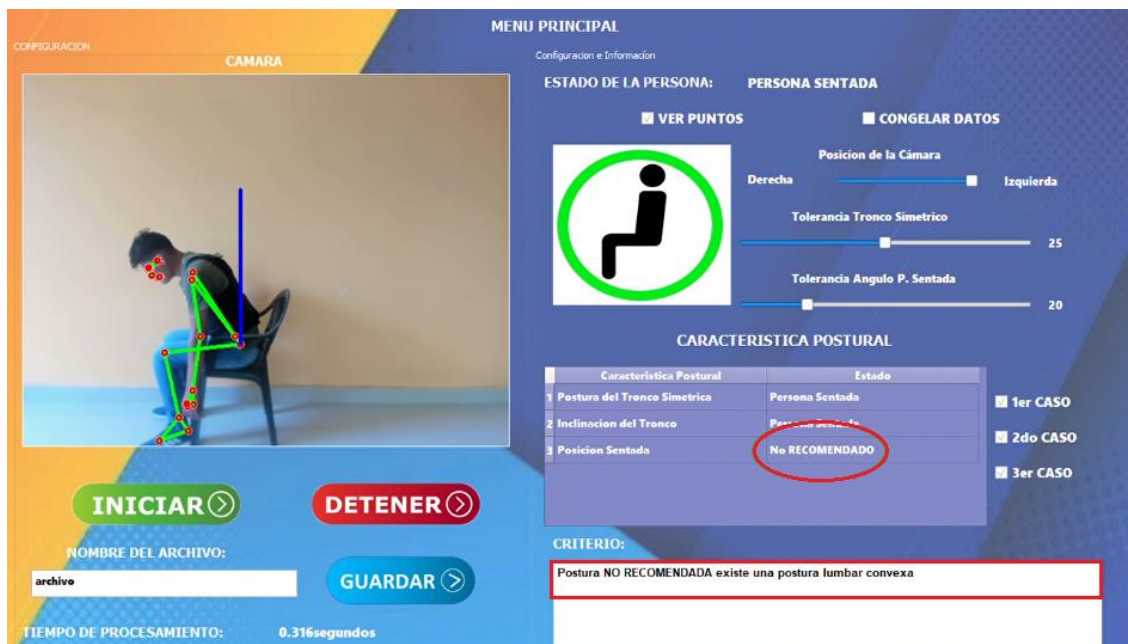


Figura 37-3: Persona con un ángulo de cadera pequeño (2)

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

La figura anterior muestra una persona en la posición sentada y se observa que la postura es no recomendada como manifiesta la norma, esto se debe existe un ángulo de cadera pequeño por lo que se debe adoptar de inmediato una postura adecuada en posición sentada.

2.4.2. Sensores iSen STT-IWS

El software iSen en conjunto con los Sensores Inerciales STT-IWS fueron utilizados también para verificar la funcionalidad del Prototipo. Este es un software especializado para la detección y seguimientos de manera precisa.

Para desarrollar esta prueba acudimos a personas calificadas en este campo, una vez realizado los preparativos de los equipos y las condiciones óptimas de funcionabilidad para los sensores y el software, se procedió a realizar una serie de pruebas en donde una persona adoptaba diferentes ángulos de inclinación del tronco, se toma en consideración el enfoque de la cámara a la zona de interés y a continuación en la imagen podemos observar que la persona se encuentra posición neutral y del lado izquierdo el esqueleto de la zona de análisis.

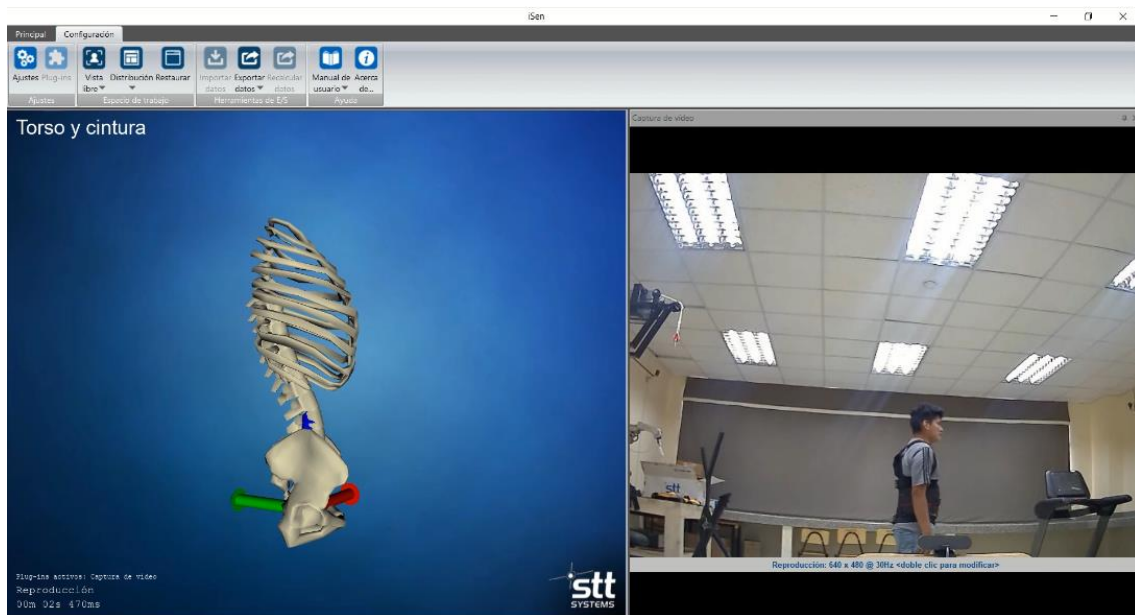


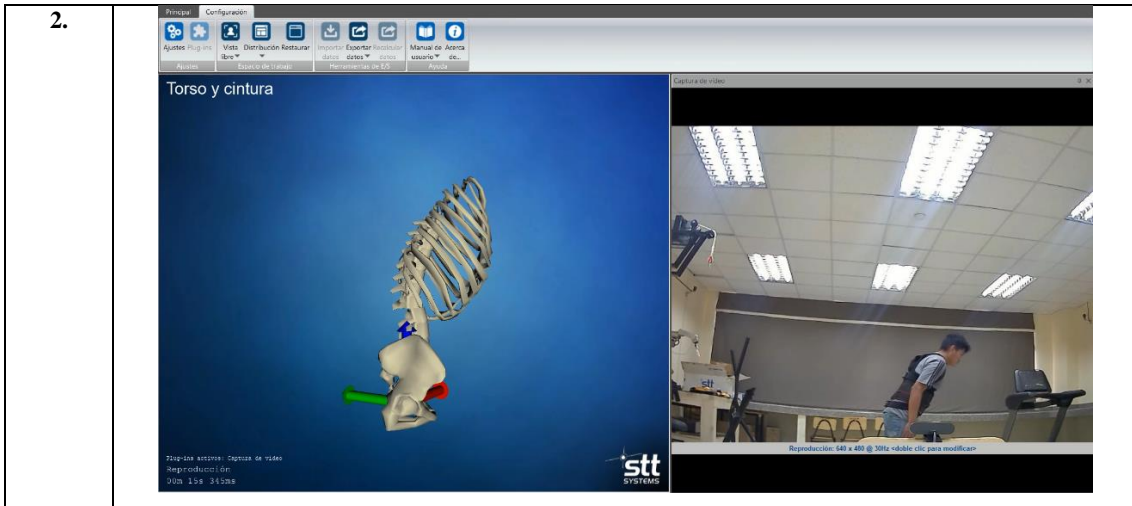
Figura 38-3: Software iSen y sensores Inerciales

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

La aplicación de esta prueba se realizó mediante la adopción de diferentes ángulos a nivel del tronco como se muestra en la tabla de a continuación.

