



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E  
INSTRUMENTACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO EN  
INSTRUMENTACIÓN**

**TEMA: “SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE PERSONAS  
POR SU FORMA DE CAMINAR, PARA EL REGISTRO DE  
ACCESO, UTILIZANDO PROCESAMIENTO DE VIDEO Y  
SOFTWARE LIBRE”**

**AUTORES: VERÓNICA PATRICIA CANGUI TERÁN  
MARCELO STALIN TOAPANTA IZA**

**DIRECTOR: ING. EDDIE GALARZA**

**LATACUNGA**

**2017**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, **“SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE PERSONAS POR SU FORMA DE CAMINAR, PARA EL REGISTRO DE ACCESO, UTILIZANDO PROCESAMIENTO DE VIDEO Y SOFTWARE LIBRE”** realizado por los señores **Verónica Patricia Cangui Terán** y **Marcelo Stalin Toapanta Iza**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **Verónica Patricia Cangui Terán** y **Marcelo Stalin Toapanta Iza** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 30 junio de 2017



---

**Ing. Eddie Galarza**  
**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **Verónica Patricia Cangui Terán**, con cédula de ciudadanía N°0503801946 y **Marcelo Stalin Toapanta Iza** con cédula de ciudadanía N°0502845019, declaramos que este trabajo de titulación **“SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE PERSONAS POR SU FORMA DE CAMINAR, PARA EL REGISTRO DE ACCESO, UTILIZANDO PROCESAMIENTO DE VIDEO Y SOFTWARE LIBRE”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 30 junio de 2017

Verónica Patricia Cangui Terán  
C.C: 0503801946

Marcelo Stalin Toapanta Iza  
C.C: 0502845019



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Verónica Patricia Cangui Terán** y **Marcelo Stalin Toapanta Iza**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE PERSONAS POR SU FORMA DE CAMINAR, PARA EL REGISTRO DE ACCESO, UTILIZANDO PROCESAMIENTO DE VIDEO Y SOFTWARE LIBRE”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 30 junio de 2017



Verónica Patricia Cangui Terán  
C.C: 0503801946



Marcelo Stalin Toapanta Iza  
C.C: 0502845019

## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico a mi Padre Celestial que es el centro de mi vida, en todo momento su amor incomparable ha sido mi fortaleza, Él es mi protector y mi guía; su fidelidad me ha traído hasta aquí.

A mi mamá Isabel y papá Victor que han sido en todo momento mi apoyo e inspiración para terminar una más de mis metas, a Uds. que han dedicado su tiempo en mí durante toda mi vida, que me han enseñado a no rendirme y hacer notar que la vida está llena de oportunidades. Su paciencia me ha hecho ver que todo es posible, su fortaleza es admirable papitos; con mucho amor este trabajo es para ustedes.

A mis hermanos, que han sido un ejemplo de superación; a mis cuñadas que llegaron a ser mis hermanas brindándome sus consejos en todo momento y a mis sobrinas, que con sus travesuras han alegrado mi vida; para toda mi familia, ellos me han enseñado a ver la vida de diferente manera, y aunque no siempre concordamos con nuestra forma de pensar los amo mucho.

Todos Uds. han sido de bendición para mi vida.

**Verónica**

## DEDICATORIA

Este proyecto de tesis dedico a Dios y a la Virgencita de la Merced, por darme fuerzas, vida y sus bendiciones para permitirme concluir un paso más en mi vida profesional.

A mi madre Nelly que día a día estuvo presente en cada una de mis caídas y triunfos, dándome apoyo, fuerza y valor para seguir adelante, además de ser mi primera maestra en la vida, quien con su cariño y consejos a hecho de mí, una persona con valores y humildad.

A mi padre Marcelo, por haberme enseñado que en la vida se puede absolutamente todo, siendo ejemplo de persona y por haber confiado plenamente en que lo lograría, además de su apoyo incondicional a lo largo de mi toda vida.

A quien en el momento indicado Dios puso en mi vida, al gran amor de mi vida Verónica, quien con su apoyo, cuidados, comprensión y su amor incondicional me ha ayudado a cumplir este anhelado objetivo, a mi pequeña Kristhel que con sus travesuras ha llenado de alegría nuestras vidas.

Por último, pero no menos importante, a mi amada Hija Noemí Danae por ser mi inspiración, mi fortaleza y la bendición de mi vida, que con mi sueño de algún día poder tenerla a mi lado, ha motivado a seguir superándome.

Los amo con todo mi corazón.

**Marcelo**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios que ha sido el proveedor, a ÉL le debo todo lo que soy y lo que tengo, gracias por bendecir cada paso que doy.

Mis agradecimiento profundos a mi mami y papi, por su confianza y siempre brindarme su apoyo en los malos y en los mejores momentos, gracias por enseñarme a no rendirme y a seguir en superación. Gracias por su paciencia y por enseñarme desde pequeña el significado de humildad y gratitud, además de todos los valores que han inculcado en mí.

Agradezco a la familia y amigos, que hicieron posible la culminación de este proyecto que con sus consejos han hecho que el objetivo se cumpla.

Gracias a Marcelo, mi compañero de proyecto, que ha sido una persona comprometida con cada actividad trazada.

A todas aquellas personas que han estado conmigo a lo largo de esta etapa, les agradezco por sus consejos y apoyo recibidos.

Gracias al Ingeniero Eddie Galarza, tutor del proyecto quien ha sido una persona comprometida y que ha transmitido sus conocimientos, gracias por siempre brindarnos su ayuda y la confianza puesta en el grupo de trabajo.

Y a todos los profesores que brindaron sus conocimientos a lo largo de la carrera, en especial a los ingenieros Franklin Silva y Edwin Pruna porque demostraron su sabiduría para ser también parte de nuestra formación como profesionales.

Verónica

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por darme las fuerzas y guiar cada uno de mis pasos para poder cumplir uno de mis objetivos.

Es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente con aquellas personas que han facilitado las cosas para que este trabajo llegue a feliz término, expresándoles mis agradecimientos.

A mis padres que son mi pilar fundamental, por apoyarme, aconsejarme y motivarme a ser mejor.

A la mujer que apoyó, impulsó, luchó, y sufrió por nuestro sueño a mi amada Verito que con su amor y cariño logró motivar este trabajo.

A mi compañera de proyecto Verónica Cangui por confiar en mi persona y brindarme su ayuda y apoyo constante en que lo lograríamos.

Debo agradecer de manera especial y sincera al Ing. Eddie Galarza por aceptar ser el Director del Proyecto, quién a través de sus tutorías nos ha contribuido con su extenso conocimiento, además de brindarnos su ayuda con paciencia para guiarnos durante el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Edwin Pruna que gracias a su persona en los últimos niveles conocí el verdadero significado de la Electrónica e Instrumentación.

Al Ing. Franklin Silva que con su enseñanza y exigencia ha contribuido en la parte académica.

Finalmente agradezco a mis compañeros y amigos de la Universidad que me brindaron su amistad y apoyo cuando más lo necesité, de manera particular a los Ing's. Patrick V, Luis A y Diego M.

Marcelo



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xv</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvii</b>

### CAPÍTULO I

<b>1. PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Justificación e Importancia.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general .....	4
1.4.2. Objetivos específicos .....	4

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
2.1. Antecedentes investigativos .....	5
2.2. Fundamentación teórica .....	7
2.2.1. Registro de acceso personal .....	7
2.2.2. Identificación biométrica.....	10
2.2.3. Identificación por la forma de caminar .....	11
2.2.4. La marcha humana .....	13
2.2.5. Técnicas para la extracción del patrón característico de la forma de caminar .....	17
2.2.6. Software libre para procesamiento de imágenes y video.....	20
2.3. Sistemas de variables del proyecto en ejecución.....	36
2.3.1. Definición conceptual .....	36

2.3.2.	Definición operacional .....	36
2.4.	Hipótesis .....	37

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>DESARROLLO .....</b>	<b>38</b>
3.1.	Requerimientos del sistema de reconocimiento .....	38
3.2.	Descripción general del sistema de reconocimiento .....	41
3.3.	Configuración física del sistema y sus limitaciones .....	42
3.4.	Desarrollo del algoritmo para el sistema de reconocimiento .....	43
3.4.1.	Adquisición de video .....	44
3.4.2.	Procesamiento de video .....	44
3.4.3.	Extracción de características .....	48
3.4.4.	Creación de la base de datos .....	52
3.4.5.	Desarrollo de la Interfaz .....	55

### **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES .....</b>	<b>60</b>
4.1.	Pruebas de funcionamiento del sistema de reconocimiento .....	60
4.1.1.	Pruebas de funcionamiento bajo condiciones establecidas .....	60
4.1.2.	Pruebas realizadas tomando en cuenta la variación del espacio físico .....	63
4.1.3.	Pruebas realizadas tomando en cuenta la variación de luminosidad .....	65
4.1.4.	Pruebas realizadas tomando en cuenta la variación de velocidad de caminata. ....	66
4.1.5.	Pruebas realizadas tomando en cuenta el flujo de personas .....	67
4.1.6.	Pruebas realizadas tomando en cuenta la vestimenta de las personas .....	70
4.2.	Registro de acceso de las personas .....	75
4.3.	Verificación de hipótesis .....	76

### **CAPÍTULO V**

<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>78</b>
5.1.	Conclusiones .....	78
5.2.	Recomendaciones .....	80

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de marcha normal de un niño de 8 años de edad .....	14
Figura 2. a) Ciclo de la marcha normal de una persona. b) Ciclo de marcha de una persona que padece de artrosis. ....	15
Figura 3. Eventos durante la fase de apoyo y oscilación .....	17
Figura 4. Representación de los principales componentes de la marcha .....	17
Figura 5. Ejemplo de imágenes de una silueta normalizados y alineados en una secuencia de la marcha. La imagen de la derecha indica la imagen de la energía de la marcha (GEI) .....	18
Figura 6. Ejemplo de la imagen binaria del flujo de la marcha .....	19
Figura 7. Representación de los valores de anchura del vector. ....	19
Figura 8. Logotipo de software OpenCV .....	23
Figura 9. Estructura básica de OpenCV .....	24
Figura 10. a) Imagen original. b) Imagen binarizada .....	25
Figura 11. a) Imagen original. b) Aplicación de detección de bordes (Canny) .....	26
Figura 12. a) Imagen original b) Imagen aplicado un desenfoque .....	27
Figura 13. Imagen original .....	28
Figura 14. a) Ejemplo de una figura erosionada. b) Ejemplo de una figura dilatada .....	28
Figura 15. Ejemplo del resultado al aplicar la operación Opening .....	29
Figura 16. Ejemplo del resultado al aplicar la operación Closing .....	29
Figura 17. Logotipo del lenguaje del software Python .....	30
Figura 18. Cámara Logitech HD Pro Webcam C920 .....	35
Figura 19. Instalación del lenguaje de programación Python .....	38
Figura 20. Proceso de instalación de OpenCV versión para Windows .....	39
Figura 21. Instalación de la librería Numpy .....	39
Figura 22. Instalación del sistema de gestión de bases de datos Mysql .....	40
Figura 23. Diagrama de las etapas del sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar .....	41
Figura 24. Esquema del lugar de desarrollo del sistema de reconocimiento	42
Figura 25. Persona caminando, aplicación de la técnica substracción de fondo para extraer la silueta. ....	45

Figura 26. Silueta de la persona caminando, imagen binarizada .....	45
Figura 27. Silueta de la persona caminando, aplicación de la operación morfológica OPENING .....	46
Figura 28. Silueta de la persona caminando, aplicación de la operación morfológica CLOSING .....	47
Figura 29. Silueta de la persona caminando, aplicación de la operación morfológica DILATION .....	47
Figura 30. Aplicación del filtro medianblur para crear un suavizado en la silueta .....	48
Figura 31. Construcción del área de trabajo y cálculo del centro de gravedad del cuerpo de la persona .....	49
Figura 32. Representación del ángulo de curvatura del tronco y el ángulo formado por abertura de las piernas. ....	50
Figura 33. Distancia recorrida para determinar la velocidad de caminata ....	50
Figura 34. Ancho y alto de la persona, medidas tomadas con la ayuda del área de trabajo formada .....	51
Figura 35. Visualización de la longitud de paso de la persona al caminar ....	51
Figura 36. Creación de la base de datos .....	52
Figura 37. Selección del nombre de base de datos que se va a utilizar .....	52
Figura 38. Creación de la tabla de las características de las personas .....	53
Figura 39. Tablas creadas dentro de la base de datos .....	53
Figura 40. Ingreso de los valores correspondientes para cada parámetro ...	54
Figura 41. Tabla creada en la base de datos .....	54
Figura 42. Ventana generada para la interfaz, en Python .....	55
Figura 43. Ventana creada como espacio de trabajo .....	56
Figura 44. Interfaz gráfica del sistema .....	58
Figura 45. Interfaz gráfica del sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar en funcionamiento .....	59
Figura 46. Sistema de reconocimiento, porcentaje de similitud de la persona.....	63
Figura 47. Adecuación de la caminata de la persona.....	64
Figura 48. a) Caminata de la persona muy alejada de la cámara. b) Caminata de la persona muy cerca de la cámara .....	64
Figura 49. Reconocimiento de un conjunto de personas .....	68

Figura 50. Variaciones de luz causadas por el reconocimiento de un conjunto de personas.....	68
Figura 51. Reconocimiento de dos personas a la vez.....	68
Figura 52. Reconocimiento de dos personas a la vez.....	69
Figura 53. Persona vistiendo ropa de color inadecuada .....	70
Figura 54. Reconocimiento de una persona, error de segmentación .....	71
Figura 55. Reconocimiento de una persona, utilizando un bolso de mujer...71	
Figura 56. Reconocimiento de una persona utilizando un bolso de hombre 72	
Figura 57. Reconocimiento de una persona usando un gorro.....	72
Figura 58. Salida de una persona que no forma parte de los usuarios del sistema .....	74
Figura 59. Ingreso de una usuario para su registro de acceso.....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de operacionalización de la variable independiente.....	37
Tabla 2. Cuadro de operacionalización de la variable dependiente .....	37
Tabla 3. Porcentaje de reconocimiento calculado con 360 muestras pertenecientes a 30 personas bajo condiciones establecidas .....	60
Tabla 4. Porcentaje de similitud individual, con la intervención de 10 personas bajo condiciones establecidas. ....	62
Tabla 5. Porcentaje de reconocimiento calculado con 40 muestras pertenecientes a 4 personas, manteniendo las condiciones establecidas excepto la condición de la distancia “usuario- cámara” .....	65
Tabla 6. Porcentaje de reconocimiento calculado con 40 muestras pertenecientes a 4 personas, manteniendo las condiciones establecidas excepto la condición de intensidad luminosa. ....	65
Tabla 7. Porcentaje de reconocimiento calculado con 40 muestras pertenecientes a 4 personas, manteniendo las condiciones establecidas excepto la velocidad de caminata. ....	66
Tabla 8. Porcentaje de reconocimiento calculado con 40 muestras pertenecientes a 4 mujeres, manteniendo las condiciones establecidas y variando el tipo de calzado. ....	73
Tabla 9. Porcentaje de reconocimiento calculado con 40 muestras pertenecientes a 4 hombres, manteniendo las condiciones establecidas y variando el tipo de calzado. ....	74
Tabla 10. Registro de acceso de los usuarios.....	75
Tabla 11. Registro de acceso de personas que no forman parte de la base de datos .....	75
Tabla 12. Porcentaje de error de reconocimiento calculado con 360 muestras pertenecientes a 30 personas bajo condiciones establecidas .....	76

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación consiste en el desarrollo de un sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar. El sistema está conformado por un ordenador y una cámara de video Logitech C920; el lenguaje de programación utilizado para realizar el algoritmo de reconocimiento es Python, junto con la librería OpenCV la cual proporciona múltiples funciones empleadas para el procesamiento de video. El sistema está constituido por cinco etapas; la primera es la adquisición del video de la persona caminando, la segunda etapa consiste en procesar el video, en la tercera etapa se realiza el algoritmo de reconocimiento, en la cuarta etapa se guarda la información de las personas en una base de datos, y en la última etapa compara dicha información guardada de las personas con la obtenida en tiempo real para efectuar el reconocimiento. Las pruebas realizadas son bajo ciertas condiciones como: iluminación, vestimenta, velocidad de caminata, flujo de personas, entre otras. Debido a que existen lugares en donde es necesario llevar un registro de entrada y salida de las personas, se han desarrollado varias soluciones para evitar llevar dicho registro de forma manual; la investigación realizada es una propuesta para solucionar el problema, con la finalidad de hacer uso de un método no invasivo para las personas.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**
- **LIBRERÍA OPENCV**
- **SOFTWARE PYTHON**
- **PROCESAMIENTO DE VIDEO**



## ABSTRACT

This research work consists of the development of a system to recognize people when walking; the system is composed of a computer and a video camera LogiTech C920; the programming language used to perform the recognition algorithm is Python, which integrates the OpenCV libraries that provides multiple functions to be used for video processing. The system have five stages; the first is the acquisition of the video of the person that is walking, the second stage is the video processing, in the third stage we make the algorithm for people recognition; in the fourth stage the information of people is stored in a database and in the last stage we compare the saved information of persons with the information obtained in the real time system to perform recognition. The tests were made under certain conditions: lighting, clothing, walk speed, flow of people and others. Due to that there are places where it is necessary to keep a record of the entry and exit of people, we developed many solutions to avoid keeping a manual record. This research is an approach to solve the problem, in order to use non-invasive method for people recognizing.

# CAPÍTULO I

## 1. PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad sigue prevaleciendo el problema de control de registros de ingreso del personal tanto en empresas, instituciones, oficinas, etc. dando lugar a la falta de competitividad y la inútil contratación de personal en los departamentos de Administración, Recursos Humanos u otros lugares que competen a este tipo de actividad. El llevar registros diarios de forma manual resulta ser incómodo tanto para la persona que se registra como para la persona encargada de llevarlos; existen muchas consecuencias que conlleva este problema como por ejemplo el no optimizar el tiempo, hasta puede existir suplantación de identidad.

Para disminuir este problema, las instalaciones se han modernizado de tal manera, que se han creado muchas soluciones y una de ellas es la identificación biométrica, identificar a las personas mediante sus rasgos físicos; dentro de este método los más utilizados son: huellas digitales, escaneo de iris, reconocimiento facial, etc. el inconveniente que existe en estos métodos es que necesitan de la cooperación del usuario, así lo menciona (Félez , Mollineda, & Sánchez, 2011) en su artículo científico “Human Recognition Base on Gait Poses” y es por eso que se busca desarrollar otro modo que no tenga este requerimiento y las personas puedan ser identificadas a cierta distancia.

A nivel mundial este tipo de trabajos de identificación de personas por su forma de caminar no es común encontrarlos, debido a que se encuentra en una fase de investigación y desarrollo para determinados fines, utilizando tecnología variada, actualmente lo más utilizado para la identificación de personas son los correspondientes a las huellas digitales o reconocimiento facial; el tema abordado permite ingresar una posibilidad de obtención de resultados, en un espacio de investigación con tendencias innovadoras.