Tabla 3-3: Inclinación del Tronco en el Software iSen.

SOFTWARE ISEN Y SENSORES INERCIALES.	
1.	



Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

Una vez realizado las pruebas a diferentes grados de inclinación del Tronco en un determinado tiempo, luego haciendo uso del mismo software se genera un informe con los resultados de dichas pruebas, esta se muestra a continuación.

POSICIÓN DE LOS SENSORES:	DESCRIPCIÓN:
	<p>Este protocolo mide el ángulo entre el torso y la pelvis proporcionando el ángulo de flexión (+) y extensión (-) de la cintura (plano sagital), flexión lateral derecha (+) e izquierda (-) (plano coronal), rotación derecha (+) e izquierda (-) (plano transversal), así como inclinación hacia atrás (plano sagital).</p>

Figura 39-3: Posición de los sensores y descripción

Fuente: (STT Systems 2018)

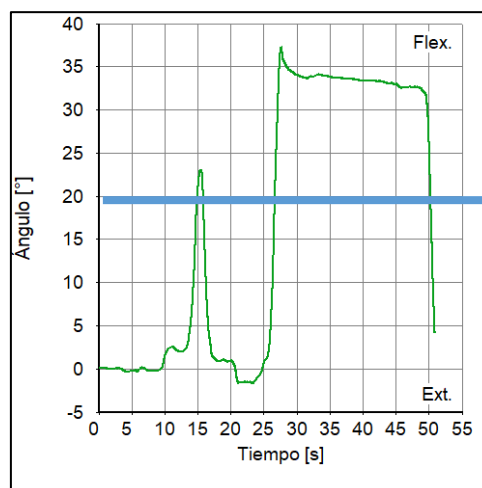


Figura 40-2: Inclinación del Tronco mediante software iSen

Fuente: (STT Systems 2018)

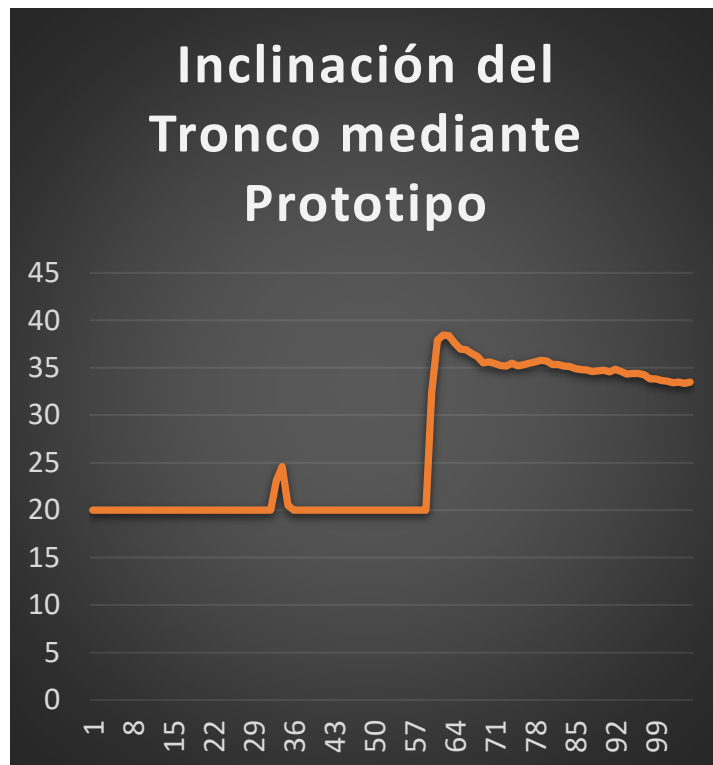


Figura 41-3: Inclinación del Tronco mediante Prototipo

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

En la figura 47-3 se aprecia la inclinación del tronco obtenida en el software iSen, donde se observan dos picos que corresponden a la inclinación del tronco en un ángulo aproximado de 24° y 37°, en la figura 48-3 correspondiente a los datos obtenido del prototipo se observa los picos de una manera muy similar.

La aplicación de la Norma en estas condiciones afirma que los ángulos formados por el tronco menores a 20° son aceptables por lo que se secciono la gráfica de la manera mostrada, la ligera diferencia entre estas radica en las características del ordenador utilizado esta afecta en bajo porcentaje al seguimiento de los movimientos de una persona en el campo aplicativo, esto ocasiona un ligero retardo en la lectura y procesamiento de datos del video streaming.

En otras pruebas realizadas en condiciones más altas de inclinación del tronco existe una ligera variación de los ángulos con respecto al software iSen debido a que este es un software especializado en el análisis de movimientos propio de sus desarrolladores, pero cabe mencionar que la Norma aplicada dentro de las condiciones de Trabajo especifica que los ángulos mayores a 60° son no recomendados, por tal motivo la confiabilidad del prototipo es alta.

Aplicación del Prototipo en los Supermercados

Una vez que se comprobó que el prototipo arroja resultados confiables, se procedió a aplicarlo a casos reales, se evaluaron a dos personas de distintos supermercados que desempeñan sus labores como cajeras, en este caso se evaluó en posición sentada y posición parada donde se obtuvieron varios resultados que se detallan a continuación:

Supermercado # 1

Prueba 1 (Posición parada)

Luego de realizar todas las pruebas con anterioridad y el prototipo sea confiable se procede a su aplicación en condiciones reales que es para lo que fue diseñado. El supermercado donde se aplicó el prototipo es el “**Comercial Sandrita**”.

Empresa

Comercial Sandrita es un supermercado dedicado a la venta de productos alimenticios de primera necesidad, bebidas, etc. al por mayor y al por menor cubriendo las necesidades y requerimiento de los clientes.

Ubicación

El Supermercado se encuentra ubicado en la Provincia de Orellana (El Coca), entre las calles Quito y Sergio Sáenz.

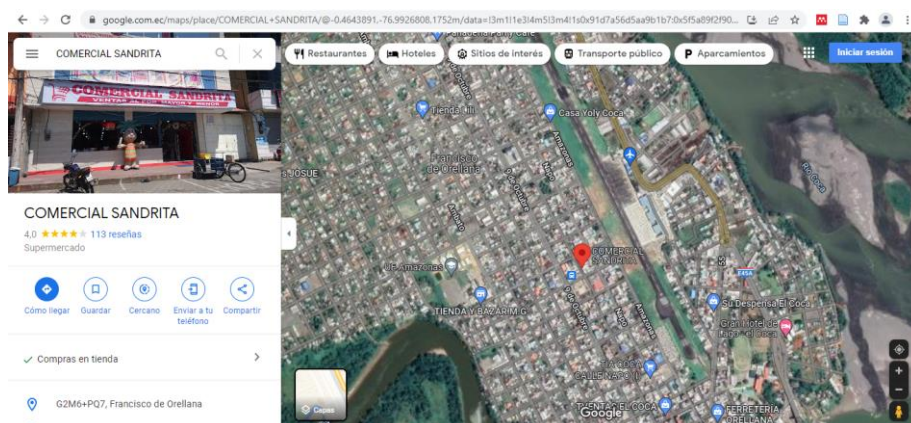


Figura 42-3: Ubicación del Comercial Sandrita

Fuente: (Google Maps)

La aplicación del prototipo en el puesto de trabajo se realizó de manera ordenada y rápida de tal manera que no afecte al rendimiento laboral del trabajador y por ende a la productividad de la empresa, para ello se aplicó de la siguiente forma.

Identificación del puesto de cajera.

Se ubicó el puesto de trabajo de cajera del supermercado donde se va a aplicar el prototipo.


Explicación de manera rápida sobre la funcionalidad del Prototipo



Se explicó de manera rápida y concreta sobre la funcionalidad del prototipo a la persona que labora en este puesto de trabajo y las formas de actuar ante el sistema de alerta.

Preparación de los equipos

Se calibró y ubicó los elementos que forma parte del prototipo. (Corrector de postura, cámara web, sistema de alerta, entre otros.)

Tabla 4-3: Preparación de los elementos del Prototipo

	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Ordenador y cámara Web	Se prepara el ordenador y se coloca la cámara de perfil a la persona en el puesto de trabajo. 
2	Corrector de Postura y sistema de Alerta	Se coloca el corrector de postura junto con el sistema de Alerta a la cajera y se verifica su funcionalidad.

		
3.	Ejecución	<p>Se prepara y se ejecuta el código en el Ordenador de manera que la aplicación GUI quede lista para operarse.</p> 

Realizado por: Tibanlombo, F.; Villacis, M.2022

Aplicación del Prototipo

Se aplica el sistema de visión artificial para la detección alerta de posturas forzadas en este puesto de Trabajo.

Una vez aplicado el Prototipo en el comercial Sandrita en el puesto de Trabajo de Cajera se obtiene los siguientes resultados que fueron tomados mediante capturas de pantalla desde la aplicación GUI del ordenador lo que permite establecer conclusiones más precisas acerca de la condición de trabajo a nivel del tronco en ese puesto de trabajo



Figura 43-3: Aplicación del sistema en el Comercial Sandrita (1)

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

En la Figura anterior se puede observar que la postura con relación a la simetría del Tronco se encuentra en un estado Aceptable, la inclinación del tronco se encuentra en un Angulo de aproximadamente 0° lo que según el criterio de la Norma es una postura a nivel del Tronco Aceptable debido a que la inclinación de esta es menor a 20° por lo que la persona trabaja en posiciones adecuadas a nivel del tronco. Además, se observa que no se evalúa la posición sentada debido a que la persona se encuentra parada.

En cuanto a la postura a nivel del tronco se encuentra de una manera adecuada, pero al observar de manera cuidadosa la imagen se puede concluir que existe una ligera inclinación de la cabeza hacia adelante lo que puede conllevar a que se generen daños a nivel del cuello si se mantiene trabajando en esa postura durante tiempos prolongados, esta postura debe corregirse hasta que el cuello se encuentre en una postura adecuada.

Prueba 2



Figura 44-3: Aplicación del sistema en el Comercial Sandrita (2)

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

En la Figura anterior se puede observar que la postura con relación a la simetría del Tronco se encuentra en un estado No recomendado debido a que la cajera ejercía también la tarea de despacho de los productos, esta postura se debe corregirse de la siguiente manera: la persona debe girar completamente quedando de frente a los productos de despacho o buscar a una persona que se encargue principalmente del despacho de productos, aunque la incidencia de esta condición fue relativamente baja se debe corregir para tener un puesto de trabajo saludable.

Además, en la misma gráfica la inclinación del tronco se encuentra en un Angulo de aproximadamente 10,67° lo que según el criterio de la Norma es una postura a nivel del Tronco Aceptable debido a que no se supera lo estipulado en la Norma, por último, se observa que no se evalúa la posición sentada debido a que la persona se encuentra posición parada.

En términos generales la postura de trabajo a nivel del Tronco en el puesto de trabajo de cajera del comercial Sandrita es adecuado y se desarrolla de acuerdo con las condiciones que establece las norma INEN 11226.

Comparación con lo evidenciado

En el primer supermercado, primera prueba se evidencio que el prototipo detecto los 33 puntos de referencia del cuerpo humano y procedió a evaluarlo , donde por condiciones naturales la cajera no ejecuto ninguna postura forzada por lo que el sistema de alerta no se activó, con esto se evidencio que el prototipo evaluó correctamente, la segunda prueba de la misma forma el prototipo detecto los 33 puntos de referencia y procedió a evaluar , donde la cajera a simple vista ejecuto una postura forzada de esta manera se encendió el sistema de alerta con lo cual se evidencio que el prototipo funciona de manera correcta y confiable. Se aclara que en este supermercado no se evaluó en posición sentada debido a que el supermercado no cuenta con sillas en estos puestos de trabajo.

Supermercado # 2

Prueba 1 (Posición sentada)

La segunda prueba se realizó para la evaluación del prototipo en un puesto de trabajo en donde la cajera se encuentra en una posición sentada, esta se realizó en el supermercado “**Punto Rojo**”.

Empresa

Punto Rojo es un supermercado dedicado a la venta de productos alimenticios de primera necesidad, bebidas, etc. al por mayor y al por menor cubriendo las necesidades y requerimiento de los clientes.

Ubicación

El Supermercado se encuentra ubicado en la Provincia de Tungurahua cantón Pelileo en la Calle Juan Montalvo y una calle del parque central

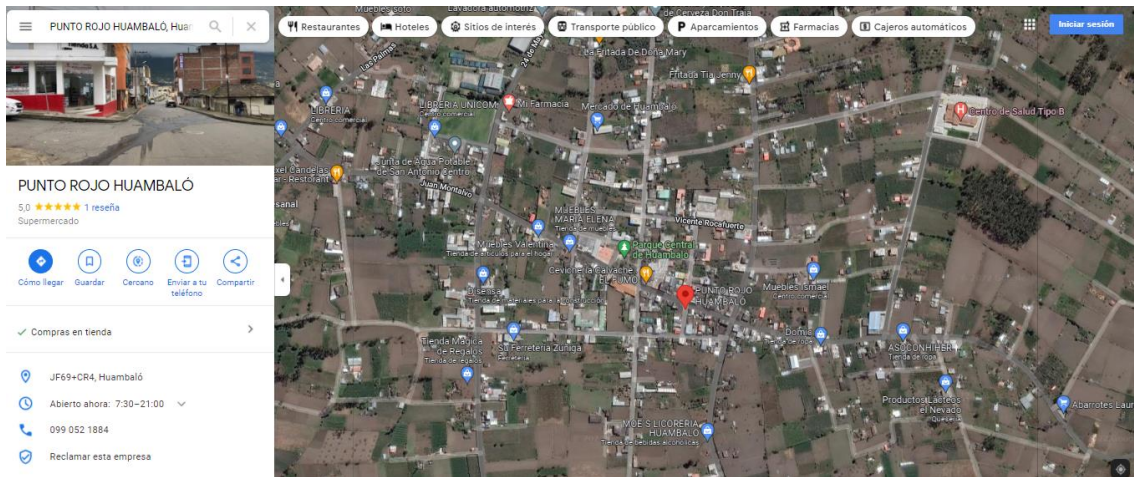


Figura 45-3: Ubicación del supermercado Punto Rojo

Fuente: (Google Maps)

La aplicación del prototipo en el puesto de trabajo se realizó de manera ordenada y rápida de tal manera que no afecte al rendimiento laboral del trabajador y por ende a la productividad de la empresa como en el caso anterior.