## 1.2. Antecedentes

Desde hace mucho tiempo se ha investigado e implementado varias soluciones para resolver los problemas que se dan comúnmente en los lugares que necesitan un registro de acceso de personas, como la suplantación de identidad, desperdicio de tiempo o de personal para el control de asistencia de los trabajadores; y una de las soluciones es la tecnología biométrica que es la identificación de los seres humanos a partir de sus características físicas. Las que más se han utilizado en el mercado son detección de rostros, huella dactilar, etc. aunque no son las únicas según la Asociación Internacional de Identificación Biométrica. (IBIA)

(Sandoval Illescas & Sigüenza Cárdenas, 2011), en su proyecto de tesis de grado “Análisis, diseño e implementación del sistema de control de asistencia de personal docente y administrativo de la Escuela Fiscal Mixta Rafael Aguilar Pesantez”, desarrollaron un sistema para el registro y control de asistencia para el personal de esa institución utilizando un software con una interfaz interactiva con el fin de eliminar el tedioso trabajo para el empleado encargado de realizar toda la gestión para mantener en orden el control de asistencia.

A pesar de que los resultados fueron excelentes en la institución, hay que tomar en cuenta que al realizar el procedimiento pueden existir problemas como la suplantación de identidad o el desperdicio de tiempo; esto ayudó a realizar más investigaciones acerca del tema para solucionar dichos problemas y obtener resultados confiables y precisos.

Existen varios trabajos desarrollados basados en los rasgos físicos de las personas para su identificación como huella dactilar o detección de rostros, por ejemplo en los trabajos de (Domínguez Aquino, Villalta Herrera, & Vincés Jara, 2007), en su proyecto de grado “Programación de software de acceso biométrico” y el de (Mite Tigrero, Rodríguez Borbor, & Franco Rodríguez) en su proyecto final de maestría “Sistema de control y gestión de personal para PYMES, basados en sistemas biométricos”, mencionan lo importante que es para un reconocimiento por huella dactilar óptimo, tener una imagen nítida,

de lo contrario originará a un delta falso es decir la seguridad no es garantizada.

En conclusión tenemos que estas tecnologías no son del todo seguras en varios casos, con este trabajo de investigación hay la certeza de que este problema se solucione con otro método biométrico que es nuestro tema de realización; la identificación de personas por su forma de caminar no necesita interactuar con el beneficiario y excepta de suplantación de identidad; migrando con este recurso a un enfoque de innovación y niveles superiores fuera de lo usual.

### **1.3. Justificación e Importancia**

Según la evolución de nuevas tecnologías se van desarrollando nuevas técnicas para adaptarlas de acuerdo a las necesidades de la sociedad. El procesamiento de video, que no es otra cosa que el procesamiento de imágenes en movimiento, ha ganado un papel importante en varios campos como: la medicina, seguridad, industria, etc.; este tema de investigación será aplicado a la detección de personas por su forma de caminar y por ende será de mucha ayuda para evitar contratiempos y que los registros de acceso sean manejados sin mucha complejidad.

El sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar, tiene aplicación en diversas partes y por ende varios beneficios, pero el presente trabajo se orienta a su aplicación a lugares en donde llevar un registro de acceso es de mucha importancia; los usuarios y el personal encargado ahorrarán tiempo, evitarán llevar un registro manual, por ejemplo en una micro empresa la asistencia de sus trabajadores deberá ser proporcionada como información; es decir que por ningún motivo la identidad es suplantada.

Actualmente esta técnica usada para reconocimiento de personas no es utilizada en el área local, sin embargo en otros países está en una fase experimentación y en otros ya lo han desarrollado completamente. Esta situación ayuda a entrar en el área de investigación e innovación tecnológica

para hallar una nueva solución y que en un futuro este nuevo método sea desarrollado en otros ámbitos como la medicina para rehabilitaciones del cuerpo humano, video vigilancia, video juegos.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

- Implementar un sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar, para el registro de acceso, utilizando procesamiento de video y software libre.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Investigar acerca de las diferentes necesidades y técnicas empleadas para el registro de acceso de las personas.
- Investigar acerca de las técnicas de extracción de patrones característicos de las personas al momento de caminar.
- Investigar sobre el procesamiento de imágenes y video, sus aplicaciones y las herramientas para realizarlo, así como también métodos y algoritmos de programación en software libre.
- Implementar un algoritmo para el sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar.
- Realizar una interfaz gráfica para evaluar el reconocimiento de personas por su forma de caminar.
- Realizar pruebas con el algoritmo implementado.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes investigativos

(Kalbakdij, Lebrero, & Sánchez, 2009), acotan que “el procesamiento de imágenes es un tema de permanente actualidad debido a que es posible aplicar a diferentes áreas de la ciencia y tecnología”. Este es un tema abordado desde hace mucho tiempo atrás y aun existente, que ha evolucionado conforme el pasar del tiempo y según los problemas van surgiendo. Es por eso que el procesamiento de video, que no es más que “el procesamiento de imágenes secuenciales dentro de un intervalo de tiempo” (Palermo, 2010), es un aporte más, tanto para la innovación tecnológica como en el desarrollo laboral de los seres humanos; las soluciones tecnológicas al parecer no tienen límites.

#### **Antecedentes de campo**

(Wang & Tan, 2003), en su artículo científico “Silhouette analysis-based gait recognition for human identification”, indican la utilización de un algoritmo en base a la extracción de la silueta, obteniendo resultados exitosos además de que el costo fue relativamente bajo. Esta información permitió analizar la factibilidad de utilización del método de extracción de silueta.

(Ekinci, 2006), indica en su artículo científico “Gait Recognition Using Multiple Projections”, que la marcha humana pertenece a la biometría y es uno de los métodos donde no importa la distancia; este trabajo presenta un nuevo procedimiento basado en nuevas proyecciones para implementar un algoritmo en el cual se analiza la longitud de la zancada o el ángulo de movimiento de las articulaciones; las pruebas son realizadas en base a una caminata de forma lateral con respecto a la cámara, el resultado muestra un alto rendimiento, pero llega a disminuir al cambiar la velocidad de la marcha, porque la dinámica del cuerpo es otra. En conclusión este artículo nos llevó

a realizar un análisis para encontrar soluciones a este inconveniente que influye en la identificación.

(Félez , Mollineda, & Sánchez, 2011), en su artículo científico “Human Recognition Base on Gait Poses”, presentan el método, Imagen de la Energía de la marcha, que se enfoca a la segmentación del ciclo de marcha de acuerdo a las poses biomecánicas; así también presentan los distintos factores que influyen al momento de identificar la silueta, tales como vestimenta, calzado, el caminar a velocidad, entre otros. Este artículo aunque fue una fase de experimentación, fue de mucha utilidad para analizar y encontrar solución a los factores influyentes antes mencionados.

(Chuya Sumba, Cuenca Soto, & Delgado Guaraca, 2013), mencionan en su proyecto “Diseño e implementación de un sistema para el análisis de movimiento humano usando sensores Kinect”, la utilización de sensores Kinect y la importancia de ubicar correctamente los dispositivos y a la persona en un determinado espacio para capturar el movimiento; los resultados dependen de la precisión de cada dispositivo. Es importante el análisis del movimiento en varias aplicaciones, por ejemplo el reconocer patrones del cuerpo, almacenarlos en una base de datos para posteriormente analizarlos. Este trabajo ayudó a justificar la importancia de ocupar otra técnica para capturar el movimiento sin necesidad de la cooperación del individuo y analizar las diferentes poses que se van generando al momento de caminar.

(Prakash, Mittal, Kumar, & Mittal, 2015), en su publicación “Identification of Gait Parameters from Silhouette Images” utilizan el software licenciado Matlab para este trabajo, señala que esta técnica es viable y puede ser utilizada no solo en el área de medicina sino también es aplicable en el campo de seguridad y vigilancia, sin la necesidad de utilizar sensores tan solo el análisis de videos desde una cámara; hace mención de un trabajo futuro acerca del análisis de la marcha usado como un identificador biométrico. El apartado proporcionó una visión general acerca del análisis de la marcha humana, fue útil para redactar el marco teórico en todo lo

referente al ciclo de la marcha y sus parámetros, sin olvidar el trabajo futuro relacionado con el proyecto de investigación.

## **2.2. Fundamentación teórica**

### **2.2.1. Registro de acceso personal**

El registro de acceso personal es uno de los procesos fundamentales dentro de la administración de recursos humanos, proporciona información acerca de la asistencia, puntualidad, asensos, vacaciones, etc. o para tomar decisiones de acuerdo al registro de cada persona. Este paso básicamente trata de constatar el ingreso o salida a la hora pertinente de forma manual o automática.

La forma de llevar estos registros es de acuerdo a la tecnología utilizada en el lugar donde utilizan este procedimiento, y pueden ser fichas, una base de datos en una computadora u otros sistemas dependiendo de las necesidades. (Rodríguez, 2009)

#### **2.2.1.1. Ventajas de llevar un registro de acceso**

Este proceso tiene varias ventajas y a continuación se detallan de manera general.

**Control de asistencia:** Se encarga de vigilar la asistencia del usuario originando un registro, el mismo que será guardado en una memoria para posteriormente ser examinada y tomar decisiones de acuerdo a las necesidades; el procedimiento de control de asistencia tiene una variedad de aplicaciones en distintos campos, sin embargo en su mayoría se lleva a cabo en el área laboral.

**Seguimiento de horario de acceso:** Por lo general en el campo profesional se realiza un seguimiento de horarios, principalmente porque depende de estas observaciones el salario del trabajador y al momento de evaluar su eficacia es esencial llevar a cabo este procedimiento puesto que de una u otra forma ayuda a tomar nuevas disposiciones; este es el proceso



más común que se realiza dentro del área de recursos humanos en una empresa o institución.

**Seguridad:** Es uno de los temas más importantes no solo dentro de este contexto; en cualquier sitio la seguridad de las personas está en primer lugar y lo material tiene un grado menor de prioridad. Un registro de acceso proporciona información de las personas que accedieron a un lugar terminante y dependiendo de la gestión de los encargados determinarán si esa persona está o no en un lugar con restricciones, para evitar alguna violación de la seguridad del personal o provocar daños materiales.

**Evaluación:** Este punto abarca los ítems anteriores, en base a un registro de asistencia y las horas pertinentes de servicio; se evalúa el desempeño de la persona involucrada de acuerdo al análisis de los datos generados por una lista y más tarde imponer medidas acorde a los resultados.

#### **2.2.1.2. Importancia de llevar un registro de acceso**

En el apartado ventajas de llevar un registro de acceso se mencionan distintas utilidades y en este punto se redacta una breve descripción del uso pertinente en este proyecto.

Para realizar un control de asistencia necesariamente se utiliza un registro de acceso y es muy importante en varios ámbitos como hospitales, oficinas, empresas u otros lugares que lo necesiten. El control de la asistencia sirve por lo general para controlar las horas laborales de los trabajadores en caso de ser una empresa, o en caso de ser un hospital sirve para constatar la asistencia de las personas participadas en un lugar determinado del hospital; son dos de los muchos casos en los que se necesitan llevar registros de asistencia. (CORETT, 2006)

A nivel de una empresa sea grande o pequeña, este proceso administrativo es muy importante, porque se refiere al alcance de la máxima productividad, que como consecuencia se obtiene una buena calificación en

cuanto a recursos dentro de la empresa. Además se aseguran que cada unidad de la organización cumpla con lo previsto. (Rodríguez, 2009)

### **2.2.1.3. Métodos de identificación para llevar un registro de acceso**

Existe una variedad de instrumentos que realizan esta tarea, tanto de forma manual y automática, siendo los siguientes los más utilizados:

- **Registro Manual**

Es la forma más básica para realizar el registro de asistencia de los usuarios en un lugar determinado, utilizando libros de control, fichas de asistencia o incluso programas simples en Excel y sería ideal para lugares con un mínimo de personas, pero que a su vez necesitan de un registro; pero presenta desventajas tales como el desperdicio de personal de recursos humanos, encargado de esta actividad o la inseguridad tanto para las personas como para los bienes materiales del lugar, por consiguiente este método no es seguro al menos no en las grandes empresas.

- **Contraseñas**

Es el más común para registrar el acceso, trata de una serie de caracteres que solo el individuo al que le pertenece debe conocer, permite que personas no autorizadas no puedan acceder a datos no permitidos o a zonas restringidas, únicamente consiste en ingresar un usuario y contraseña, la principal desventaja es que no hay seguridad de identidad por que las contraseñas pueden ser plagiadas causando perjuicios a los usuarios.

- **Tarjetas electrónicas**

Este tipo de tarjetas llegaron a tener cada vez mayor aceptación para el control de acceso de personas con niveles de seguridad de acuerdo a los requerimientos para la admisión a servicios o lugares específicos; los privilegios pueden cambiar con la tecnología informática según las exigencias de Recursos Humanos (RH), las tarjetas inteligentes pueden

realizar múltiples aplicaciones de acceso sin la necesidad de portar con diferentes credenciales, una de estas es la de autenticar información y su desventaja que no hay manera de confirmar que la credencial le pertenece a la persona autorizada. (Smart Card Alliance, 2007)

- **Registro biométrico**

Los métodos antes mencionados tienen como principal desventaja la suplantación de identidad, por ende la seguridad no es garantizada para los usuarios. El utilizar un atributo físico único para identificación es una solución fácil hoy en día; así como las características biológicas son las únicas que proporcionan una identidad verdadera también tiene su desventaja, algunos algoritmos desarrollados no son muy avanzados y la identificación se basa en porcentajes. (Briones, 2010)

#### **2.2.1.4. Campos de aplicación**

Un registro de acceso posee grandes beneficios y se da básicamente en lugares como:

- Instituciones públicas y privadas
- Fábricas
- Empresas de mayor y menor magnitud
- Hospitales o clínicas
- Aeropuertos

#### **2.2.2. Identificación biométrica**

La biometría es una medición y análisis de las características físicas y el comportamiento de las personas. La tecnología biométrica tiene como principal uso la identificación y control de acceso de las personas especialmente de aquellas que están bajo vigilancia. Las plantillas biométricas no pueden ser ingeniería inversa para recrear la información personal y ser usado para robar información. Existen varios rasgos biométricos que se utilizan para esa finalidad como: huellas dactilares, rostro, iris, etc. y otras metodologías algunas en desarrollo como la forma de

caminar. A continuación se presenta un breve resumen de los más utilizados.

- **Identificación por huellas digitales**

Desde hace mucho tiempo es la más utilizada, se caracteriza por ser económica y fácil de instalar. Este sistema realiza dos funciones básicas, necesita obtener la imagen del dedo y debe realizar la comparación entre el patrón de crestas y valles de esta imagen con el patrón de crestas y valles de las imágenes pre-escaneada, solo las características únicas de cada huella dactilar se filtran y se guardan como una representación matemática. Su desventaja es que suele pasar que el dedo contenga polvo u otros materiales que no permita la breve identificación de la persona.

- **Identificación facial**

Se basa en los patrones del rostro que no pueden ser modificados y sobre todo es no intrusivo, las aplicaciones son varias no solo el reconocimiento sino determinar las expresiones de estado de ánimo. Hay varias desventajas del sistema y uno de ellas es que al pasar el tiempo la persona va a sufrir cambio en su rostro y como resultado la valoración de la solución disminuirá. (Serratosa)

- **Identificación por el iris**

El iris es el único órgano interno del cuerpo humano visible. Para el reconocimiento del iris no se utiliza el color sino patrones únicos como: el tejido conectivo, surco del iris, anillos, etc. Aunque esta tecnología es aceptada por no ser amenazante también tiene la desventaja de que la córnea de la persona debe estar en buen estado para su identificación. (FIND BIOMETRICS, 2014)

### **2.2.3. Identificación por la forma de caminar**

Todos tenemos una manera muy personal de caminar. “Aunque es fácil de manipular y de cambiar conscientemente, cada uno lo hace de una

forma”, asegura (Félez , Mollineda, & Sánchez, 2011). Los resultados de un experimento en medida porcentual resulta ser alto, al probar que una persona reconoce a otra tan solo al observar la silueta en movimiento.

Aunque es una gran solución por la fácil identificación a distancia, existe una desventaja principal que da lugar a la variación de la silueta de las personas, debemos tomar en cuenta el tipo de ropa que llevan como: abrigos, tacones e incluso el estado de ánimo influye en la forma de caminar y esto crea un problema para que la marcha de la persona no sea única. La mayoría de algoritmos se basan en la extracción de la silueta creando una secuencia de imágenes y generando por último la silueta final.

Con respecto al problema del tema de investigación es muy importante este modo de identificación para el registro de acceso; este procedimiento tiene la finalidad de simplificar los trámites innecesarios al personal y, consecuentemente, elevar la productividad. Igualmente se busca la reducción de la documentación que se utiliza y que son necesarios para justificar el registro de asistencia llegando al punto de transparentar y optimizar este proceso. (Félez , Mollineda, & Sánchez, 2011)

#### **2.2.3.1. Aplicaciones de la identificación por la forma de caminar**

- Con la creciente demanda de sistemas de vigilancia visual, la identificación humana ha ganado más atención a los investigadores recientemente. El análisis de la marcha se puede utilizar como medida biométrica discreta para identificar a las personas a una distancia sin ninguna atención de los sujetos. Se propone un novedoso y efectivo método, tanto para el punto de vista automático como para la identificación de personas mediante el uso de la secuencia de la silueta de la marcha. (Cheng, Ho, & Huang, 2009)
- El análisis de la marcha también es útil en lugares donde hay un tránsito constante de personas tales como aeropuertos y estaciones de tren; este sistema de biometría podría reconocer un sujeto que sufre de discapacidad al caminar, transmitiendo esa información

rápidamente para que pueda recibir ayuda por parte de algún trabajador.

- Esta tecnología también se adapta en el mundo de los videojuegos, existen aplicaciones por ejemplo que mejoran el movimiento de los personajes y haciéndolo más realista.
- El campo de la medicina también se beneficia del análisis de la marcha, las personas que requieren del desarrollo de nuevas prótesis para corregir los defectos de movilidad que afectan su salud son beneficiadas de estos avances.
- Por último, los sistemas de vigilancia deben tener la capacidad de analizar automáticamente el video y así los fugitivos y delincuentes podrán ser detectados; identificar la identidad de las personas en la escena e investigar sus actividades anteriores y realizar el seguimiento en caso de ser sospechoso. Es otra de las aplicaciones de este sistema biométrico. (Jaume, 2015)

#### **2.2.4. La marcha humana**

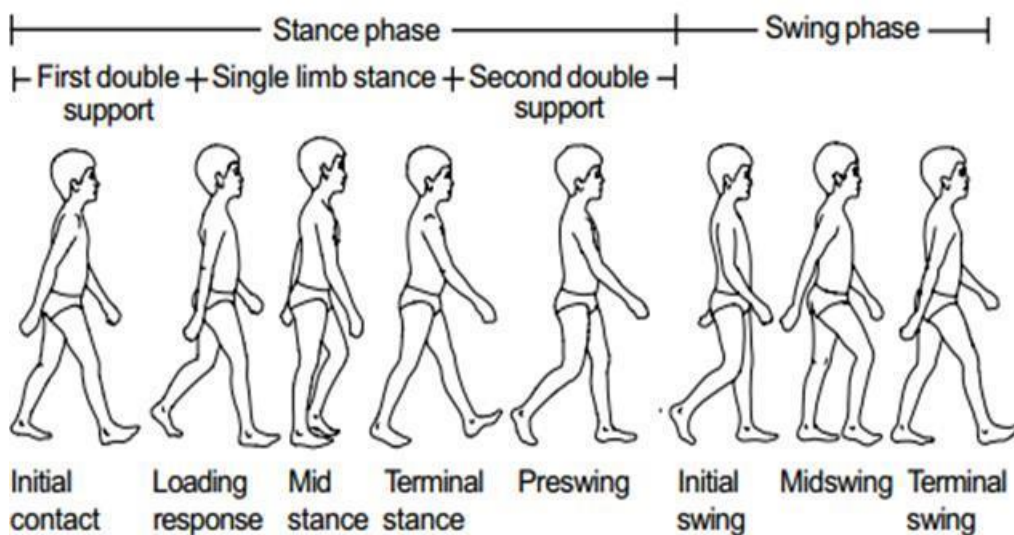
##### **2.2.4.1. Periodicidad de la marcha**

El ciclo de la marcha es el patrón repetitivo de caminar o correr. Al ver una persona caminando, se observa un patrón cíclico de movimiento que se repite a cada momento, paso a paso; el caminar se resume a un solo ciclo, asumiendo que cada uno de estos en secuencia son el mismo, esta hipótesis no es necesariamente verdadera, pero para la mayoría de la gente si lo es. El acto de caminar tiene dos requerimientos básicos:

1. El movimiento periódico de cada pie desde una posición de apoyo hacia otra.
2. La suficiente fuerza aplicada en el suelo para apoyar el pie.

Estos dos requerimientos son necesarios para que se produzca cualquier forma de caminar bípeda, sin importar la distorsión del patrón. El movimiento periódico de las piernas es propio del ciclo de la marcha. En la Figura 1 se observa un ciclo de marcha de una persona de 8 años de edad, se toma en

cuenta que el ciclo empieza cuando uno de los pies toca el suelo. (Vaughan, Davis, & O'Connor, 1992)



**Figura 1. Ciclo de marcha normal de un niño de 8 años de edad**

Fuente: (Vaughan, Davis, & O'Connor, 1992)

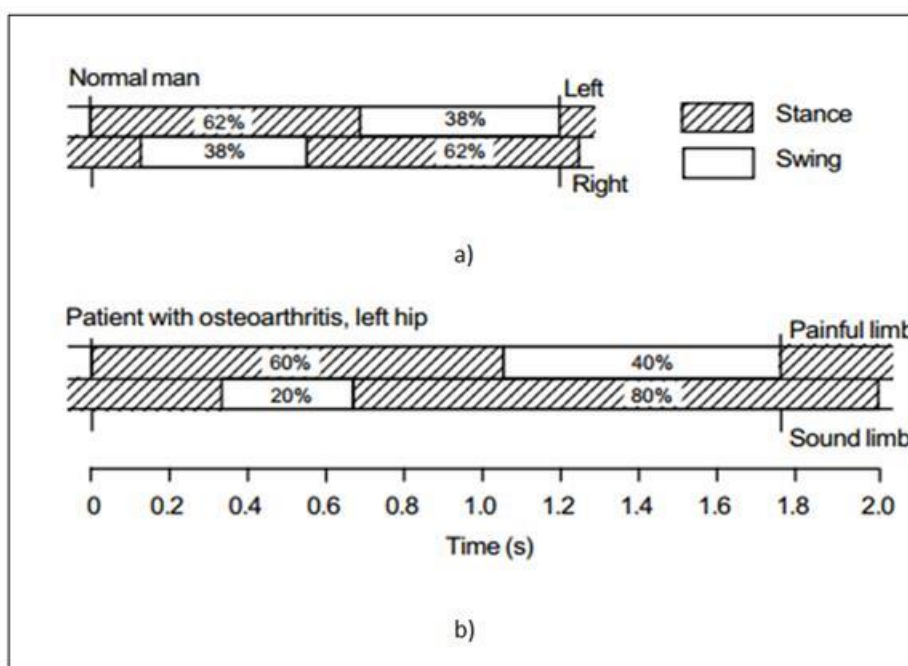
#### 2.2.4.2. Fases del ciclo de la marcha

Dentro del ciclo de la marcha existen dos fases: la de apoyo que es la etapa en donde el pie está en contacto con el suelo; la fase de oscilación o balanceo en donde el pie no está en contacto y la pierna oscila para dar el siguiente paso. En la Figura 1 se muestra que la fase de apoyo se subdivide en otras tres fases que son:

1. First double support (Primer soporte doble): esta fase es también conocida como doble apoyo, es cuando los dos pies están en contacto con el suelo.
2. Single limb stance (Postura con una sola extremidad): únicamente el pie derecho se encuentra en contacto con el suelo y el pie izquierdo se balancea.
3. Second double support (Segundo soporte doble): de nuevo los dos pies se encuentran en contacto con el suelo.

Hay que tomar en cuenta que la nomenclatura de la Figura 1 es con referencia al lado derecho del cuerpo humano, de la misma forma también aplica para el lado izquierdo.

En la marcha normal de una persona se presenta una simetría entre el lado derecho y el lado izquierdo, esta simetría tiende a variar al existir un tipo de patología en la marcha. En un sujeto que posee una caminata normal, la etapa de apoyo tiene un equivalente a un 60% del ciclo y la fase de balanceo hace el 40% restante. A continuación nótese en la Figura 2, la diferencia de simetría del ciclo de marcha entre una persona normal y otra que padece alguna clase de obstrucción al momento de caminar. (Vaughan, Davis, & O'Connor, 1992)



**Figura 2. a) Ciclo de la marcha normal de una persona. b) Ciclo de marcha de una persona que padece de artrosis.**

Fuente: (Vaughan, Davis, & O'Connor, 1992)

#### 2.2.4.3. Eventos del ciclo de la marcha

El ciclo de la marcha se divide en ocho eventos, cinco durante la fase de apoyo y tres durante la fase de oscilación; dichos eventos se han definido en



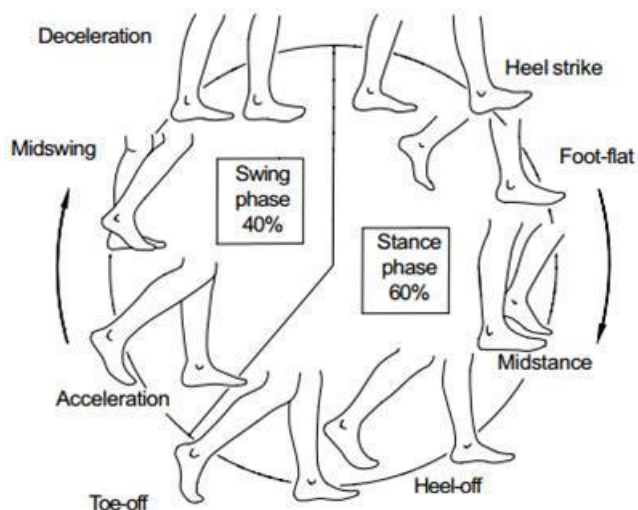
base al movimiento del pie. En la Figura 3 se puede observar la ilustración de cada una de estas etapas. (Vaughan, Davis, & O'Connor, 1992)

A continuación se describe los eventos que constituyen la fase de apoyo:

1. Heel strike (Golpe de talón): Representa el punto en donde el centro de gravedad del cuerpo se encuentra en la posición más baja; es decir el punto en donde el talón toca el suelo.
2. Foot-flat (Pie plano): Punto en que el pie en su totalidad toca el suelo.
3. Midstance (Apoyo medio): Es el punto donde el balanceo del pie pasa al otro que está apoyado y el centro de gravedad se encuentra en la posición más alta.
4. Heel-off: Es el tiempo en el que el talón pierde contacto con el suelo, a la vez se produce un impulso para seguir con la siguiente etapa.
5. Toe-off: Aquí concluye la fase de apoyo, es el punto en donde los dedos del pie hacen contacto con el suelo.

Los eventos que forman parte de la fase de balanceo son los siguientes:

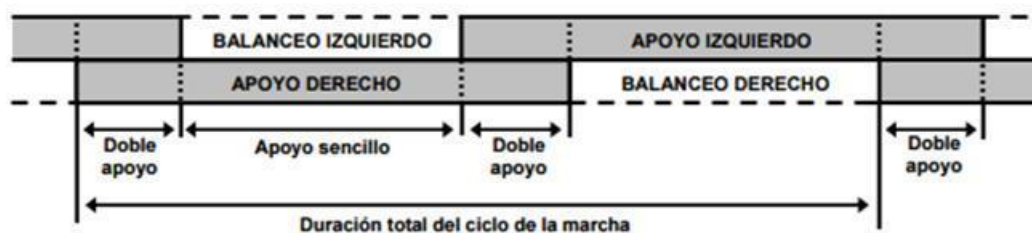
6. Acceleration: Este evento se da en cuanto los dedos de los pies pierden contacto con el suelo y la rodilla de la persona tiende a flexionar en su punto máximo.
7. Midswing (Medio balanceo): Sucede cuando el pie pasa por debajo del cuerpo, exactamente cuando este se encuentra a la mitad del otro pie.
8. Deceleration (Desaceleración): El último evento se da cuando los músculos actúan para reducir la velocidad de la pierna, estabilizando el pie para dar el próximo golpe de talón.



**Figura 3. Eventos durante la fase de apoyo y oscilación**

Fuente: (Vaughan, Davis, & O'Connor, 1992)

Cuando una persona corre, la fase de balanceo abarca el mayor porcentaje durante el ciclo de marcha, debido a esto ya no hay ninguna fase de doble apoyo y en su lugar llega un punto en donde ninguno de los pies toca el suelo, esto se llama fase de vuelo. A medida que la velocidad aumenta, la fase de apoyo disminuye. (Sports Injury Clinic, 2000)



**Figura 4. Representación de los principales componentes de la marcha**

Fuente: (Vera, 1999)

### 2.2.5. Técnicas para la extracción del patrón característico de la forma de caminar

En este apartado se muestran algunas de las técnicas utilizadas para la extracción de patrones de la forma de caminar; en su mayoría se basan en la apariencia y comportamiento de la silueta.

- **Gait Energy Image (GEI)**

A diferencia de las otras representaciones de la marcha que se considera como una secuencia de diferentes posturas, esta técnica representa esos movimientos en una sola imagen. La figura 5 muestra un ejemplo de las imágenes de la silueta en un ciclo de marcha de una persona y la imagen de la derecha es la correspondiente GEI (imagen de la energía de la marcha), que representa las principales formas de la silueta y los cambios a lo largo del ciclo de la marcha; esta imagen se refiere a que un pixel con un mayor valor de intensidad significa que la marcha humana producida en esa posición, es producida con más energía. (Han & Bhanu, 2006)

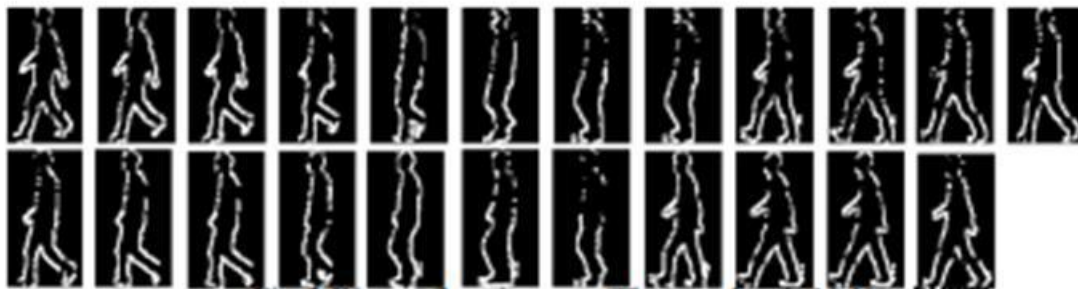


**Figura 5. Ejemplo de imágenes de una silueta normalizados y alineados en una secuencia de la marcha. La imagen de la derecha indica la imagen de la energía de la marcha (GEI)**

Fuente: (Han & Bhanu, 2006)

- **Gait Flow Image (GFI)**

GFI (Imagen del flujo de la marcha) es generada mediante el uso de un campo de flujo óptico. La base de esta técnica es la secuencia de la silueta binaria en donde se captura el movimiento sin depender en su totalidad de la apariencia porque el flujo óptico es producto del movimiento relativo entre el observador y el objeto. Este campo podría ser utilizado para detectar el movimiento, segmentación y seguimiento del objeto. (Wang, Jia, Li, & Wang, 2012)

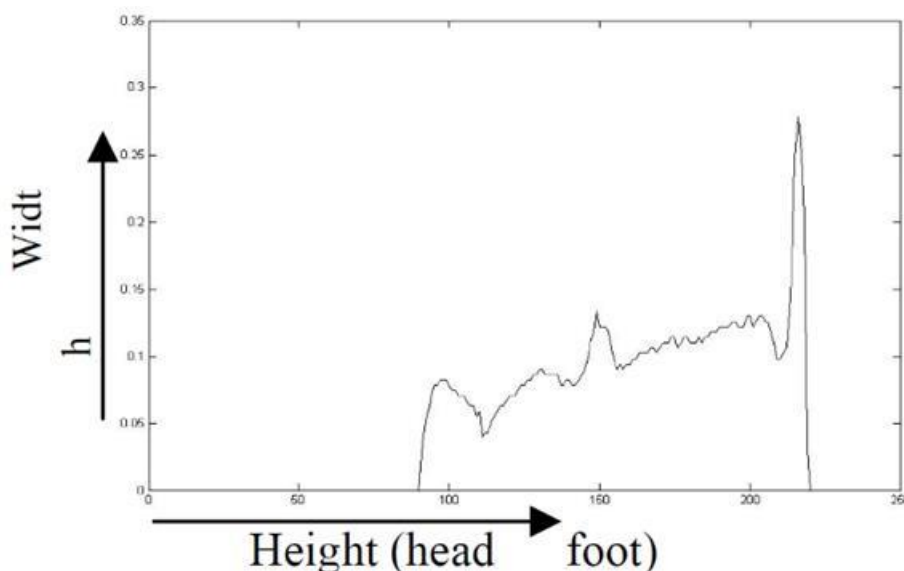


**Figura 6. Ejemplo de la imagen binaria del flujo de la marcha**

Fuente: (Wang, Jia, Li, & Wang, 2012)

- **Periodic Sequence Width Images**

Este método se basa en la medición de anchura de la silueta de cada una de las imágenes en una secuencia. La marcha humana es una forma de movimiento periódico, cuando alguien está caminando el ancho y el alto de la silueta varían; el ciclo de la marcha se calcula por medio del ancho de la silueta, este ciclo es el tiempo entre los valores máximos sucesivos del ancho. Estos valores calculados son guardados en un vector y luego cada valor es relacionado con un valor de pixel. (Su, Liao, & Chen, 2009)



**Figura 7. Representación de los valores de anchura del vector.**

Fuente: (Su, Liao, & Chen, 2009)

## **2.2.6. Software libre para procesamiento de imágenes y video**

### **2.2.6.1. Software libre**

Con software se refiere a la libertad de los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y mejorar el software. Se refiere especialmente a cuatro clases de libertad para los usuarios del software:

La libertad 0: libertad para ejecutar el programa sea cual sea el propósito.

Libertad 1: La libertad para estudiar el funcionamiento del programa y adaptarlo a las necesidades, el acceso al código fuente es condición indispensable para esto.

Libertad 2: La libertad para distribuir copias y ayudar a otros usuarios.

Libertad 3: La libertad para mejorar el programa y luego publicarlo para el bien de toda la comunidad. El acceso al código fuente es condición indispensable para esto.

Software libre es cualquier programa cuyos usuarios gocen de estas libertades. De modo que debería ser libre de redistribuir copias con o sin modificaciones, de forma gratuita o cobrando por su distribución, a cualquiera y en cualquier lugar. Gozar de esta libertad significa, entre otras cosas, no tener que pedir permiso ni pagar para ello. Así mismo, debería ser libre para introducir modificaciones y utilizarlas de forma privada, ya sea en el trabajo o en tiempos de ocio, sin siquiera tener que mencionar su existencia. Si se decidiera publicar estos cambios, no debería estar obligado a notificárselo a ninguna persona ni de ninguna forma en particular.

La libertad para utilizar un programa significa que cualquier individuo u organización podrán ejecutarlo desde cualquier sistema informático, con cualquier fin y sin la obligación de comunicárselo subsiguientemente ni al desarrollador ni a ninguna entidad en concreto. El software libre no significa que sea «no comercial». Cualquier programa libre estará disponible para su uso, desarrollo y distribución comercial. El desarrollo comercial del software

libre ha dejado de ser excepcional y de hecho ese software libre comercial es muy importante. (Stallman, 2004)

### **Ventajas del uso de software libre**

Existen muchas ventajas del uso de software libre y a continuación se mencionan las más destacadas:

- El software libre se basa en principios académicos.
- El costo por licencias y actualizaciones es nulo.
- No da lugar a la piratería porque la licencia admite la libre distribución libre del software.
- La facilidad de encontrar soporte en el mundo del internet es amplia.
- Se puede utilizar en múltiples plataformas como Windows, Linux, Mac, entre otras plataformas.
- La cantidad de virus existentes no afectan al software libre.
- Las actualizaciones se dan constantemente y son de fácil acceso.
- Se acoplan a las necesidades del usuario. (Lizárraga & Díaz, 2007)

#### **2.2.6.2. Visión por computador**

Visión por computador se puede definir como la transformación de información que proporciona una cámara de fotos o video para tomar una decisión o para representar dichos datos; las transformaciones realizadas se realizan con el fin de cumplir un objetivo en particular. Como información de entrada se puede tener una cámara de video en una tienda, como decisión podría ser: hay una persona en la sección de frutas y como representación convertir a escala de grises la imagen a color de esa persona.

OpenCV está orientado a suministrar herramientas básicas y necesarias para resolver los problemas que se dan en la visión por computador. En algunos casos las librerías de alto nivel son suficientes para resolver los problemas más complejos de visión por ordenador, pero por lo contrario las herramientas básicas son suficientes para realizar una sistema completo. (Kaebler & Bradski, 2008)

Según el caso, las soluciones humanas suelen ser inexactas y es porque es más fácil engañar al pensamiento, en relación a un trabajo realizado por visión artificial debido a que nosotros somos criaturas visuales; hay casos en donde la solución debe tener un mayor nivel de inteligencia. La visión artificial tiene sus limitaciones en casos, pero a pesar de ello existen una multitud de aplicaciones como las que se muestra a continuación. (Gonzalez)

Aplicaciones de visión por computador:

- Navegación en robótica
- Biología, geología y meteorología
- Medicina
- Reconocimiento y clasificación
- Inspección y control de calidad

### **2.2.6.3. OpenCV**

OpenCV es liberado bajo una licencia BSD y por lo tanto está libre tanto para uso académico y comercial. Tiene interfaces de C++, C, Python y Java y es compatible con Windows, Linux, Mac OS, iOS y Android. OpenCV fue diseñado para la eficiencia computacional con un fuerte enfoque en aplicaciones en tiempo real. OpenCV está escrito en C optimizado y puede tomar ventaja de los procesadores multinúcleo. Uno de los objetivos de OpenCV es proporcionar una infraestructura de visión por ordenador fácil de utilizar que ayuda a las personas a construir aplicaciones de visión bastante sofisticados de manera rápida.

La librería OpenCV contiene más de 500 funciones que abarcan muchas áreas de la visión artificial, incluyendo la inspección de fábricas de productos, imágenes médicas, la seguridad, la interfaz de usuario, calibración de la cámara, la visión estéreo y la robótica. La reproducción de un video con OpenCV es casi tan fácil como mostrar una sola imagen; la única cuestión nueva de enfrentar es que se necesita de algún tipo de bucle para leer cada fotograma de la secuencia. (Kaebler & Bradski, 2008)

## Áreas de aplicación de la librería OpenCV

Existen varias aplicaciones de la librería OpenCV dentro de visión por ordenador, a continuación resaltan las siguientes: (Arévalo, González, & Ambrosio, 2002)

- Reconocimiento y segmentación de objetos.
- Reconocimiento de gestos.
- Seguimiento de movimiento de objetos y personas.
- Estructura del movimiento.
- Robots.