Después de la aplicación del sistema de visión artificial para la detección alerta de posturas forzadas en este puesto de trabajo se obtuvo los siguientes resultados tomados de captura de la aplicación GUI del ordenador:



Figura 46-3: Aplicación del sistema en el supermercado Punto Rojo (1)

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

En la Figura anterior se puede observar que el estado de la persona se encuentra en persona sentada por lo que se evalúa el caso 3 de la característica postural de la norma, donde podemos observar que la persona se encuentra en una postura Aceptable debido a que el tronco se encuentra en una posición recta debido a que el ángulo de cadera es aproximadamente 90° , siendo considerado a la tolerancia como el complemento del ángulo de cadera en este caso en particular de menor a 20° . Cabe recalcar que esta tolerancia puede ser modificada en base a los criterios del evaluador.

Aunque la postura a nivel del tronco esté en condiciones adecuadas se observa que existe una ligera inclinación de la cabeza hacia delante, lo que puede conllevar a que se generen daños a nivel del cuello a mediano y largo plazo lo que se recomienda corregir esta inclinación hasta que se encuentra en una posición adecuada.

En cuanto a la ubicación de las extremidades inferiores también es considerado inadecuado, debido a que esta debe estar en lo posible formando un ángulo de 90° entre la pierna y el muslo, es recomendable tomar acciones correctivas para lograr una postura adecuada en todo el cuerpo.

Prueba 2

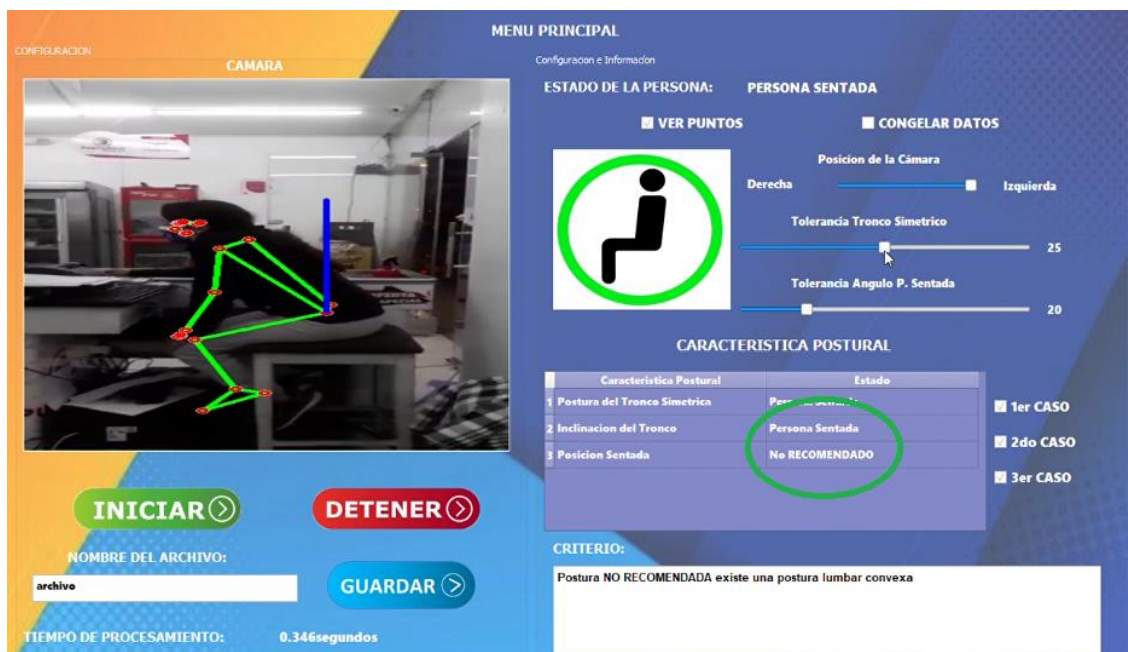


Figura 47-3: Aplicación del sistema en el supermercado Punto Rojo (2)

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

Se puede observar el estado de la persona en posición sentada es de No recomendada debido a que el tronco en posición sentada se encuentra formando un ángulo mayor a 20° descrito como la tolerancia

en posición sentada lo que conlleva a que se una postura lumbar lo cual debe corregirse para mantener una buena salud en a nivel del tronco.

Aunque la postura a nivel del tronco debe corregirse cabe recalcar que también existe una inclinación de la cabeza hacia delante, lo que puede conllevar a que se generen daños a nivel del cuello a mediano y largo plazo lo que se recomienda corregir esta inclinación hasta que se encuentra en una posición adecuada. Del mismo modo en cuanto a la ubicación de las extremidades inferiores también es considerado inadecuado, debido a que esta debe estar en lo posible formando un ángulo de 90° entre la pierna y el muslo, es recomendable tomar acciones correctivas para lograr una postura adecuada en todo el cuerpo.

Cabe mencionar que esta condición era adoptada de manera ocasional cuando se requería otorgar el vuelto sobre las compras realizadas a los clientes, esta incidencia de posturas inadecuadas debe ser relativamente o nulo de ser posible.

Comparación con lo evidenciado

En el segundo supermercado, prueba 1 se evidencio que el prototipo detecto los 33 puntos de referencia del cuerpo humano e identifico que se encuentra en posición sentada de esta manea procedió a evaluarlo , donde a simple vista la cajera no ejecuto ninguna postura forzada por lo que el sistema de alerta no se activó, con esto se comprobó que el prototipo evaluó correctamente, la segunda prueba de la misma forma el prototipo detecto los 33 puntos de referencia e identifico que se encuentra en posición sentada luego de eso procedió a evaluar , donde la cajera a simple vista ejecuto una postura forzada considerable por lo que el sistema de alerta se activó con esto se evidencio que el prototipo funciona de manera correcta y confiable. Se aclara que en este supermercado en este puesto de trabajo existía sillas en el puesto de trabajo de cajeras.