**Figura 8. Logotipo de software OpenCV**

Fuente: (OpenCV)

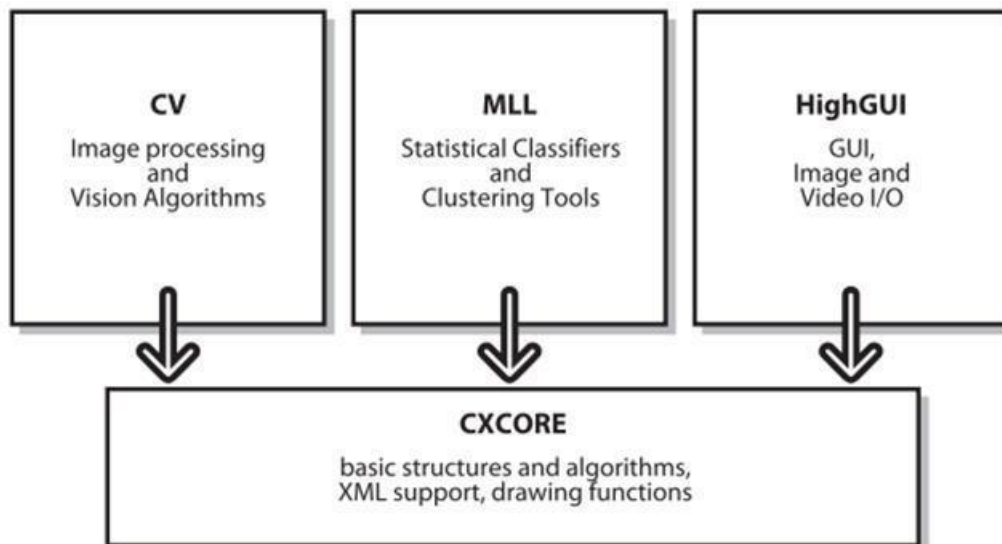
### 2.2.6.4. Estructura de OpenCV

La estructura básica de OpenCV de manera general se divide en cinco componentes, de los cuales se muestran cuatro en la Figura 9.

- CV: Contiene las herramientas básicas y principales para el procesamiento de imágenes como por ejemplo para el seguimiento, reconocimiento de patrones o la calibración de la cámara y también los algoritmos de visión por ordenador de alto nivel.
- MLL: Este componente tiene algoritmos de enseñanza, útil para el análisis de datos, herramientas de agrupación y clasificadores estadísticos.
- HighGUI: OpenCv posee una sencilla interfaz gráfica, también tienen funciones de entrada y salida que permite cargar videos e imágenes.



- **CXCORE:** Aquí se encuentran las estructuras y algoritmos básicos, álgebra de matrices, funciones de dibujo y matemática básica, este módulo también es usado por otros.
- **CVAux:** En este módulo se alojan los algoritmos que se están experimentando, que posiblemente migren hacia la estructura CV. (Kaebler & Bradski, 2008)



**Figura 9. Estructura básica de OpenCV**

Fuente: (Kaebler & Bradski, 2008)

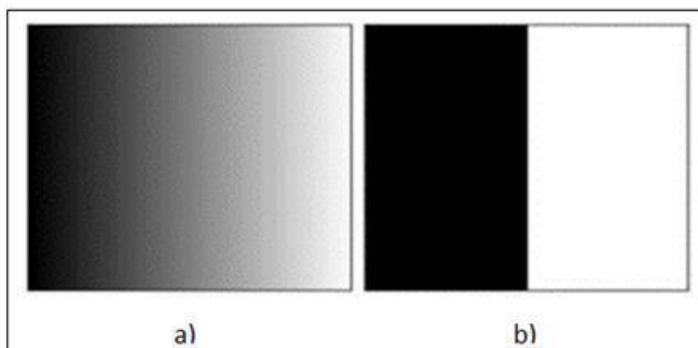
#### 2.2.6.5. Procesamiento de Imágenes y Algoritmos

Con anterioridad se mencionó que OpenCv ofrece más de 500 funciones para el desarrollo de soluciones de visión por ordenador; desde simples funciones utilizadas para transformar una imagen a escala de grises, hasta algoritmos complejos. El procesamiento de imágenes tiene como objetivo tratar una imagen para mejorar su presentación y posteriormente tomar decisiones sobre ella; a continuación se mencionan algunas de las funciones que OpenCV maneja:

- **Thresholding**

Es uno de los tipos de segmentación más sencillos y es aplicativo para el proceso de binarización de imágenes. Como primer punto se tiene la imagen original, esta debe estar en escala de grises; en segundo lugar se escoge el

valor de umbral con el que se va a trabajar para clasificar el valor de los píxeles y como tercer punto si el valor del pixel es mayor que el umbral, se establece un valor que puede ser blanco y si es menor que el valor de umbral puede asignar el color negro. (OpenCV)



**Figura 10. a) Imagen original. b) Imagen binarizada**

Fuente: (OpenCV)

#### **2.2.6.6. Filtros y transformaciones**

##### **Filtrado de imágenes**

Debido a que los píxeles sufren cambios por la luz, lo que conlleva a detectar datos erróneos, es necesario utilizar algoritmos para contrarrestar estos problemas. Así pues se consideró la explicación de las siguientes funciones:

- **Canny**

Esta función sirve para detectar los bordes que existen en una imagen y posee tres criterios: (OpenCV)

1. Baja tasa de error: Significa que la detección de bordes es buena y única.
2. Buena localización: La distancia entre los píxeles del borde detectado y los del borde original de la imagen debe ser mínima.
3. Mínima respuesta: una única respuesta detectada por borde.

En la Figura 11 se muestra un ejemplo del uso de la función canny; la sección (a) representa la imagen original y en la sección (b) se observa la detección del contorno de la imagen, el resultado varía según el manejo del umbral.



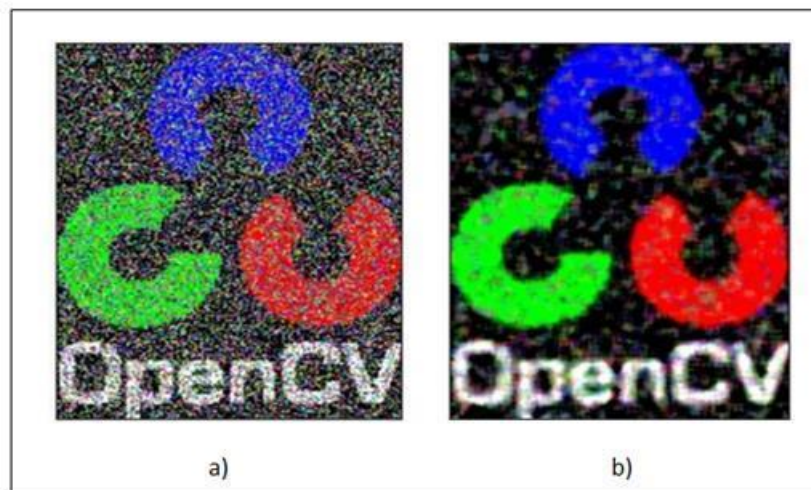
**Figura 11. a) Imagen original. b) Aplicación de detección de bordes (Canny)**

Fuente: (OpenCV)

- **Median Blurring**

Con frecuencia se utiliza esta función en procesamiento de imágenes, para lograr un suavizado con la finalidad de eliminar el ruido de manera eficaz; este resultado se lo obtiene del cálculo de la mediana de todos los píxeles bajo un área determinada. Se utiliza la mediana en casos en donde se necesita controlar la detección de bordes y eliminación de ruido a la vez. (Arévalo, González, & Ambrosio, 2002)

En la Figura 12 se aprecia la función que Median Blurring desempeña; en la sección (a) se observa la imagen original con ruido y en la sección (b) tras aplicar esta herramienta, mejora la presentación.



**Figura 12. a) Imagen original b) Imagen aplicado un desenfoque**

**Fuente:** (OpenCV)

### **Transformaciones Morfológicas**

Las transformaciones morfológicas son algunas operaciones que se basan en la forma de la imagen, normalmente cuando esta se encuentra binarizada; una de las funciones es la eliminación de ruidos y obtener la estructura de la imagen sobre la cual se va a trabajar. Para realizar estas operaciones se necesita de dos entradas que son la imagen original y un kernel que es un elemento estructurado, este decide la naturaleza de la operación. Los operadores morfológicos más básicos son erosión y dilatación (erosion and dilation), desde allí se despliega otros como apertura y cierre (opening and closing).

- **Erosion and dilation**

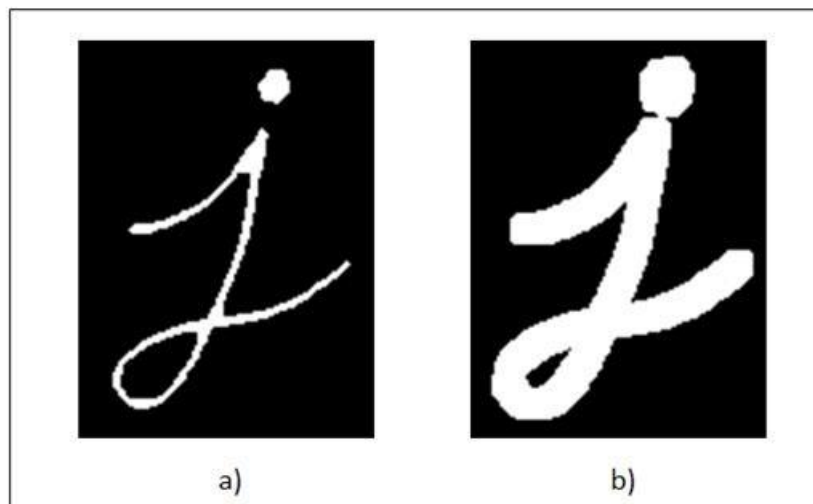
Son operaciones morfológicas básicas que tienen como objetivos principales la eliminación de ruido, aislar a los objetos individualmente o unir elementos en una imagen, también cumplen con la función de encontrar puntos concentrados de intensidad o a su vez partes exceptos de ella. La operación erosión hace que la parte brillante se haga pequeña y la parte oscura se haga más grande; dilatación es todo lo contrario la parte luminosa se agranda y la oscura se contrae.

La Figura 13 ilustra la imagen original y en la Figura 14 se observa la diferencia entre erosión y dilatación. (OpenCV)



**Figura 13. Imagen original**

Fuente: (OpenCV)



**Figura 14. a) Ejemplo de una figura erosionada. b) Ejemplo de una figura dilatada**

Fuente: (OpenCV)

- **Opening**

Su nombre proviene del efecto de la operación erosión seguida por la dilatación. Esta operación se encarga de eliminar los ruidos que aparecen en la imagen, como se puede apreciar en la Figura 15, en ella se observa el cuadro original y al aplicar la función opening mejora su presentación.



**Figura 15. Ejemplo del resultado al aplicar la operación Opening**

Fuente: (OpenCV)

- **Closing**

Es lo contrario de la operación opening, su nombre se da por la dilatación seguida de la erosión. En el momento de detectar la imagen del primer plano existen veces en donde aparecen agujeros o puntos negros en el interior, allí acciona esta operación. En la Figura 16 se muestra el cuadro original con defectos en el interior de la imagen y junto a esta se observa el resultado de aplicar la función closing.



**Figura 16. Ejemplo del resultado al aplicar la operación Closing**

Fuente: (OpenCV)

### 2.2.6.7. Lenguaje de programación Python

La principal ventaja de utilizar Python es que no se cubre gastos por licencia porque es un tipo de tecnología libre y abierta. Python es un lenguaje de programación de alto nivel orientado a objetos, que además utiliza semántica dinámica y fácil de aprender. El alto nivel dentro de una

estructura de datos, junto con la dinámica utilizada, se convierte en ideal para el desarrollo de aplicaciones rápidas. La sintaxis de Python es fácil de aprender; soporta módulos y paquetes por ende causa modularidad del programa y la reutilización del código. Otra ventaja es su portabilidad, es decir que corre en sistemas como: Windows, Linux, MacOS, etc.; su libre distribución, al igual que la disponibilidad de su librería para la mayoría de plataformas.

La utilización de Python para muchos programadores significa aumento de productividad porque excluye el paso de compilación y la etapa de depuración es rápida y fácil; esta fase permite que una entrada errónea no produzca un fallo de segmentación; controla los errores en base a excepciones. Un depurador a nivel de fuente admite inspección de variables locales y globales, evaluar expresiones de manera arbitraria, ajustar los puntos de interrupción, paso de código de una línea a la vez. El depurador en sí se encuentra escrito en Python, eso muestra la característica de introspección de este lenguaje de programación. La Figura 17 presenta el logotipo de Python extraída de su página oficial. (Python)



**Figura 17. Logotipo del lenguaje del software Python**

Fuente: (Python)

### **¿Por qué utilizar Python?**

La productividad sin precedentes lo vuelve único a este lenguaje; cuenta con una gran variedad de módulos para realizar diferentes tareas. Se encuentra en diferentes ambientes y uno de ellos es la programación científica dentro de la NASA, está implementado también en Google y también como un lenguaje de script para ejecutar aplicaciones web. Posee la desventaja de lentitud dentro de la programación científica, sin embargo la

existencia de módulos programados contrarrestan el problema. (Ferreiro & García, 2005)

### **Librerías utilizadas para el desarrollo de interfaces gráficas en Python**

Existen varias librerías útiles para realizar una interfaz gráfica como wxPython, que desarrolla interfaces en lenguaje C++, caracterizada por ser de código abierto y su disponibilidad para ejecutarlos en las plataformas Windows, Macintosh, Unix. (Precord, 2010). Tkinter es otra librería para crear interfaces que a diferencia de wxPython es más fácil su aprendizaje y de documentación amplia; a continuación su descripción.

#### **Tkinter**

Tkinter es una librería estándar de Python que trabaja con el conjunto de herramientas Tk; su ventaja es que viene preinstalada junto con Python con disponibilidad en la mayoría de plataformas: Unix, Windows, Macintosh, etc. Una interfaz es creada mediante varios módulos y el más sobresaliente es Tkinter en sí, para utilizarlo solo hay que importar el módulo, que contiene las funciones necesarias para trabajar con las herramientas Tk.

La librería Tkinter posee alrededor de 15 widgets que permiten acceder a múltiples funciones y son: button, canvas, checkbutton, entry, frame, label, listbox, menú, menubotton, message, radiobutton, scale, scrollbar, text, toplevel, etc. A continuación se describirán los más importantes utilizados en este proyecto: (Lundh, 2009)

- Button: Es un simple botón que se utiliza para la ejecución de un comando u otra operación.
- Canvas: Es usado para dibujar gráficos o para crear editores gráficos y widgets personalizados.
- Frame: Es un marco que puede tener un borde y un fondo, este sirve para contener otros widgets al desarrollar una aplicación o para crear diseños de diálogo.
- Label: Muestra un texto o una imagen.



- Text: Sirve para la visualización de texto con varios estilos y permite incluir imágenes y ventanas. (Lundh, 2009)

#### **2.2.6.8. Procesamiento de video**

##### **Video Digital**

Un video consiste básicamente en una secuencia de imágenes, que se muestran en rápida sucesión para dar una ilusión de movimiento continuo. Un video es tratado como una serie de imágenes denominadas tramas y para obtener una ilusión de video, las tramas deben cambiar rápidamente. (INTRODUCTION TO VIDEO PROCESSING)

Las aplicaciones de video presentan desafíos comunes que requieren un análisis flexible y funcionalidad de procesamiento para que puedan:

- Resolver problemas como: el ruido, interferencia, bajo contraste.
- Analizar videos con métodos tales como la detección de bordes, análisis de partículas, etc.
- Desarrollar soluciones a los problemas de procesamiento de video comunes, tales como la estabilización de video, detección de objetos y seguimiento. (MathWorks, 1994-2016)

##### **Estándares de video digital**

Se han desarrollado varios estándares de video digital, para satisfacer los requerimientos de diferentes aplicaciones y a continuación se mencionarán los más comunes:

**AVI (Audio Video Interleave):** Es un formato estándar para plataformas Windows, que permite el almacenamiento de audio y video; actualmente existe la probabilidad de que este sea el más extendido de Microsoft. Aunque la calidad de video que contiene este formato es muy buena, el archivo resulta tener un peso muy elevado; por lo general los archivos que están dentro de este formato llevan la extensión \*.avi. (Delgado, Sastre, & Rodrigo, 2010)

**MPEG (Moving Picture Experts Group):** Es un formato que almacena audio e imágenes en movimiento. Este grupo desarrolló varios estándares de codificación como: MPEG-2, MPEG-3 y MPEG-4, este último es uno de los estándares que aún se encuentra en desarrollo para múltiples aplicaciones de cámaras de vigilancia de baja y alta resolución. Una de las características más importantes de MPEG, es que el tamaño de la imagen y velocidad de fotogramas y de bits pueden ser especificados por el usuario. Los archivos que pertenecen a este tipo de formato llevan la extensión \*.mpg, \*.mpeg. (Sikora, 1997)

**WMV (Windows Media Video):** Esta tecnología es muy utilizada a nivel industrial para la entrega de videos mediante Internet hacia una PC, en cuanto a calidad se puede decir que es de competitividad alta. El contenido que maneja WMV está siendo utilizado por varios dispositivos electrónicos como reproductores portátiles, estéreos, etc. A este formato se lo conoce por la extensión \*.wmv. (Srinivasan, Hsu, & Holcomb, 2004)

### **Parámetros de video digital**

El video digital está definido por cinco parámetros principales que son:

- **Resolución:** Es el número de píxeles que tiene una imagen, mientras mayor sea el número de píxeles mayor es la calidad y podrá observarse mejor. Este parámetro es tomado en cuenta en la videovigilancia, es muy importante para la identificación. Para conocer la resolución hay que realizar la multiplicación entre los valores de píxeles horizontales y verticales.
- **Muestreo:** Este parámetro surge de la necesidad de reducir la cantidad de información captada por la cámara, para que el manejo sea más fácil; existe dos tipos de muestreo: total o RGB y parcial o YUB. El muestreo total proporciona mayor calidad a comparación del muestreo parcial, que elimina una parte de la información.
- **Profundidad de color:** Hace referencia a la cantidad de luz y color de la imagen; este parámetro se mide en bits, es decir a mayor cantidad de bits, mayor es la calidad de representación. Los formatos de video

digital en su mayoría muestran las imágenes con una profundidad de color de 8 bits y existen otros que trabajan con 10 y hasta con 12 bits.

- **Cadencia:** A este parámetro se lo denomina también como frecuencia de fotogramas, indica el número de frames que pasan en un segundo (fps) y al igual que la resolución define la calidad del video; si el número de frames mostradas en un segundo es mayor, la fidelidad de representación real también será mayor; este parámetro varía según el formato en uso.
- **Compresión:** Tiene como finalidad reducir el tamaño y peso del flujo de información sin disminuir la calidad de video, de esta manera se consigue que el manejo de la información sea más fácil. La compresión se puede decir que es una solución que ofrecen los fabricantes de tecnologías como, cámaras digitales y su eficiencia es más relevante a medida que la compresión sea mayor y la pérdida de datos sea escasa. (Carrasco, 2010)

### **Cámara para procesamiento de video.**

La función principal de una cámara es capturar la imagen enfocada; una cámara utilizada para visión artificial posee características de nivel superior a comparación de una convencional, en cuanto a parámetros como: sensibilidad, alta definición, velocidad y control de disparo, etc. (Generalidad de Cataluña, 2012)

### **Cámara Logitech HD Pro Webcam C920**

Se utiliza esta cámara en el proyecto, porque posee prestaciones para la detección de movimiento, debido a la velocidad de captura entre otras características. A continuación se muestra los requisitos del sistema y especificaciones de la cámara que se observa en la Figura 18.