3. GESTIÓN DEL PROYECTO

3.1. Cronograma

Tabla 1-4: Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	INICIO	DURACIÓN	PORCENTAJE COMPLETADO	OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Levantamiento de información	1	4	100%	■	■	■	■																
Diseño del Prototipo	2	6	100%		■	■	■	■	■														
Selección de elementos para la identificación de posturas	4	4	100%				■																
Selección de elementos para el sistema de alerta	4	4	100%				■																
Cotización de elementos	5	5	100%					■															
Adquisición de los elementos	5	8	100%					■	■	■	■												
Codificación del algoritmo para la identificación de posturas	6	12	100%						■	■	■	■	■	■									
Ensamble del circuito del sistema de alerta	12	13	100%											■	■								
Codificación del algoritmo para el sistema de alerta	13	15	100%											■	■	■							
Pruebas de funcionamiento y validación del prototipo	16	20	100%														■	■	■	■	■		

Realizado por: Tibanlombo, F.; Villacis, M.202

3.2. Recursos y materiales: humanos, equipos y financiamiento

3.2.1. Presupuesto

Tabla 2-4: Presupuesto

Actividad	Cantidad	Precio unit.	Total
Materiales			
PC HP Core i5 10 THGEN	1	\$800,00	\$800,00
Cámara web Logitech BRIO con video Ultra HD 4K y HDR	1	\$280,00	\$280,00
Modulo MCU ESP32	1	\$12,00	\$12,00
Micromotor vibrador	1	\$3,50	\$3,50
Transistor 2n2222	1	\$0,35	\$0,35
Resistencia	2	\$0,10	\$0,20
Power Bank 10000 mAh	1	\$15,00	\$15,00
Diodo Led	1	\$0,50	\$0,50
Elementos para PCB	1	\$4,00	\$4,00
Corrector de postura	1	\$20,00	\$20,00
Bolsillo para el sistema de alerta	1	\$2,00	\$2,00
Transporte			
Viaje terrestre	2	\$50,00	\$100,00
Gastos extras	1	123,755	\$123,76
		Total	\$1.361,31

Realizado por: (Tibanlombo F & Villacis M, 2022)

3.2.2. Talento Humano

Fabian Mauricio Tibanlombo Bayas

Manuel Alexander Villacis Hidalgo

Ing. Eduardo García Cabezas, Ing. Juan Carlos Cayán Martínez

3.2.3. Recursos Materiales

Se utilizaron los componentes electrónicos mencionados en la tabla 2-4 en la sección de materiales y el software ISEN proporcionado por la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO

Se utilizaron medios de transporte terrestre para poder trasladar al estudiante hasta la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO para realizar las pruebas de funcionamiento y la validación del prototipo haciendo uso de los sensores inerciales proporcionados por la universidad en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Industrial.

CONCLUSIONES

Se utilizó los parámetros fundamentados en la norma INEN 11226 correspondientes a la evaluación de la postura del Tronco en condiciones de trabajo estáticos con la finalidad de evaluar y evitar los riesgos laborales para las personas que trabajan de cajeras en los puestos de trabajo de los supermercados.

En base al diseño y algoritmo del prototipo se utilizó una cámara Web Logitech Brio 4k la misma que es perfecta para trabajar con visión artificial, además se utilizó un ordenador Marca HP Core i5 de décima generación, el mismo que no cuenta las características adecuadas, pero logró cumplir los requerimientos del diseño, finalmente se utilizó módulo ESP32 el mismo que es idóneo para vincular Python-Arduino.

Se utilizó el software Python como herramienta principal para la codificación del algoritmo que permitió identificar y valorar las posturas de trabajo a nivel del tronco mediante el uso de librerías Open Source propios de Python, también se utilizó el IDE Arduino para la configuración y codificación del módulo ESP32 utilizado para el sistema de alerta.

Mediante la utilización de una red wifi se definió el sistema de alerta basado en la utilización de sockets los mismos que permitió establecer una conexión cliente-servidor (Máster-esclavo) entre Python-ESP32 a través de una dirección IP, de esta manera se alertó e incitó al usuario a tomar acciones correctivas si este ha adoptado una postura forzada a nivel del tronco en el puesto de trabajo de cajera en los Supermercados.

Se utilizó el software iSen juntamente con los sensores inerciales para comparar el ángulo de inclinación del Tronco arrojado por el prototipo y el software de manera simultánea obteniendo a partir de estos resultados similares por parte del prototipo con respecto al software.

Se realizó las pruebas de funcionamiento en base a la Norma INEN 11226 donde se obtuvieron varios resultados los mismos que fueron comprobados, además se concluyó que el prototipo cumplió con las expectativas generando acciones correctivas en los trabajadores que laboran en ese puesto de trabajo debido a que estas caían con posturas inadecuadas a nivel del tronco, también se concluyó que el prototipo puede ser aplicable a diferentes áreas de trabajo siempre y cuando sea un puesto de trabajo con posturas estáticas.

RECOMENDACIONES

Para el puesto de trabajo del Comercial Sandrita debe ubicar el ordenador en una altura adecuada debido a que la cajera presenta ligera inclinación de la cabeza hacia delante lo que puede conllevar a que se generen daños a nivel al cuello a mediano y largo plazo si se mantiene trabajando en esa postura durante tiempos prolongados, además cuando la cajera realice la actividad de despacho debe ubicarse en frente de los productos de despacho para mantener la simetría del tronco y de esta manera eliminar la presencia de estos riesgos en este puesto de trabajo.

Para el puesto de trabajo del Punto Rojo se recomienda también ubicar el ordenador en una altura adecuada debido a que la cajera presenta ligera inclinación de la cabeza hacia delante lo que puede conllevar a que se generen daños a nivel al cuello además la ubicación de las extremidades inferiores debe estar en lo posible formando un ángulo de 90° entre la pierna y el muslo para ello debe adquirir una silla de altura autorregulable o de manera más simple adquirir un soporte que permita la elevación de los pies, esto permitirá eliminar en gran la presencia de riesgos ergonómicos presentes en ese puesto trabajo.

Para tener un rendimiento óptimo del sistema de alerta durante la jornada laboral, debe mantener la Power Bank con una capacidad de carga del 100% debido a que esta es la fuente de alimentación de todo el circuito del sistema de alerta.

Para tener una mejor eficiencia del prototipo, se debe ubicar la cámara en un lugar adecuado de manera que no genere interferencias con la visión de la cámara hacia el operario.

Se debe mantener los componentes electrónicos que integran el sistema de alerta libre de suciedad e impurezas que puedan ocasionar daños al circuito provocando su inutilización

Para tener mejor eficiencia en la recolección y procesamiento de datos, se recomienda tener un ordenador igual o superior al utilizado en este trabajo de titulación

Se recomienda a toda la comunidad educativa completar el estudio con el análisis de todas las partes del cuerpo humano donde estén involucradas posturas de trabajo estáticas utilizando la visión artificial como objeto principal de la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, L. *Diseño y desarrollo de un módulo para determinar la postura humana empleando técnicas de visión artificial y reconocimiento de patrones como herramienta de soporte en el desarrollo de la motricidad gruesa de niños con discapacidad.* [en línea]. Cuenca-Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2020. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18689/1/UPS-CT008743.pdf>.