**Figura 18. Cámara Logitech HD Pro Webcam C920**

Fuente: (Logitech, 2016)

### **Requisitos del Sistema**

- Es compatible con Windows 7, Windows 8 o Windows 10.
- Funciona en modo UVC (USB Video Device Class)

### **Especificaciones**

- Videoconferencias Full HD 1080p (hasta 1920 x 1080 píxeles)
- Videoconferencias HD 720p (1280 x 720 píxeles)
- Grabaciones de video Full HD (hasta 1920 x 1080 píxeles)
- Compresión de video H.264: elimina los largos procedimientos de compresión, lo que acelera las cargas y permite utilizar menos recursos de la computadora.

Corrección automática de iluminación escasa: Graba videos nítidos aunque la iluminación sea escasa, corrige de manera automática condiciones de poca luz. (Logitech, 2016)

## **2.3. Sistemas de variables del proyecto en ejecución**

### **2.3.1. Definición conceptual**

A continuación se muestra la definición conceptual tanto de la variable independiente como dependiente para proyectar un significado preciso de la investigación realizada.

- **Variable independiente.**

Sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar: Es un conjunto organizado formado por elementos y procedimientos que interactúan entre sí, diseñado para cumplir con el objetivo de identificación basado en la marcha única de las personas.

- **Variable dependiente.**

Registro de acceso: Es uno de los procesos que se debe cumplir dentro de recursos humanos en una empresa, para obtener información de la hora de entrada y salida de una persona, también se la utiliza como medida de seguridad. Varios sistemas se han utilizado para esta actividad como huella dactilar, reconocimiento facial o por la forma de andar que es el presente proyecto de investigación.

### **2.3.2. Definición operacional**

Seguidamente se muestra la definición operacional de las variables independiente y dependiente, para determinar posteriormente los indicadores que permitirán evaluar la medición de las mismas.

- **Variable independiente.**

Sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar: Existen varias formas para extraer el patrón característico de una persona al momento de caminar y realizar el reconocimiento, tal es

el caso de: extracción de la silueta y aplicar el método basado en la medición de la anchura de la misma.

- **Variable dependiente.**

Registro de acceso: la medición de esta variable dependerá del algoritmo utilizado del sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar.

## 2.4. Hipótesis

- El sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar utilizando procesamiento de video y software libre, permitirá la eficiente identificación y registro de diferentes personas.

## 2.5. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 1.

**Cuadro de operacionalización de la variable independiente**

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar</b>	* Accesibilidad	* Software y librerías
	Tecnológica	* Algoritmo implementado
	* Accesibilidad	* Interfaz gráfica
	Económica	

Tabla 2.

**Cuadro de operacionalización de la variable dependiente**

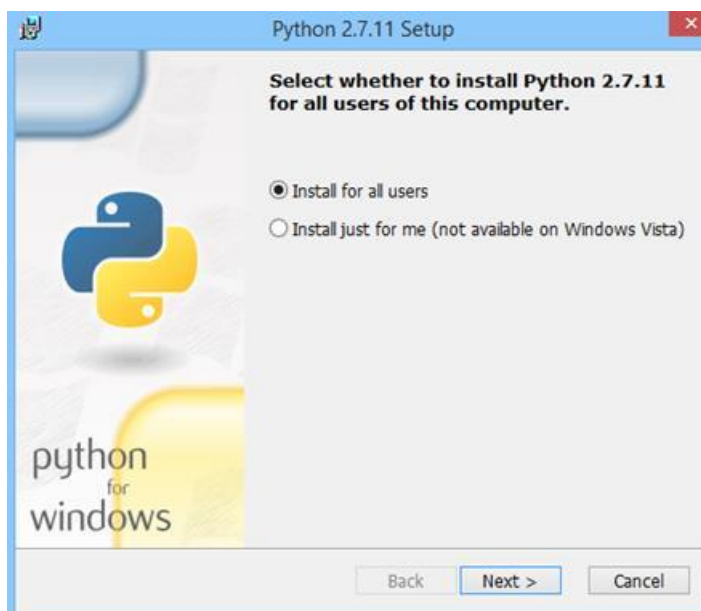
VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Registro de acceso</b>	* Proceso de registro de acceso	* Pruebas de reconocimiento de personas
	* Instituciones con necesidad de un registro de acceso	* Porcentaje de reconocimiento
	* Sistemas utilizados para la actividad	

## CAPÍTULO III

### 3. DESARROLLO

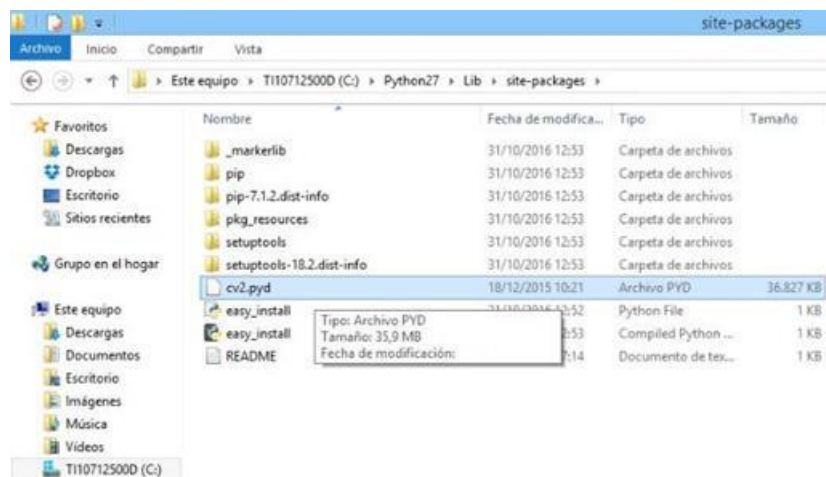
#### 3.1. Requerimientos del sistema de reconocimiento

Para desarrollar el proyecto es necesario instalar Python, porque este es el lenguaje de programación a utilizar. En la página oficial de Python, [www.python.org](http://www.python.org) se encuentra la versión 2.7 (febrero de 2017), que es la que se descargará necesariamente porque es la que mejor se acopla con OpenCV al momento de trabajar en conjunto. Después de la descarga se realiza la instalación que es muy sencilla, esta información se la puede encontrar en tutoriales acerca de la instalación de Python en Windows; en la Figura 19 se observa el inicio del proceso de instalación.



**Figura 19. Instalación del lenguaje de programación Python**

Una vez que se instaló Python, descargar la versión de OpenCV para Windows de la página oficial [www.opencv.org](http://www.opencv.org), descomprimir el archivo y aceptar la ruta de instalación recomendada. Copiar el archivo `cv2.pyd` de la ruta `C:\opencv\build\python\2.7` y pegar en la ruta `C:\Python27\Lib\site-packages` como se observa en la Figura 20.



**Figura 20. Proceso de instalación de OpenCV versión para Windows**

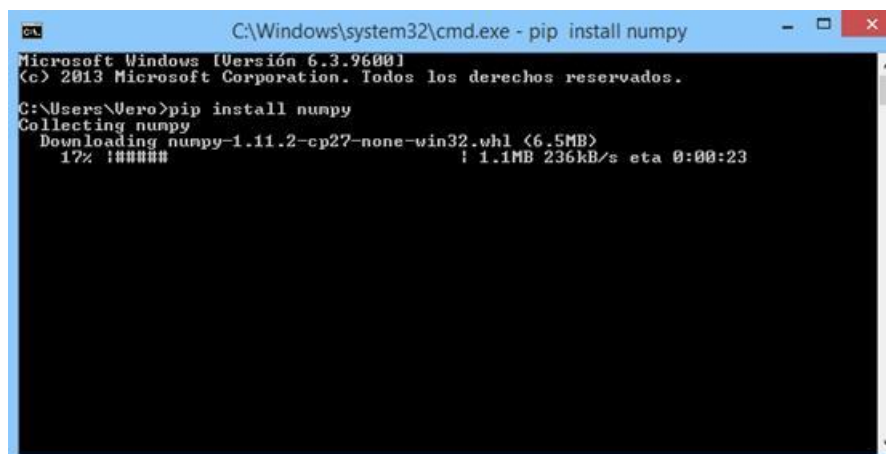
Existe una manera sencilla para instalar las librerías de software de Python, utilizando el administrador de paquetes “pip”; en el símbolo del sistema insertar “pip install nombre\_librería” e iniciará la instalación.

### Principales librerías de Python utilizadas en el sistema

Existe una gran variedad de librerías para la creación de algoritmos y a continuación se mencionan las principales usadas en esta aplicación.

- **Numpy:** es un paquete fundamental, porque permite manejar arreglos de gran dimensión sin limitar mucho la velocidad, además esta librería es apropiada para interactuar con aplicaciones de base de datos de propósito general (Python).

En la Figura 21 se ilustra la instalación de la librería Numpy.



**Figura 21. Instalación de la librería Numpy**



- **Pillow:** este paquete es ideal para trabajar con imágenes de diferente formato (Python). Para la instalación se realiza el mismo procedimiento de la Figura 21 pero con el comando “pip install pillow”.
- **Tkinter:** esta librería es usada para crear la interfaz gráfica en Python, no necesita ser instalada debido a que ya viene incluida.
- **Time:** es un módulo que contiene funciones relacionadas con el tiempo, en este caso la librería time es utilizada para calcular el tiempo de desplazamiento del individuo entre dos puntos; existen otros módulos que proporcionan funciones relacionadas como el datetime que sirve para mostrar información de hora y fecha. (Python)
- **CV2:** es una de las estructuras básicas dentro de la librería OpenCV, contiene herramientas para trabajar en el procesamiento de imágenes u otros algoritmos; para asegurar la disponibilidad de estas herramientas, una vez que la instalación de Python ha concluido, se debe seleccionar al editor y escribir el comando “import cv2”, si no existe errores, esta librería está lista para ser utilizada.

### Base de datos MySQL

Es un sistema de gestión de bases de datos diseñado para varias plataformas, es de código abierto y de alto rendimiento; ésta es la herramienta a utilizar en el presente trabajo para la creación de registros de las personas del sistema de reconocimiento. Se debe ingresar a la página [www.mysql.com](http://www.mysql.com) para realizar la descarga de MySQL. En la Figura 22 se muestra el inicio de la instalación.



**Figura 22. Instalación del sistema de gestión de bases de datos MysqI**

### 3.2. Descripción general del sistema de reconocimiento

Mediante el diagrama de la Figura 23 se explica a breves rasgos las etapas del sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar.



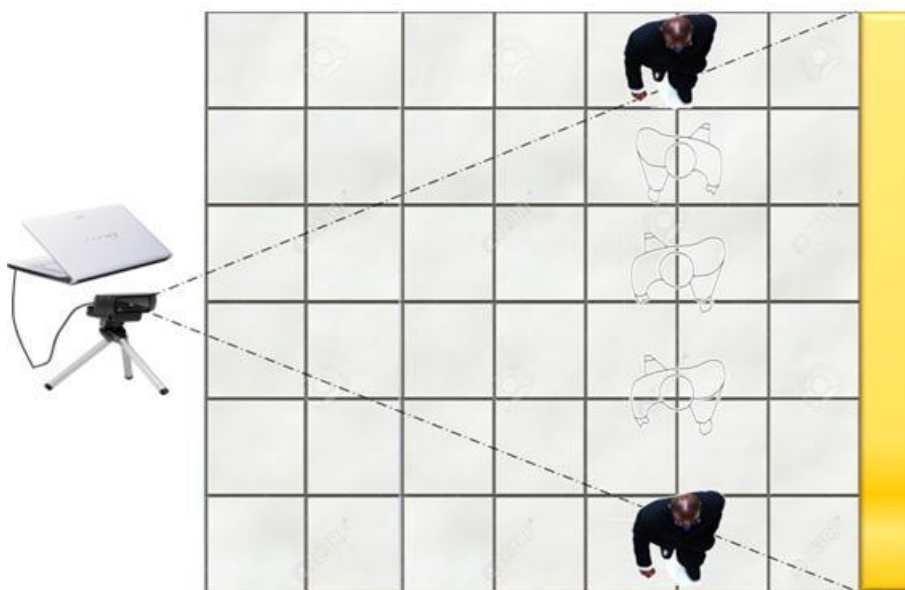
**Figura 23. Diagrama de las etapas del sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar**

- **Adquisición de video:** Una vez que el individuo genere el ciclo de marcha, la cámara inicia con la adquisición de video, para seleccionar el dispositivo se toma en cuenta criterios tales como el número de cuadros por segundo, porque el reconocimiento de las personas es de manera inmediata y en tiempo real.
- **Procesamiento de video:** A continuación se presenta una fase importante del sistema, procesar el video en un ordenador, en donde la silueta del individuo es tratada, consiguiendo en lo posible un contorno libre de ruido para un posterior análisis.
- **Algoritmo de reconocimiento:** En esta etapa se realiza el algoritmo del sistema para la extracción de características, estas deben ser las que más se distinguen en la silueta del sujeto al momento de caminar.
- **Creación de la base de datos:** Se crea una base de datos para recolectar y almacenar la información de las personas que necesitan ser registradas.

- **Reconocimiento:** Consiste en comparar las características guardadas de la persona en la base de datos, con las características de la silueta del individuo en tiempo real y mostrar los resultados en una interfaz gráfica, para posteriormente crear un registro de acceso de las personas intervenidas.

### 3.3. Configuración física del sistema y sus limitaciones

Para esta aplicación, el sistema requiere de ciertas características del entorno y de esto dependerá su rendimiento; por ello es necesario fijar condiciones como la ubicación física del sistema y el tipo de iluminación con la cual se va a trabajar. En la Figura 24 se ilustra un esquema de la ubicación de los componentes que forman parte del sistema de reconocimiento, de tal manera que dicho sistema se ajuste al lugar de experimentación y posteriormente desarrollar el programa para el reconocimiento de personas. El lugar en donde se efectuará la caminata es una senda de aproximadamente 4 metros de largo y 0.4 metros de ancho con iluminación constante, la cámara de video está ubicada al lado lateral de la senda a 3.1 metros, como se aprecia en la Figura 24.



**Figura 24. Esquema del lugar de desarrollo del sistema de reconocimiento**

Como ya se mencionó, el rendimiento del sistema depende de condiciones como las que se indican a continuación:

- **Espacio físico:** es necesario adecuar la caminata en línea recta sobre la senda ya predeterminada, de lo contrario algunas características de la marcha cambiarán desde el punto de vista de la cámara y los valores calculados se verán alterados.
- **Iluminación:** La luz debe ser constante, de otro modo la máscara se verá afectada por factores como: el exceso de brillo, sombras o destellos de luz ocasionados por objetos secundarios que estén en movimiento; por ende el área calculada del sujeto bajo análisis se verá afectada.
- **Velocidad de caminata:** A medida que la velocidad de la marcha aumente, las características de cada persona van a cambiar, produciendo datos erróneos.
- **Flujo de personas:** Este sistema responde a la caminata realizada por las personas de manera individual, de lo contrario tomará valores añadidos alterando el área que se va a procesar y producirá un error de reconocimiento.
- **Vestimenta:** Este es un factor muy común e influyente en el rendimiento del sistema; prendas como: vestidos, capuchas, gorros, tacones, etc. son artículos que llegan a obstruir un reconocimiento acertado. De igual manera el color de ropa tiende a generar problemas, debido a que se origina confusión con el fondo utilizado para el procesamiento de video, creando un impedimento para la segmentación correcta del objeto de interés.

#### **3.4. Desarrollo del algoritmo para el sistema de reconocimiento**

El desarrollo del algoritmo considera las siguientes etapas:

### 3.4.1. Adquisición de video

Consiste en adquirir el video de la marcha del individuo en tiempo real utilizando una cámara que captura videos a 30 frames por segundo y con una resolución de 640 x 480 píxeles. Para inicializar la cámara y capturar el video se utiliza la instrucción “cv2.VideoCapture (0)”, el valor “0” es la dirección del puerto de acceso de la cámara de video. Con las siguientes líneas de código se establece la resolución, es decir el ancho y largo del frame respectivamente.

```
cap.set (3, 640)
```

```
cap.set (4, 480)
```

### 3.4.2. Procesamiento de video

Una vez que el video es adquirido está listo para ser procesado, esta fase es muy importante para lograr que la silueta de la persona se muestre en lo posible libre de ruido para analizarla posteriormente y extraer sus características. Para lograr este objetivo se realiza el siguiente procedimiento.

- **Substracción de fondo**

Consiste en extraer el plano que está en movimiento del plano estático y así se logra obtener la silueta de la persona que está caminando en el momento que el individuo aparezca en el lugar de enfoque de la cámara, lo cual se muestra en la Figura 25. La substracción de fondo se realiza con la siguiente función:

```
fgbg = cv2.BackgroundSubtractorMOG()
```

```
fgmask = fgbg.apply(imagen)
```



**Figura 25. Persona caminando, aplicación de la técnica substracción de fondo para extraer la silueta.**

#### ❖ Binarización

El objetivo de binarización es diferenciar los píxeles del objeto que interesa es decir la silueta del resto de la imagen, como se observa en la Figura 26; esto se logra con la siguiente instrucción.

```
cv2.threshold(fgmask,0,255,cv2.THRESH_BINARY)[1]
```

El primer parámetro “fgmask” es la imagen a binarizar, el segundo y el tercer parámetros “0” y “255” son los valores de umbrales, éstos se encargan de clasificar los valores de píxeles binarizando la imagen, siendo 0 negro y 255 blanco, utilizando la función cv2.THRESH\_BINARY.



**Figura 26. Silueta de la persona caminando, imagen binarizada**

### ❖ Filtros y transformaciones

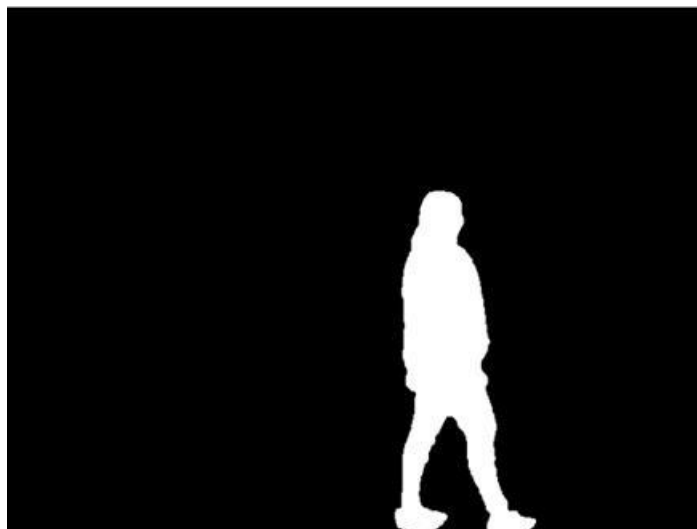
Estas transformaciones normalmente son usadas cuando se tiene una imagen binarizada, la finalidad de uso en este caso es eliminar los ruidos y obtener la estructura de la silueta para trabajar sobre ella con facilidad. A continuación se explica las operaciones utilizadas.

La operación OPENING sirve para eliminar en lo posible el ruido de la silueta, así lo muestra la Figura 27 y se utiliza la función: **cv2.morphologyEx (fgmask,cv2.MORPH\_OPEN,kernelopen)**.



**Figura 27. Silueta de la persona caminando, aplicación de la operación morfológica OPENING**

La operación CLOSING sirve para llenar aquellos vacíos dentro de la silueta y completar su estructura, la diferencia la podemos observar entre las Figuras 27 y 28; se utiliza la función: **cv2.morphologyEx(openfiltro, cv2.MORPH\_CLOSE, kernelclose)**



**Figura 28. Silueta de la persona caminando, aplicación de la operación morfológica CLOSING**

Para definir mejor el contorno de la silueta se utiliza la operación DILATION, con la siguiente función: `cv2.dilate(closeFiltro,kerneldil,iterations = 1)`; observar el efecto en la Figura 29.



**Figura 29. Silueta de la persona caminando, aplicación de la operación morfológica DILATION**

Para conseguir un mejor enfoque se utilizó la instrucción: `median=cv2.medianBlur(dilation,5)` en donde “`cv2.medianBlur`” es una función efectiva para reducir el ruido, los parámetros dentro del paréntesis son: “`dilation`”, que es el nombre de la imagen sobre la cual se aplicará dicha función y “`5`”, es el valor de kernel recomendado en este caso para el efecto



deseado y de colocar un valor superior la imagen se tornaría borrosa. El efecto de la función `medianBlur` se muestra en la Figura 30.

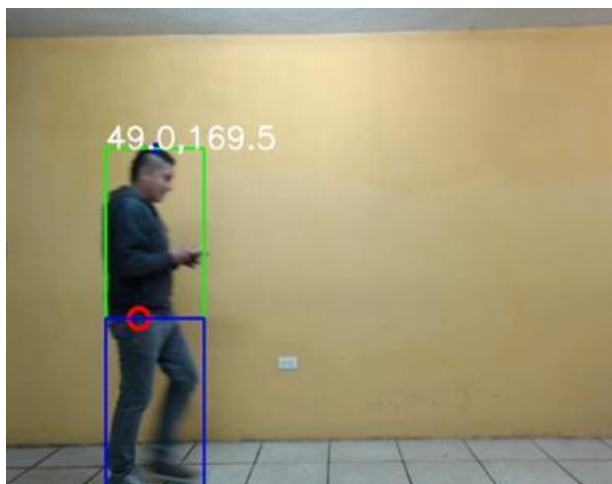


**Figura 30. Aplicación del filtro `medianblur` para crear un suavizado en la silueta**

### **3.4.3. Extracción de características**

En primer lugar se deben identificar los contornos de la silueta de la persona, los mismos que permiten fijar los límites para construir el área de trabajo. En segundo lugar se calcula el centro de gravedad del cuerpo de la persona (CG), que es en donde recae todo el peso del cuerpo ayudándolo a mantener el equilibrio y estabilidad; este punto sirve para el análisis del movimiento y ritmo de la marcha del sujeto, también para calcular los cambios de ángulo del cuerpo humano. (Tsao, Liu, & Chiu, 2014)

Para hallar el centro de gravedad, una vez construido el área de trabajo, el código creado se encarga de calcular la altura de la persona, dicha altura es dividida en dos partes y de igual manera la región que ocupa la persona; la intersección de estos puntos medios se le llama centro de gravedad, el cual es muy importante para realizar los cálculos de los parámetros de la marcha. En la Figura 31, se ilustra el centro de gravedad del cuerpo de la persona.



**Figura 31. Construcción del área de trabajo y cálculo del centro de gravedad del cuerpo de la persona**

Una vez que se halla el centro de gravedad, se realizan los cálculos de los siguientes parámetros de la marcha:

- ❖ Ángulo de curvatura del tronco
- ❖ Ángulo de abertura de las piernas
- ❖ Velocidad al caminar
- ❖ Altura y ancho de la persona
- ❖ Longitud de paso

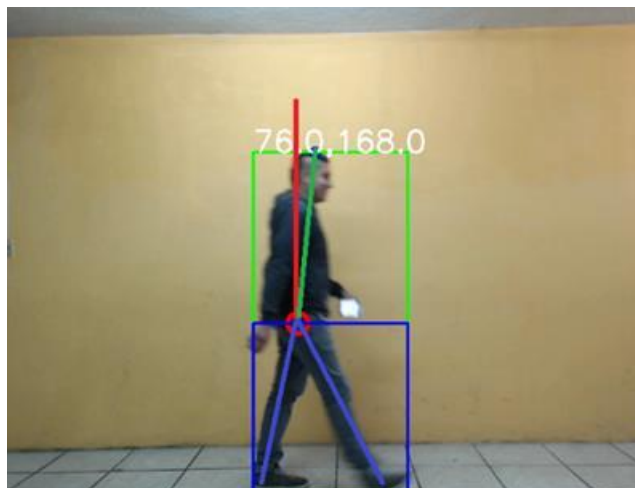
- **Ángulo de curvatura del tronco**

Este parámetro en el análisis de la marcha ayuda a determinar la postura de la persona; para hallar el ángulo de curvatura del tronco, se traza una línea recta vertical desde el centro de gravedad de la silueta de la persona hasta la parte superior de la cabeza y otra línea recta inclinada desde el centro de gravedad hasta la parte frontal de la cabeza, como se muestra en la Figura 32.

- **Ángulo de abertura de las piernas**

En el siguiente cálculo se determina el valor del ángulo que se forma entre los segmentos de las piernas al dar un paso en la trayectoria de la marcha. Para esto se traza una línea recta inclinada desde el centro de gravedad hasta el extremo de un pie y otra línea recta inclinada desde el

centro de gravedad hasta el extremo del otro pie, como se indica en la Figura 32.

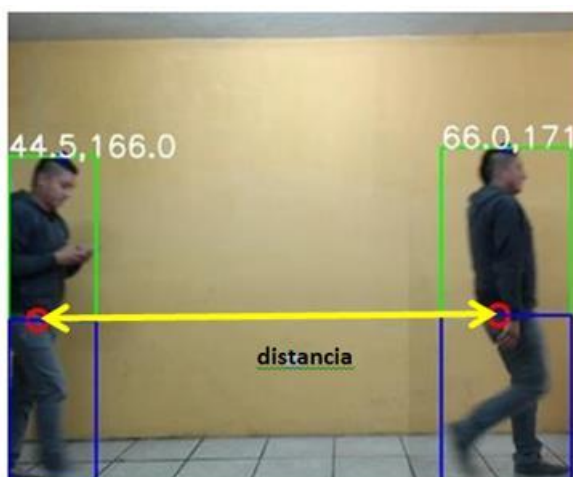


**Figura 32. Representación del ángulo de curvatura del tronco y el ángulo formado por abertura de las piernas.**

- **Velocidad al caminar**

Se calculan los tiempos desde el inicio hasta el final de la caminata con ayuda del centro de gravedad que se obtuvo anteriormente; para calcular la velocidad se usa la fórmula (1). En la Figura 33 se indica la distancia que recorre la persona.

$$velocidad = \frac{distancia}{tiempo} = \frac{distancia}{t_{final} - t_{inicial}} \quad (1)$$



**Figura 33. Distancia recorrida para determinar la velocidad de caminata**

- **Altura y ancho de la persona**

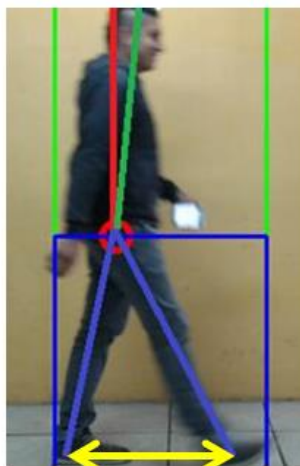
El obtener estas medidas es importante para conocer la proporción del cuerpo del individuo. Estos datos se calcularon con la ayuda del área de trabajo sobre la silueta formada, como lo indica la Figura 34.



**Figura 34. Ancho y alto de la persona, medidas tomadas con la ayuda del área de trabajo formada**

- **Tamaño del paso**

Cuando el individuo empieza a caminar, se forma un área determinada al generar un paso y forma una diferente cuando está en la fase de medio balanceo, el algoritmo empieza a tomar los puntos máximos del área los mismos que definen el tamaño del paso; esto se ilustra en la Figura 35.

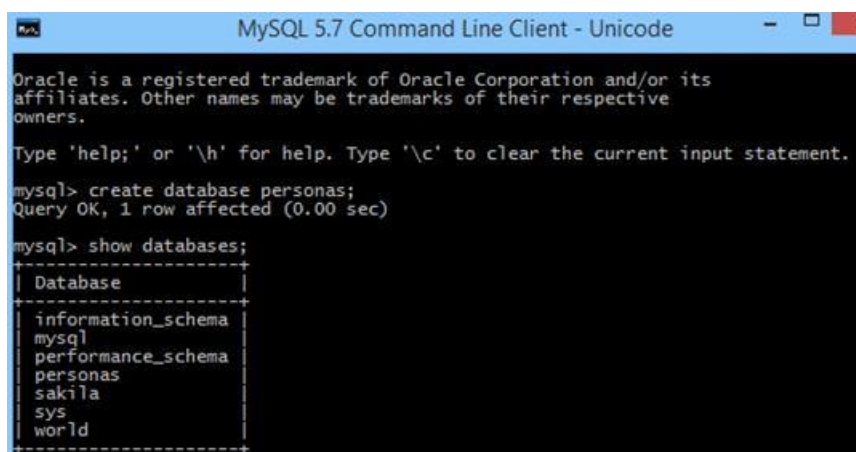


**Figura 35. Visualización de la longitud de paso de la persona al caminar**

### 3.4.4. Creación de la base de datos

Para crear una base de datos, primero se ingresa a la ventana MySQL Command Line Client y se procede a la creación de la tabla en donde se guardará la información de los usuarios, esto se lo realiza de la siguiente manera:

- Se inserta **create database personas**, en la línea de comandos de MySQL; "personas", es el nombre que toma la base de datos. Para asegurar que la lista fue creada, se escribe **show databases**, como se muestra en la Figura 36.



```
MySQL 5.7 Command Line Client - Unicode
Oracle is a registered trademark of Oracle Corporation and/or its
affiliates. Other names may be trademarks of their respective
owners.

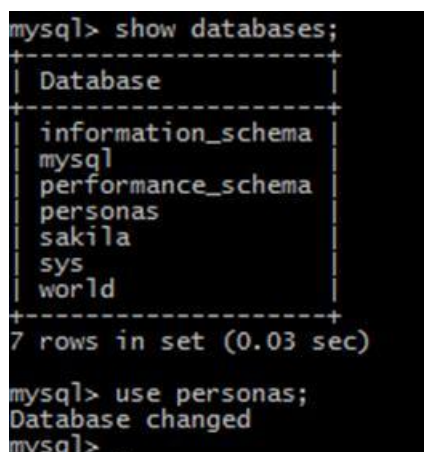
Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the current input statement.

mysql> create database personas;
Query OK, 1 row affected (0.00 sec)

mysql> show databases;
+-----+
| Database |
+-----+
| information_schema |
| mysql |
| performance_schema |
| personas |
| sakila |
| sys |
| world |
+-----+
```

Figura 36. Creación de la base de datos

Se observa todas las bases de datos creadas, y con el comando **use** se define aquella sobre la cual se va a trabajar, esto se observa en la Figura 37.



```
mysql> show databases;
+-----+
| Database |
+-----+
| information_schema |
| mysql |
| performance_schema |
| personas |
| sakila |
| sys |
| world |
+-----+
7 rows in set (0.03 sec)

mysql> use personas;
Database changed
mysql> _
```

Figura 37. Selección del nombre de base de datos que se va a utilizar

- El siguiente punto es la creación de la tabla, usando la línea de instrucción **create table** seguido del nombre de la tabla, la cual constará de un nombre, apellido de cada persona y de los cálculos de las características extraídas de la forma de caminar como: alto y ancho de la persona, velocidad de caminata, dimensión del paso, ángulo de la columna y ángulo de piernas. Cada uno de estos parámetros se insertarán de la forma como se indica en la Figura 38.

```
mysql> create table Caracteristica(Nombre varchar(10),Apellido varchar(10),Alto
float(10),Ancho float(10),Velocidad float(10),Dimensión_paso float(10),Angulo_c
olumna float(10),Angulo_piernas float(10));
Query OK, 0 rows affected (0.37 sec)
mysql>
```

**Figura 38. Creación de la tabla de las características de las personas**

La línea de código **show tables**, muestra todas las tablas creadas como indica la Figura 39.

```
mysql> show tables;
+-----+
| Tables_in_personas |
+-----+
| caracteristica      |
| registro           |
+-----+
2 rows in set (0.00 sec)
mysql>
```

**Figura 39. Tablas creadas dentro de la base de datos**

Los valores correspondientes a los parámetros dentro de la tabla creada, se insertan con la línea de código **insert into**, así lo muestra la Figura 40.

```
mysql> insert into Caracteristica(Nombre,Apellido,Alto,Ancho,Velocidad,Dimensi3n
_paso,Angulo_columna,Angulo_piernas)values('Marcelo','Toapanta','1.70','0.54','5
','0.37','1','20');
Query OK, 1 row affected (0.09 sec)
mysql>
```

**Figura 40. Ingreso de los valores correspondientes para cada parámetro**

La Figura 41 indica el comando para desplegar las tablas y observarlas detalladamente.

```
mysql> select * from Caracteristica;
+-----+-----+-----+-----+
| Nombre      | Altura | Ancho | Longitud_paso |
+-----+-----+-----+-----+
| Toapanta M  | 1.7    | 0.54  | 0.37          |
+-----+-----+-----+-----+
1 row in set (0.03 sec)
mysql>
```

**Figura 41. Tabla creada en la base de datos**

### Acceso a la base de datos desde Python

Para manejar la información guardada en la base de datos desde Python, es necesario en primer lugar importar la librería MySQLdb, a continuación emplear las siguientes líneas de código:

Para establecer la conexión con la base de datos se usa:

```
bd = MySQLdb.connect("localhost","root","root","Datos_Personas" )
```

Los parámetros utilizados son: un host que generalmente es “localhost”, “root” es el nombre del usuario, “root” es la contraseña y “Datos\_Personas” es el nombre de la base de datos.

Se prepara el cursor que ayudará a realizar las operaciones con la base de datos, para esto se usa la siguiente línea de código:

```
cursor = bd.cursor()
```

La siguiente línea de código permite mediante el cursor buscar un registro dentro de una tabla específica.

```
cursor.execute("SELECT * FROM usuarios")
```

Con la siguiente instrucción se extrae una sola fila del conjunto de resultados

```
elemento = cursor.fetchone()
```

La desconexión con la base de datos se logra con la línea de instrucción.

```
bd.close()
```

### 3.4.5. Desarrollo de la Interfaz

Para el desarrollo de la interfaz se utilizó el módulo Tkinter, para ello hay que importar dicho módulo con la siguiente instrucción:

```
import Tkinter as tk
```

Para crear la ventana y darle un nombre se emplean las siguientes líneas de código:

```
window = tk.Tk()
```

```
window.wm_title("Deteccion de Personas")
```

```
window.mainloop()
```

En la Figura 42 se observa la ventana generada.

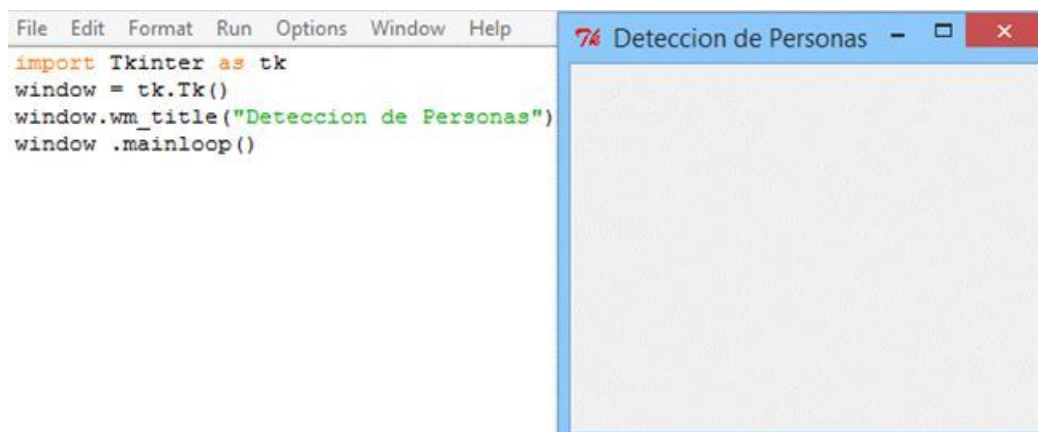


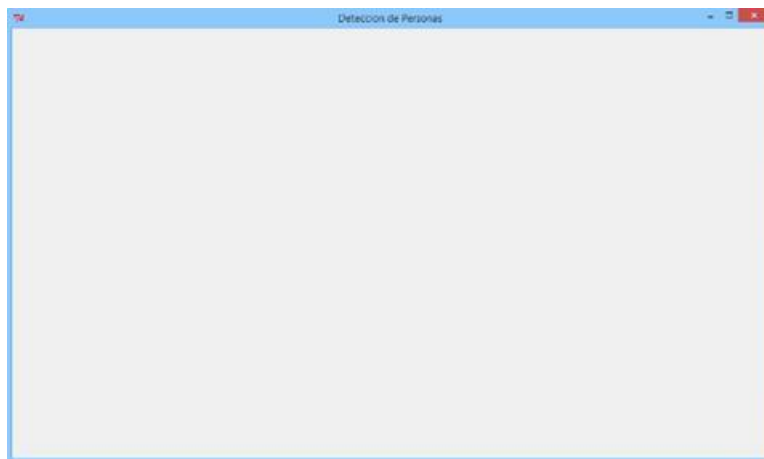
Figura 42. Ventana generada para la interfaz, en Python



A continuación se crea el espacio de trabajo estableciendo las dimensiones de la ventana con la instrucción:

**tk.Frame(window , width=ancho de la ventana, height=largo de la ventana)**

De esta manera se obtiene la ventana con las medidas establecidas como se ve en la Figura 43.



**Figura 43. Ventana creada como espacio de trabajo**

La interfaz está compuesta en su mayoría por etiquetas, botones, cuadros de texto entre otros, a continuación se mencionan los elementos más utilizados.

- Para la creación del texto se insertan las siguientes líneas de código:

```
nombreVar=tk.StringVar(),
nombretext=tk.Label(window,textvariable=nombreVar,font=('
Agency FB:',12))
nombretext.place(x=ubicacionW,y=ubicacionH)
nombreVar.set("Nombres: ")
```

La primera línea sirve para crear la variable; en donde “nombreVar” es el nombre de dicha variable.

La segunda línea de código sirve para crear la etiqueta, dentro del paréntesis se escribirá el argumento; el parámetro window es el

nombre de la ventana a donde pertenece la etiqueta; en el parámetro `textvariable` se escribe el nombre de la variable y el siguiente parámetro define el tipo de letra y tamaño del texto.

La tercera línea sirve para la ubicación de las etiquetas, el argumento dentro del paréntesis especifica las medidas de ubicación en X y Y.