AMAZON. *Micromotor de vibración.* [en línea]. [Consulta: 28 enero 2022 a]. Disponible en: https://www.amazon.com/-/es/Tatoko-vibraci%C3%B3n-0-236-0-394-el%C3%A9ctricos/dp/B07PXZSP7J/ref=psdc_306577011_t2_B07PJDSRC7

AMAZON. *Corrector de postura de espalda superior para hombres y mujeres.* [en línea], [Consulta: 28 enero 2022 b]. https://www.amazon.com/s?k=jntar+corrector+de+postura+de+espalda&__mk_es_US=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&crd=1TZ5OSXH2HKK5&srefix=jntar+corrector+de+postura+de+espalda+%2Caps%2C151&ref=nb_sb_noss

GONZÁLEZ, A.; et al. *Técnicas y Algoritmos Básicos de Visión Artificial.* [en línea]. S.l.: Universidad de La Rioja. 2006. ISBN 84-689-9345-X. Disponible en: <https://investigacion.unirioja.es/documentos/5c13b22ac8914b6ed3778a6a>.

BARANDA, de P.S.; et al. *La Columna Vertebral del Escolar.* 2017. S.l.: Wanceulen Editorial. ISBN 978-84-9823-335-3.

CABRERA, J. & PUGO, E. *Diseño y Construcción de un Sistema Inteligente Para la Detección de Malas Posturas Sobre la Columna Vertebral al Sentarse.* [en línea]. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. 2018. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16205>.

CÁMARA WEB LOGITECH BRIO CON VIDEO ULTRA HD 4K Y HDR. [en línea]. [Consulta: 13 enero 2022]. Disponible en: <https://www.logitech.com/es-roam/products/webcams/brio-4k-hdr-webcam.html>.

CANDO, D. & GAIBOR, J. *Diseño e Implementación de un Sistema Autónomo Basado en Visión Artificial Para la Evaluación Ergonómica de Posturas Aplicando el Método Rula.* 2017. Propuesta Tecnológica. Riobamba: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

CAZORLA, M.; et al. *JavaVis: una librería para visión artificial en Java.* [en línea]. S.l.: Universitat de les Illes Balears. 2001. Servei de Publicacions i Intercanvi Científic. [Consulta: 12 noviembre 2021]. ISBN 978-84-7632-657-2. Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/12363>.

CONSEJO INTERTERRITORIAL DEL SISTEMA NACIONAL DE SALUD (ESPAÑA) y COMISIÓN DE SALUD PÚBLICA. *Posturas forzadas*. Madrid: Ministerio de Sanidad y Consumo, Centro de Publicaciones. 2000. ISBN 978-84-7670-551-3. Disponible en: <https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/posturas.pdf>

DELGADO, A. *Anatomía humana funcional y clínica*. 2017. S.2.: Programa Editorial UNIVALLE. ISBN 978-958-765-518-6. Disponible en: <https://www.perlego.com/book/1900875/anatoma-humana-funcional-y-clnica-pdf>

GARRIDO, P. *Comenzando a programar con JAVA*. S.l.: Universidad Miguel Hernández., 2015, ISBN 978-84-16024-24-7. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=4v8QCgAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>

GEEK FACTORY. *Esp32-Devkitc v4 con Esp32-Wroom-32D o 32U*. [en línea]. [Consulta: 28 enero 2022]. Disponible en: <https://www.geekfactory.mx/tienda/tarjetas/compatibles-con-arduino/esp32-devkitc-v4-con-esp32-wroom-32d-o-32u/>.

GONZÁLES R. *Python para todos*. S.l.: s.n. Disponible en :<https://duenaslerin.com/tico2/pdfs/python-para-todos.pdf>

GRANDJEAN, E. & HÜNTING, W. *Ergonomics of posture—Review of various problems of standing and sitting posture*. 2022. vol. 8, no. 3, pp. 135-140. ISSN 0003-6870. DOI 10.1016/0003-6870(77)90002-3. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/journal/applied-ergonomics>

HAMILL, J.; et al. *Biomechanical basis of human movement*. 2015. S.4.: Wolters Kluwer. ISBN 978-1-4511-7730-5. Disponible en: <https://somepomed.org/wp-content/uploads/2018/01/Joseph-Hamill-Biomechanical-Basis-of-Human-Movement.pdf>

HINOJOSA, A. *Python paso a paso*. 2015. [en línea]. S.l.: RA-MA Editorial. ISBN 978-84-9964-612-1. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/107213>.

INEN. *Ergonomía-Evaluación de posturas de trabajo estáticas (ISO 11226:2000/COR.1: 2006, IDT)*. Ecuador. 2014. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.academia.edu/39579018/NTE_INEN_ISO_11226

INGENIERÍA MECAFENIX. *Sensor inercial o Sensor IMU*. 2018. [en línea]. [Consulta: 4 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/sensor-inercial/>.

INSTITUTO ECUATORIANO DE SEGURIDAD SOCIAL. *Reglamento Del seguro General de Riesgos del Trabajo*. S.l.: s.n. Disponible en: https://sart.iess.gob.ec/DSGRT/norma_interactiva/IESS_Normativa.pdf

LITARDO, C.; et al. *La ergonomía en la prevención de problemas de salud en los trabajadores y su impacto social.* Revista Cubana de Ingeniería. Vol. X, No. 2, agosto 2019, pp. 3-15. ISSN 2223 - 1781 Disponible en: <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/download/720/pdf/1667>

MALLARE, J.; et al. "Sitting posture assessment using computer vision." *2017IEEE 9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM).* [en línea]. 2017. Manila, Philippines: IEEE, pp. 1-5. [Consulta: 24 mayo 2021]. ISBN 978-1-5386-0912-5. DOI 10.1109/HNICEM.2017.8269473. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8269473/>.

MARTÍNEZ, J. *Sistema de Visión Artificial para la Detección y Corrección de Posturas en Ejercicios realizados por Fisicoculturistas.* [en línea]. 2018. Atlacomulco: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/95190>.

MATHWORKS. *MATLAB y Simulink.* [en línea]. [Consulta: 12 noviembre 2021]. Disponible en: <https://es.mathworks.com/>.

MEDIAPIPE. *MediaPipe.* [en línea]. [Consulta: 12 enero 2022]. Disponible en: <https://mediapipe.dev/>.

MORDVINTSEV, A. & K, A. *OpenCv-Python Tutorials Documentation.* 5 noviembre 2017. S.l.: s.n. Disponible en: <http://hlevkin.com/hlevkin/45pythonImageProc/opencv-python-tutorial-Mordvintsev&K.pdf>

NOLASCO, J. *Python: Aplicaciones prácticas.* [en línea]. 2018. S.l.: RA-MA Editorial. ISBN 978-84-9964-789-0. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/106523>.

OLINGER, A. *ATLAS DE ANATOMÍA HUMANA.* [en línea]. 2016. Barcelona: Wolters Kluwer. ISBN 978-1-4511-8740-3. Disponible en: <https://thepoint.lww.com/book/show/655763>

PROYECTOS DE TECNOLOGÍA. *Transistor 2n2222.* [en línea]. [Consulta: 28 enero 2022]. Disponible en: <https://elblogdelprofesordetecnologia.blogspot.com/2016/01/transistor-2n2222.html>.

REGUERA, R.; et al. *Dolor de espalda y malas posturas, ¿un problema para la salud?* Revista médica Electrónica, 2018, vol. 40, no. 3, pp. 833-838. ISSN 1684-1824. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242018000300026

SANABRIA, J. & ARCHILA, J. *Detección y Análisis de Movimiento Usando Visión Artificial.* Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia 2011. Scientia Et Technica, vol. XVI, núm. 49, pp. 180-188. ISSN 0122-1701. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84922625031.pdf>

STT SYSTEMS. *STT-IWS*. [en línea]. 2016. [Consulta: 4 marzo 2022 a] S.l.: s.n. Disponible en: https://www.stt-systems.com/downloads/iws/STT_IWS_2016-S.pdf.


STT SYSTEMS. *iSen y sensores inerciales llegan a las Escuelas Universitarias Gimbernat*. [en línea]. 2018. [Consulta: 4 marzo 2022 b]. Disponible en: <https://www.stt-systems.com/es/blog-es/isen-y-los-sensores-inerciales-llegan-a-las-escuelas-universitarias-gimbernat/>.

STT SYSTEMS. *Sensor IMU Wi-Fi: STT-IWS*. [en línea]. [Consulta: 6 marzo 2022 c]. Disponible en: <https://www.stt-systems.com/es/analisis-de-movimiento/captura-de-movimiento-inercial/sensor-imu-wi-fi-stt-iws/>.

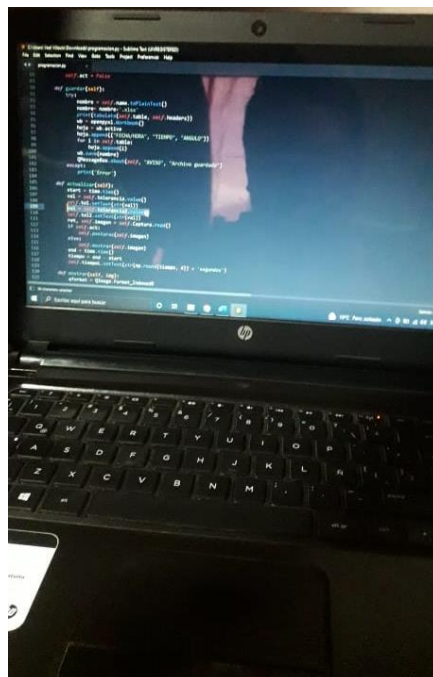
TVC-MALL. *Power Bank*. [en línea]. [Consulta: 28 enero 2022]. Disponible en: <https://www.tvc-mall.com/details/portable-2-usb-ports-20000mah-power-bank-dual-flashlight-2a-fast-charging-phone-charger-external-battery-actual-capacity-10000mah-red-sku101720454a.html>.

ANEXOS

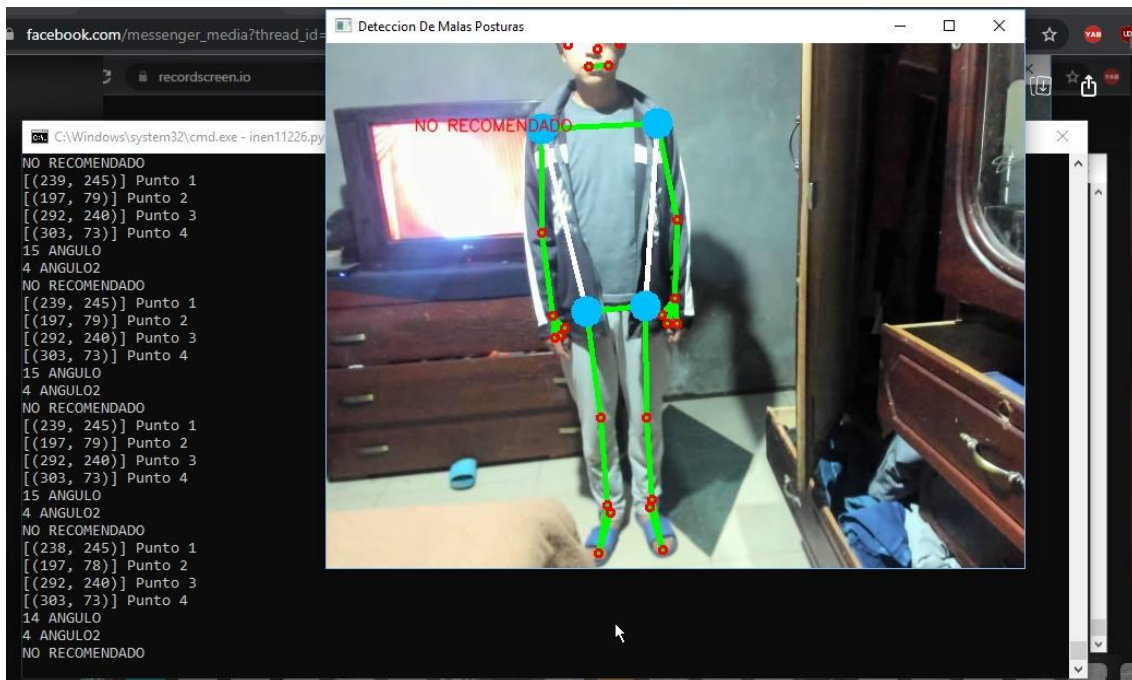
ANEXO A: PASOS PARA LA CREACIÓN DEL ENTORNO VIRTUAL

1. Crear un elemento contenedor en el ordenador.

2. Instalar el entorno virtual utilizando el símbolo del sistema(cmd).
<pre>C:\Users\usuario>pip install virtualenv</pre>
3. Ubicarse en el lugar donde esta creado la carpeta anteriormente siendo nuestro caso el escritorio.
<pre>C:\Users\usuario>cd Desktop</pre>
4. Crear el entorno virtual asignándole un nombre
<pre>C:\Users\usuario\Desktop>virtualenv prototipo</pre>
5. Activación del entorno virtual creado.
<pre>C:\Users\usuario\Desktop>.\prototipo\Scripts\activate</pre>
6. Verificación de la activación de nuestro entorno virtual
<pre>(prototipo) C:\Users\usuario\Desktop></pre>