La siguiente línea de código contiene como argumento el texto que corresponde a la variable.

- Otro de los componentes de la interfaz son los botones y para crearlos se procede de manera similar a la creación de una etiqueta, la estructura básica es: **`botón=tk.Button()`**, el argumento dentro del paréntesis en este caso es el siguiente: el nombre de la ventana a donde pertenece el botón, `textvariable=nombre de la variable`, `command=` llama a una función, es necesario definir el tipo de letra y tamaño. Esta descripción se detalla en la línea de código:

```
filtroboton=tk.Button(window,text='Filtro',command=filtro_S_
N,font=('Agency FB:',12))
```

Para dar ubicación a los botones, se usa la instrucción: **`filtroboton.place(x=175,y=540)`**, el argumento dentro del paréntesis especifica las medidas de ubicación en X y Y.

- Para ubicar la caja de texto en donde se imprimirá cierta información de la base de datos se usa las líneas de código:

```
textBOX = tk.Text(window, height=4, width=47)
textBOX.place(x=ubicacionW, y=ubicacionH+220)
```

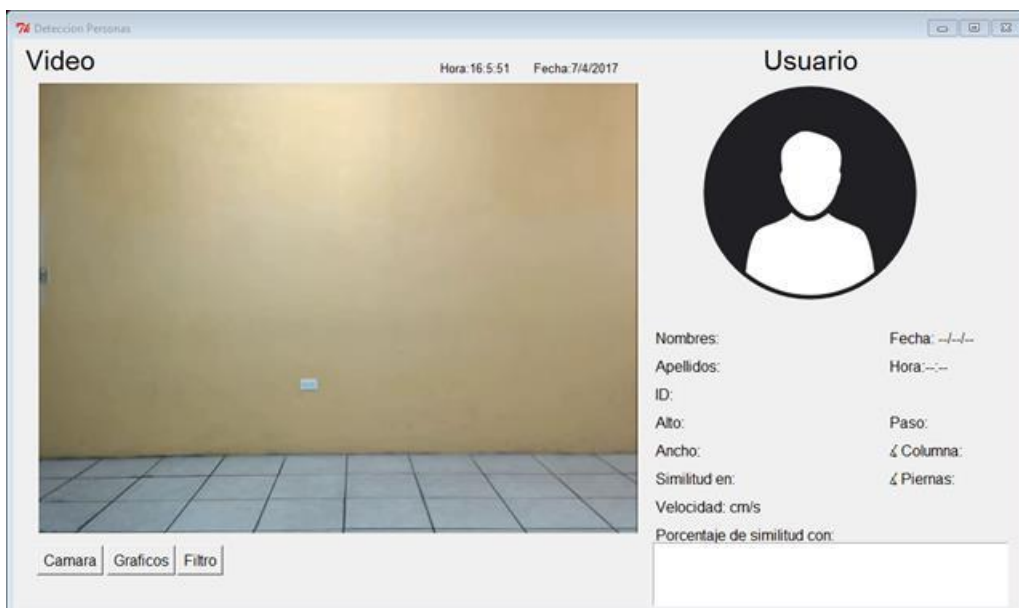
Los parámetros de la primera línea especifican el nombre de la ventana a la que pertenece la caja de texto y las dimensiones de alto y ancho de la misma.

La segunda línea define la ubicación en X y Y de la caja de texto dentro de la ventana creada; los valores pertinentes a los parámetros

“ubicacionW” y “ubicacionH” están previamente definidos al inicio del código y por último “220” es un valor sumado para dar la medida final al parámetro Y.

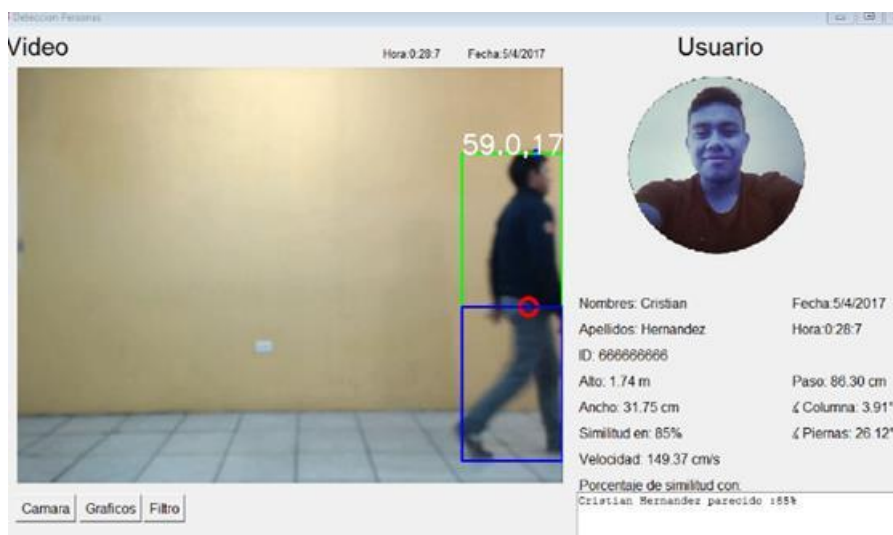
La interfaz gráfica del sistema se observa en la Figura 44 y presenta lo siguiente:

- Una ventana que muestra el espacio por el cual la persona va a caminar.
- Un espacio en donde se publican los datos personales del sujeto y los valores calculados que corresponden a las características de la forma de caminar, tales como: alto, ancho, dimensión de paso, ángulo de abertura de las piernas, ángulo de curvatura del tronco, velocidad y porcentaje de similitud.
- Un cuadro para el gráfico, este lugar ocupará la fotografía de la persona a quien reconoció el sistema.
- Un cuadro de texto, en donde se publicarán los nombres de los usuarios con quienes obtuvo la persona mayor similitud.
- Hora y fecha del sistema.



**Figura 44. Interfaz gráfica del sistema**

La Figura 45 presenta la interfaz gráfica del sistema en funcionamiento, con los valores obtenidos del usuario.



**Figura 45. Interfaz gráfica del sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar en funcionamiento**

## CAPÍTULO IV

### 4. PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para la realización de las pruebas se seleccionaron 30 personas que actuarán como usuarios del sistema de reconocimiento, de todos ellos se tomaron reiterados valores que corresponden a cada característica de la marcha. Una vez que se adquiere estos valores se realiza un promedio de cada característica, los mismos que actúan como medida patrón y servirán de referencia para el posterior análisis comparativo.

#### 4.1. Pruebas de funcionamiento del sistema de reconocimiento

##### 4.1.1. Pruebas de funcionamiento bajo condiciones establecidas

Las siguientes pruebas fueron realizadas bajo las condiciones establecidas en el capítulo 3, con la intervención de 30 personas entre ellas hombres y mujeres; todas las personas deberán caminar a lo largo de la senda 12 veces de manera individual, simulando su entrada y salida, para de esta manera obtener el porcentaje total de reconocimiento. En la tabla 3 se presentan los resultados para esta primera prueba.

**Tabla 3.**

**Porcentaje de reconocimiento calculado con 360 muestras pertenecientes a 30 personas bajo condiciones establecidas**

PORCENTAJE DE RECONOCIMIENTO DE PERSONAS, BAJO CONDICIONES ESTABLECIDOS PARA 12 MUESTRAS		
USUARIOS	NÚMERO DE ACIERTOS	% DE RECONOCIMIENTO
1	11	91,67
2	12	100,00
3	11	91,67
4	11	91,67
5	12	100,00
6	11	91,67
7	12	100,00
8	12	100,00
9	11	91,67
10	12	100,00
11	12	100,00
12	11	91,67

**CONTINÚA** 

13	12	100,00
14	11	91,67
15	12	100,00
16	12	100,00
17	11	91,67
18	11	91,67
19	12	100,00
20	11	91,67
21	12	100,00
22	12	100,00
23	9	75,00
24	12	100,00
25	11	91,67
26	11	91,67
27	10	83,33
28	11	91,67
29	11	91,67
30	12	100,00
<b>% TOTAL DE RECONOCIMIENTO</b>		<b>94,72</b>

La tabla 3 muestra el porcentaje total de reconocimiento relacionado con el número de veces que la persona camina frente a la cámara y cuantas veces lo reconoció, el resultado indica que el sistema posee un 94,72% de acierto en el reconocimiento, este valor es aceptable dentro del campo investigativo pero para implementarlo en la vida real no es recomendable que funcione de manera independiente, más bien se debe usar una combinación con otro tipo de reconocimiento; estos resultados se deben a que existen casos en que las personas tienden a cambiar su forma de caminar de manera consciente e inconscientemente, especialmente cuanto conocen que están siendo observados.

La siguiente prueba se realizó con la intervención de 10 personas entre ellas hombres y mujeres, este experimento consistió en la entrada y salida de los individuos del área de prueba establecida, para calcular el porcentaje de similitud individual; al momento que la persona camina, el sistema calcula los parámetros de la marcha como son: altura, ancho, longitud de paso, velocidad al caminar, ángulo de curvatura de la columna y ángulo de abertura de las piernas, para posteriormente compararlos con aquellos que fueron guardados en la base de datos, estos porcentajes reflejan el número

de parámetros con los que coincidió cada persona. Los resultados se observan en la tabla 4.

**Tabla 4.**

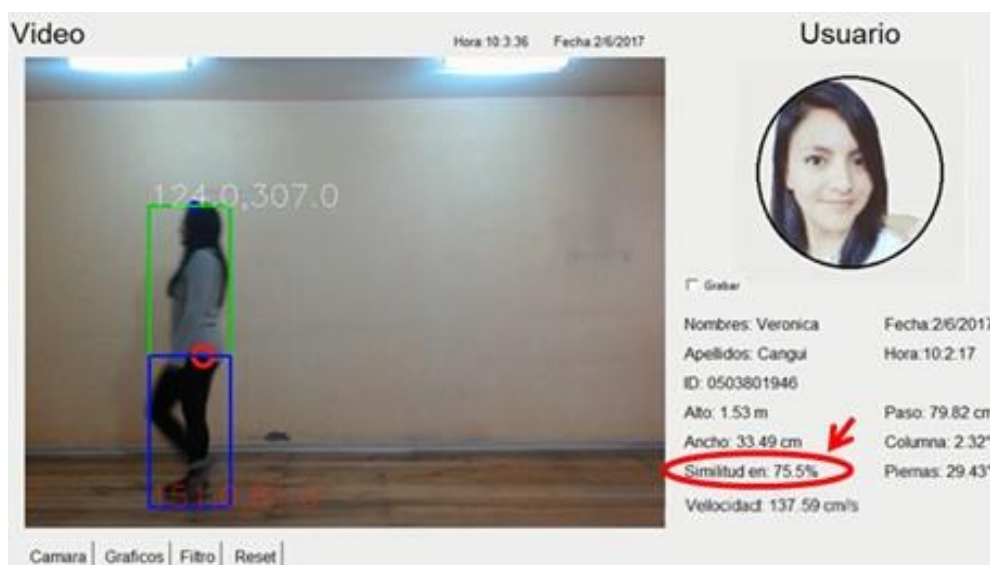
**Porcentaje de similitud individual, con la intervención de 10 personas bajo condiciones establecidas.**

PERSONAS	% ENTRADA	% SALIDA	% TOTAL DE SIMILITUD
1	59	43,5	51,25
2	68,5	0	34,25
3	91,5	45	68,25
4	52	0	26
5	91,5	52	71,75
6	75	59	67
7	75,5	60,5	68
8	59	59	59
9	91	0	45,5
10	91,5	75,5	83,5

Los datos que se presentan en la tabla 4, indican que las personas al pasar por el sistema de reconocimiento, coinciden al menos 3 de los 6 parámetros de la marcha calculados y guardados en la base de datos, esto equivale al 52% de similitud, este caso se da en la persona 4 y 5 al momento del registro de entrada y salida respectivamente. Por lo contrario y continuando con el análisis de resultados, se observa que existen personas que coinciden hasta con 5 de 6 parámetros de la marcha calculados y guardados en la base de datos que equivale a un 91,5% de similitud, dándose el caso en las personas 3, 5 y 10 a la hora del registro de entrada. Puede darse el caso de que las características de la marcha de la persona no coincidan con ninguna de las que previamente se guardaron en la base de datos y da como resultado el 0% que equivale a un no reconocimiento, esta situación se observa en las personas 2, 4 y 9 a la hora del registro de salida.

El porcentaje total de similitud de cada persona que muestra la tabla 4, representa un promedio del número de parámetros de la marcha calculados que coincidieron con los parámetros guardados en la base de datos. Todos

estos valores no siempre van a ser los mismos y esto es porque las personas tienden a cambiar su manera de caminar, por ende el porcentaje de similitud tiende a variar, y esto se observa en los valores pertenecientes a las columnas de porcentaje de entrada y salida de cada persona. El porcentaje de similitud se representa en la interfaz gráfica como se observa en la Figura 45

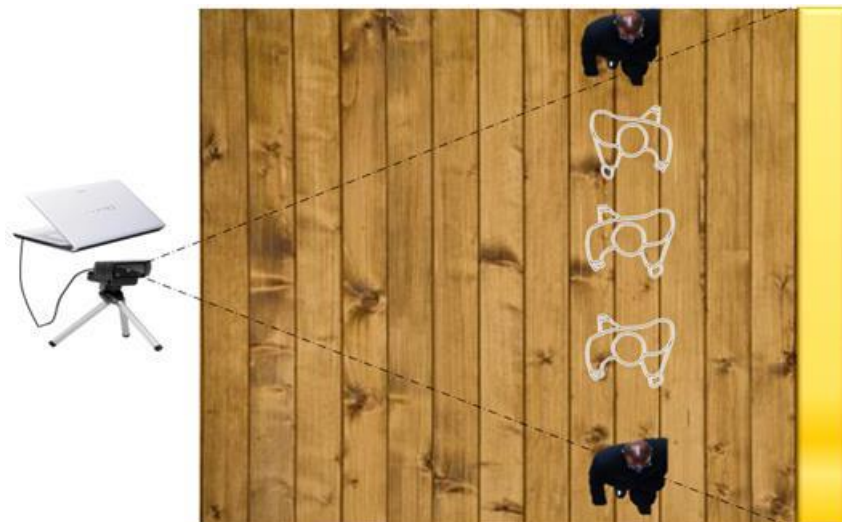


**Figura 46. Sistema de reconocimiento, porcentaje de similitud de la persona**

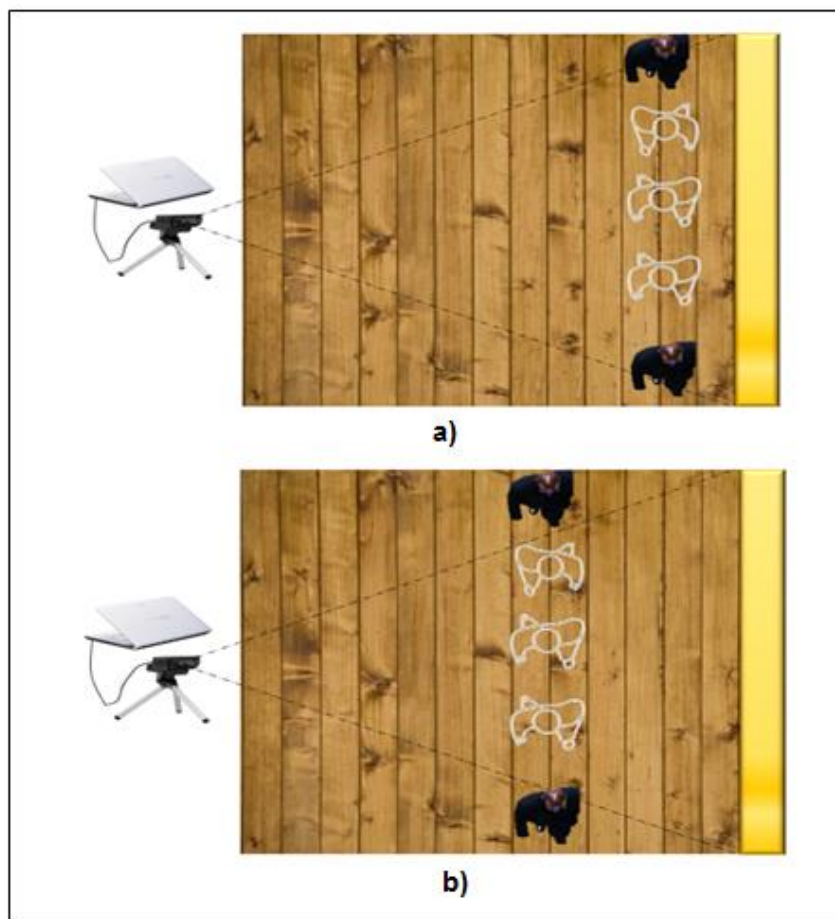
#### 4.1.2. Pruebas realizadas tomando en cuenta la variación del espacio físico

Como ya se mencionó, es necesario adecuar la caminata en línea recta sobre una senda predeterminada que se encuentra a una distancia definida de la cámara, como se observa en la Figura 47. La distancia medida que se observa en dicha figura viene a ser solo un valor aproximado para que los usuarios caminen bajo esta condición; si la persona está muy alejada de la cámara, la altura de la persona disminuirá y si está muy cercana a la cámara la altura de la persona aumentará, para ambos casos el resultado será un reconocimiento erróneo. La descripción gráfica para este experimento se observa en la Figura 48. Las siguientes pruebas se realizaron con 40 muestras pertenecientes a 4 personas y los resultados que se obtuvieron con la variación de esta distancia se observa en la tabla 5.





**Figura 47. Adecuación de la caminata de la persona**



**Figura 48. a) Caminata de la persona muy alejada de la cámara. b) Caminata de la persona muy cerca de la cámara**

Tabla 5.

**Porcentaje de reconocimiento calculado con 40 muestras pertenecientes a 4 personas, manteniendo las condiciones establecidas excepto la condición de la distancia "usuario-cámara".**

PORCENTAJE DE RECONOCIMIENTO DE PERSONAS, VARIANDO LA DISTANCIA "USUARIO-CÁMARA", PARA 40 MUESTRAS		
DISTANCIA	NÚMERO DE ACIERTOS	% DE RECONOCIMIENTO
MUY ALEJADO DE LA CÁMARA	0	0%
ESTABLECIDA	38	95%
MUY CERCA DE LA CÁMARA	0	0%

La tabla 5 muestra que cuando la persona camina muy cerca o muy lejos de la cámara y no a la distancia establecida, el porcentaje de reconocimiento es de un 0%, esto se debe a que uno de los parámetros evaluados, como es la altura de la persona no va a ser la correcta al variar la distancia establecida, por ende el porcentaje de reconocimiento fue nulo; por otro lado, el resultado que muestra cuando las personas caminan bajo la condición establecida, da como resultado el 95% de reconocimiento.

#### **4.1.3. Pruebas realizadas tomando en cuenta la variación de luminosidad**

La luz viene a ser otro factor importante que se debe tomar en cuenta para este sistema, por eso si la luz no es constante existirá factores que ocasionará pérdida de información. Las pruebas mostradas a continuación fueron realizadas bajo distintas condiciones lumínicas, con 40 muestras pertenecientes a 4 personas para observar el comportamiento del sistema, esto se observa en la tabla 6.

Tabla 6.