ANEXO B: CODIFICACIÓN EN PYTHON EN LA ETAPA INICIAL



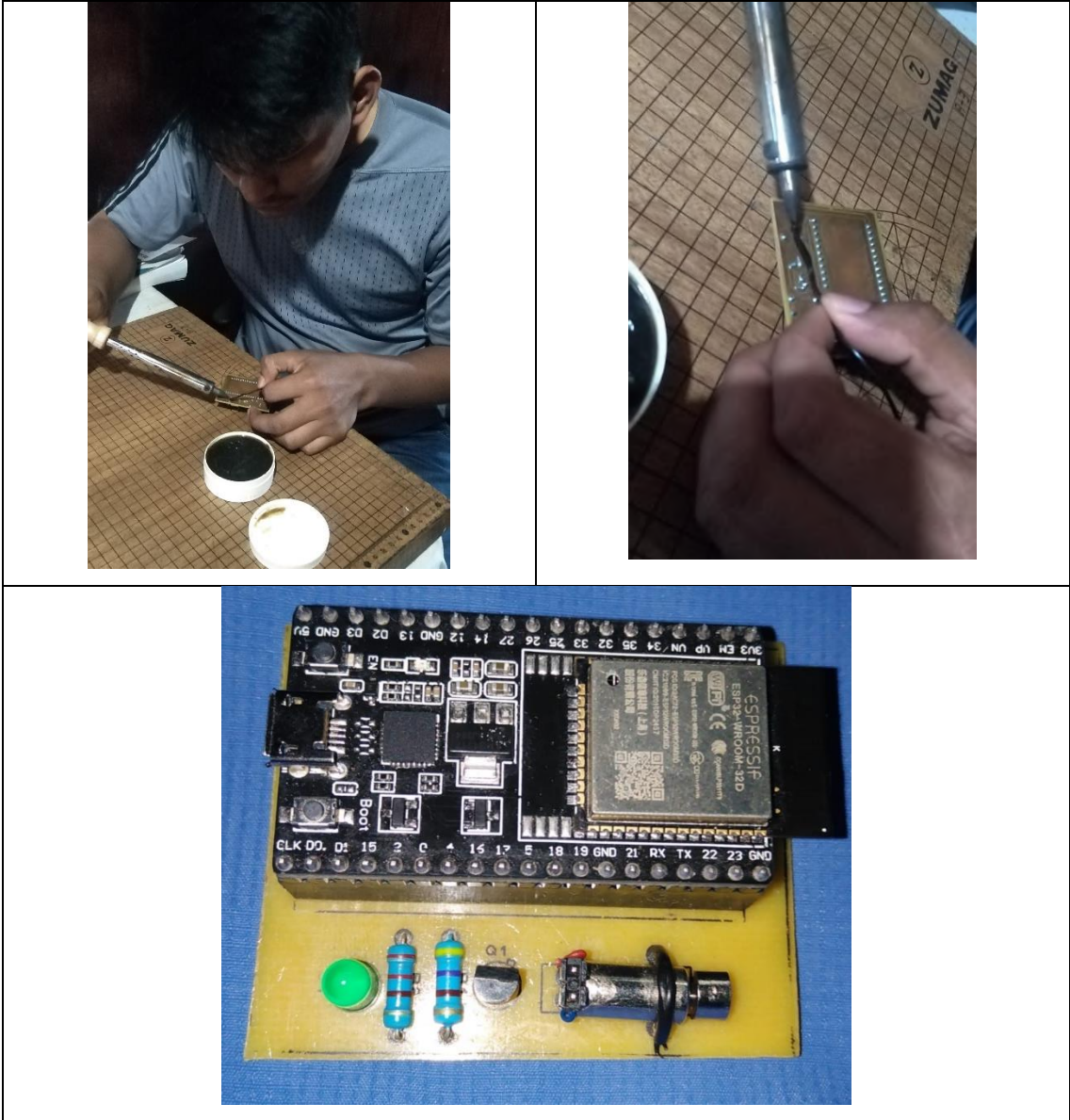
ANEXO C: PROTOTIPO DE VISIÓN ARTIFICIAL EN SU ETAPA INICIAL



ANEXO D: CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA



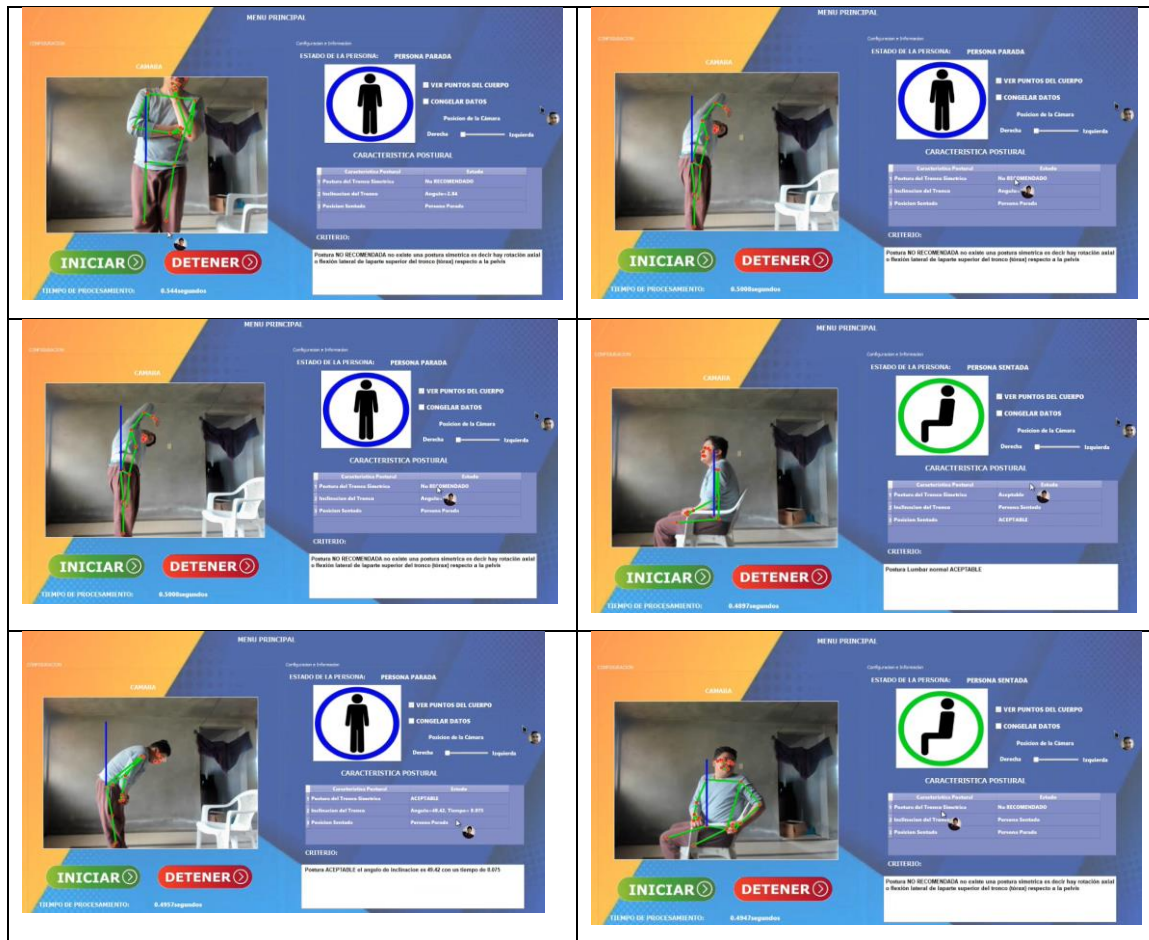
ANEXO E: CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ALERTA



ANEXO F: CODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE ALERTA - MÓDULO ESP32



ANEXO G: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO



ANEXO H: APLICACIÓN DEL PROTOTIPO EN EL SUPERMERCADO