**Porcentaje de reconocimiento calculado con 40 muestras pertenecientes a 4 personas, manteniendo las condiciones establecidas excepto la condición de intensidad luminosa.**

PORCENTAJE DE RECONOCIMIENTO DE PERSONAS, BAJO DISTINTAS CONDICIONES LUMÍNICAS PARA 40 MUESTRAS		
LUMINOSIDAD	NÚMERO DE ACIERTOS	% DE RECONOCIMIENTO

**CONTINÚA** 

<b>NORMAL</b>	38	95
<b>MEDIA</b>	2	4,16
<b>BAJA</b>	0	0

Los resultados de la tabla 6 señalan que el sistema responde con un valor del 95 % de reconocimiento bajo la condición de luz establecida, definida como normal en la tabla de resultados y en los casos de luminosidad media y baja, este porcentaje es casi nulo debido a que dicho sistema fue desarrollado con parámetros que se ajustaron a una cantidad de luz establecida; si la iluminación no es constante, se producen ciertos efectos tales como destellos de luz que suelen ser producto de objetos secundarios en movimiento, sombras, etc. en el caso de tener escasa iluminación (la silueta en movimiento no puede llegar a ser detectada totalmente); para los casos mencionados los resultados se observan en el cambio de textura de la silueta, siendo este un factor primordial para el posterior análisis de la marcha. En el caso de que la iluminación sea alta tiende a mejorar la máscara.

#### **4.1.4. Pruebas realizadas tomando en cuenta la variación de velocidad de caminata.**

La velocidad es uno de los parámetros característicos calculados de la forma de caminar de las personas, cada usuario tiene un valor de velocidad normal de caminata por ello si excede o disminuye este valor, existe la posibilidad de alterar el reconocimiento. En la tabla 7 se presentan los resultados del porcentaje de reconocimiento de las personas alterando la velocidad de caminar de las mismas, para este experimento se tomaron 40 muestras pertenecientes a 4 personas.

#### **Tabla 7.**

**Porcentaje de reconocimiento calculado con 40 muestras pertenecientes a 4 personas, manteniendo las condiciones establecidas excepto la velocidad de caminata.**

<b>PORCENTAJE DE RECONOCIMIENTO, VARIANDO LA VELOCIDAD DE CAMINATA, PARA 40 MUESTRAS</b>		
<b>VELOCIDAD</b>	<b>NÚMERO DE ACIERTOS</b>	<b>% DE RECONOCIMIENTO</b>
<b>LENTO</b>	12	30

**CONTINÚA** 

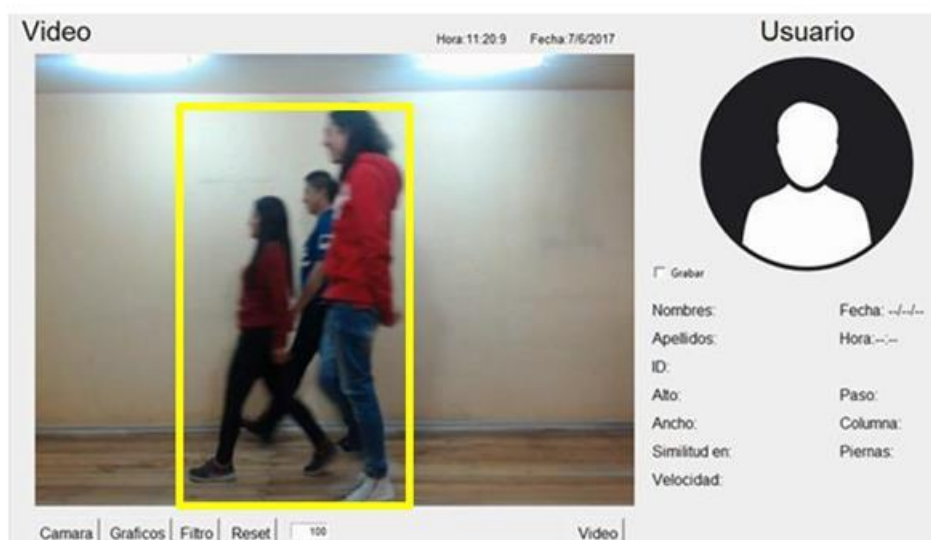
<b>NORMAL</b>	38	95
<b>RÁPIDO</b>	14	35

Los resultados de la tabla 7, muestran que cuando las personas caminaron a velocidad normal el porcentaje de aciertos fue de un 95%, pero cuando las mismas personas cambiaron su velocidad normal de caminata a lenta y rápida, los resultados fueron: 30% y 35% respectivamente; como se observa, el porcentaje disminuyó al variar esta condición porque a medida que la velocidad de la marcha aumente o disminuya, las características de cada persona van a cambiar como por ejemplo el ancho del paso o curvatura de la columna, produciendo datos erróneos e imposibilitando el reconocimiento correcto.

#### 4.1.5. Pruebas realizadas tomando en cuenta el flujo de personas

Para obtener el resultado de las pruebas alterando de cierto modo esta condición, a continuación se definen tres posibles circunstancias.

1. Aglomeración de personas: esta prueba de reconocimiento se realizó con la intervención de varias personas, ellas deberán caminar en conjunto tanto al ingresar como al salir. La descripción gráfica se puede observar en la Figura 49.



**Figura 49 Reconocimiento de un conjunto de personas**



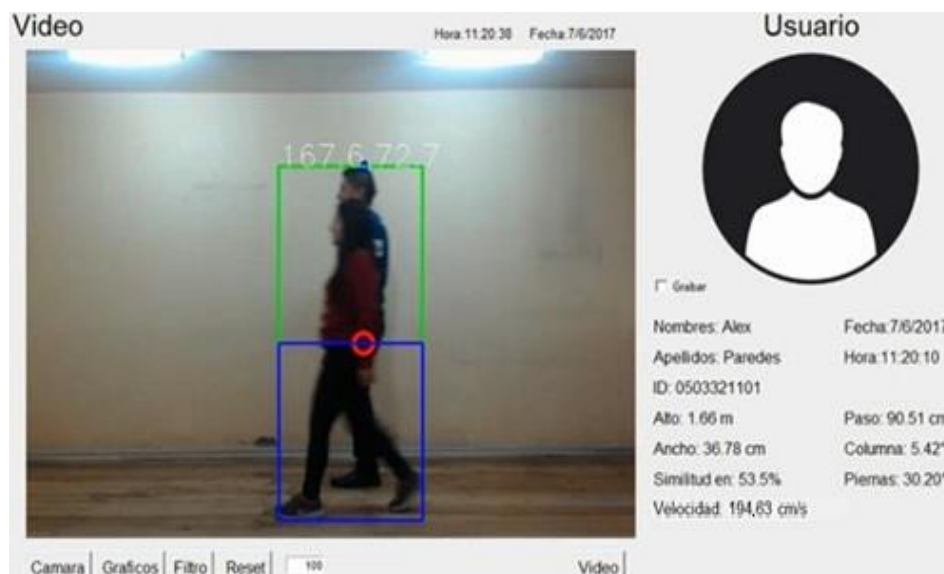
**Figura 50. Variaciones de luz causadas por el reconocimiento de un conjunto de personas**

2. Una persona después de otra: la siguiente prueba de reconocimiento se realizó con la intervención de dos personas y de igual manera realizaron su ingreso y salida, una de tras de la otra. La descripción gráfica se observa en la Figura 51.



**Figura 51. Reconocimiento de dos personas a la vez**

3. Una persona junto a la otra: esta última circunstancia para probar el reconocimiento, trata del ingreso y salida de dos personas, una junto a la otra. La descripción gráfica se puede observar en la Figura 52.



**Figura 52. Reconocimiento de dos personas a la vez**

Los resultados que se obtuvieron en la prueba 1 indican que no fue posible el reconocimiento, para realizar el análisis de las personas se necesita la silueta en su totalidad y el reconocimiento de esta manera genera un impedimento para su extracción, en este caso las siluetas de cada uno forman una sola área caracterizada por sobrepasar el límite del área de una persona normal. Por otra parte, existieron variaciones de luz provocados por la multitud de personas que pasaron frente a la cámara como se observa en la Figura 50.

El resultado de la prueba 2 muestra que el reconocimiento no fue posible porque al pasar una persona, sus datos son guardados en un solo vector, y al pasar más de una persona este vector llega a saturarse impidiendo el almacenamiento de los nuevos datos; por lo tanto el sistema solo va a reconocer a la primera persona que pase.

Por último el resultado de la prueba 3, de igual manera que las anteriores, no generó un correcto reconocimiento, porque al pasar una persona junto a la otra, el área que se forma es creada en base a las siluetas de dichas

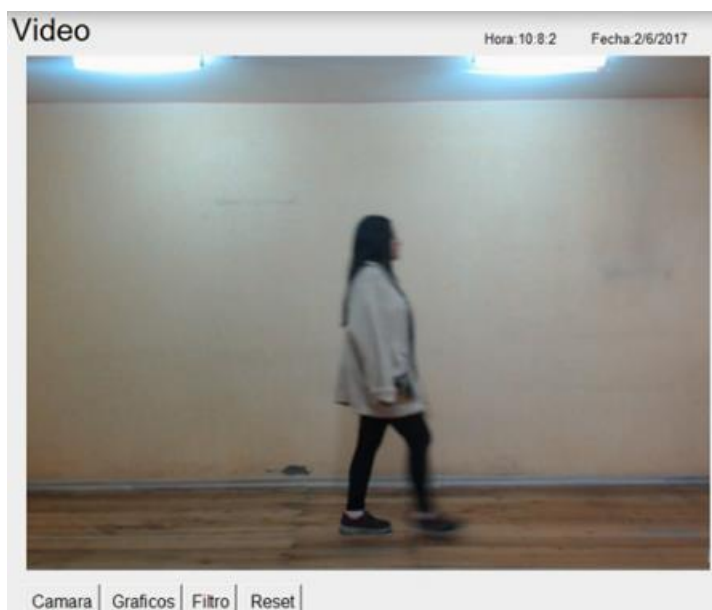
personas y se genera información de una persona “x” que posiblemente coincida con esta información, dando como resultado un reconocimiento erróneo.

#### 4.1.6. Pruebas realizadas tomando en cuenta la vestimenta de las personas

La forma de vestir de las personas también es un factor que influye en el reconocimiento, así como los accesorios que pueden llevar consigo como: maletas, gorros, etc; en cuanto al color de la vestimenta, tiende a generar confusión con el fondo utilizado si llegan a coincidir estos dos colores para el procesamiento de video.

Para mostrar la posibilidad de reconocimiento bajo la modificación de esta condición, se realizaron pruebas con personas utilizando alguno de estos accesorios para el respectivo reconocimiento. A continuación se muestran las pruebas realizadas.

- En primer lugar se realizó la prueba en cuanto al color de vestimenta, para esto una persona vistió un abrigo del mismo color del fondo utilizando para realizar el procesamiento, como se puede observar en la Figura 53.



**Figura 53. Persona vistiendo ropa de color inadecuada**



Los resultados indican que el color de ropa genera problemas, debido a que se origina confusión con el fondo utilizado y esto crea un impedimento para la segmentación correcta del objeto de interés por ende el reconocimiento no fue posible, esto se observa en la Figura 54.



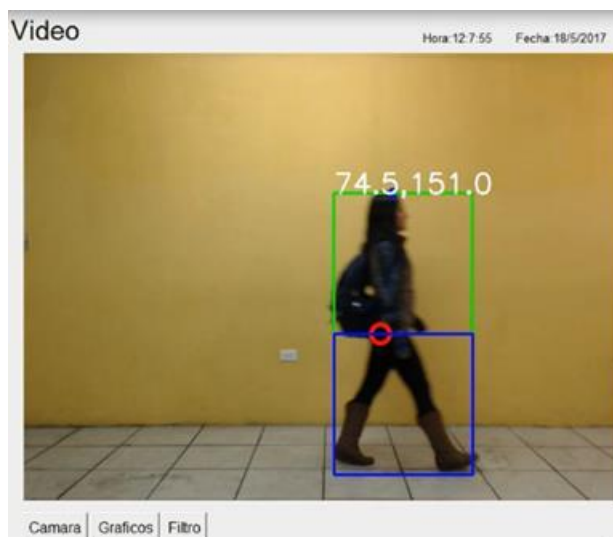
**Figura 54. Reconocimiento de una persona, error de segmentación**

- En segundo lugar se hizo la prueba con una persona, la misma que usará dos tipos de bolsos al pasar por el sistema de reconocimiento como se observa en la Figura 55 y 56.



**Figura 55. Reconocimiento de una persona, utilizando un bolso de mujer**





**Figura 56. Reconocimiento de una persona utilizando un bolso de hombre**

En el caso de la Figura 55 el utilizar un bolso de esa manera no afecta en gran manera el aspecto de la silueta, por lo que el reconocimiento es posible pero en el caso de la Figura 54 el utilizar el bolso como se indica en la figura si afecta a la silueta, específicamente al ancho y al ángulo de curvatura de la columna de la persona lo que da como consecuencia un error de reconocimiento.

- Por último caso se realizaron pruebas del reconocimiento de una persona utilizando un gorro como se observa en la Figura 55.



**Figura 57. Reconocimiento de una persona usando un gorro**

Los resultados obtenidos indican que de las 10 veces que caminó frente a la cámara, 9 de ellas fueron un reconocimiento acertado y esto equivale a un 90% este valor está dentro del promedio de reconocimiento de una persona que camina bajo todas las condiciones requeridas, es decir que el uso de gorros de este tipo no genera algún tipo de impedimento.

- Las pruebas mostradas a continuación fueron realizadas con la colaboración de 4 mujeres previamente registradas en la base de datos, quienes caminaron para ser reconocidas por el sistema, variando la medida del tacón en el calzado, los resultados de este experimento se observan en la tabla 8.

**Tabla 8.**

**Porcentaje de reconocimiento calculado con 40 muestras pertenecientes a 4 mujeres, manteniendo las condiciones establecidas y variando el tipo de calzado.**

<b>PORCENTAJE DE RECONOCIMIENTO, CON DIFERENTE TIPO DE CALZADO, PARA 40 MUESTRAS</b>		
<b>TIPO DE CALZADO</b>	<b>NÚMERO DE ACIERTOS</b>	<b>% DE RECONOCIMIENTO</b>
<b>SIN TACÓN</b>	38	95
<b>CON TACÓN</b>	36	90

Los resultados de la tabla 8 muestran que el porcentaje de reconocimiento para las mujeres que usaron calzado con tacón bajo es de un 95% y al caminar con calzado con tacón alto se obtuvo un 90% de reconocimiento; esto indica que cuando el tipo de zapato cambia, en cierto modo las características de la marcha cambian, es por ello que los porcentajes variaron.

- También se realizaron las pruebas con la colaboración de 4 hombres previamente registrados en la base de datos, quienes caminaron para ser reconocidos por el sistema, variando el tipo de calzado, los resultados de este experimento se observan en la tabla 9.

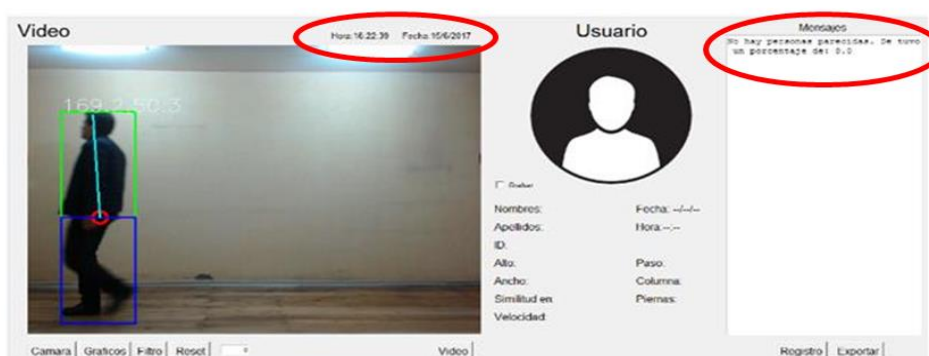
Tabla 9.

**Porcentaje de reconocimiento calculado con 40 muestras pertenecientes a 4 hombres, manteniendo las condiciones establecidas y variando el tipo de calzado.**

PORCENTAJE DE RECONOCIMIENTO, CON DIFERENTE TIPO DE CALZADO, PARA 40 MUESTRAS		
TIPO DE CALZADO	NÚMERO DE ACIERTOS	% DE RECONOCIMIENTO
CASUAL	39	97,5
FORMAL	38	95

Los resultados de la tabla 9 muestran que los porcentajes para los distintos tipos de calzado de hombres no influyen en gran medida como en el de las mujeres, el 97,5% y 95% son valores que se encuentran dentro del promedio del reconocimiento de personas bajo las condiciones establecidas, esto quiere decir que el reconocimiento en este caso no se ve afectado por el tipo de calzado.

En el caso de que una persona ajena a la base de datos pase frente a la cámara, el sistema verifica el porcentaje de reconocimiento, si este valor es mayor o igual a un valor fijado en el sistema, la información del individuo se guarda en una base de datos llamada registro y de lo contrario se guarda en una base de datos llamada "registroNulo", para ambos casos los videos quedan almacenados como respaldo. En la Figura 58 se observa la salida de una persona desconocida con el resultado obtenido y en la tabla 11 se observa el registro con la información.



**Figura 58. Salida de una persona que no forma parte de los usuarios del sistema**

## 4.2. Registro de acceso de las personas

En la Figura 59 se observa un ejemplo de la hora y fecha de ingreso de un usuario y en la tabla 10 se muestra el registro de ingreso y salida con la intervención de 2 usuarios.

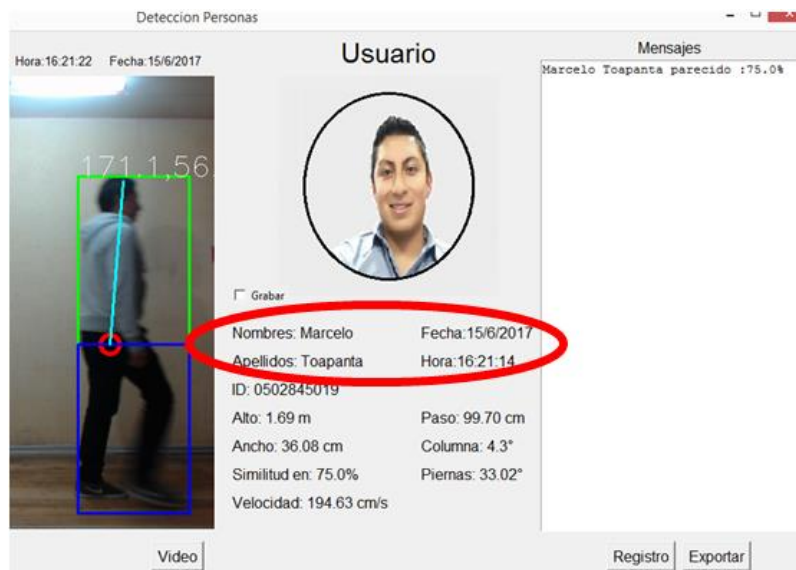


Figura 59. Ingreso de una usuario para su registro de acceso

Tabla 10.

### Registro de acceso de los usuarios

Nombre:	Apellido:	CI:	Hora:	Fecha:	Accion:	Video:
Veronica	Cangui	503801946	16:20:31	15/06/2017	Salida	1562017_1
Veronica	Cangui	503801946	16:20:40	15/06/2017	Ingreso	1562017_2
Marcelo	Toapanta	502845019	16:21:14	15/06/2017	Ingreso	1562017_3
Marcelo	Toapanta	502845019	16:21:22	15/06/2017	Salida	1562017_4
Marcelo	Toapanta	502845019	16:22:56	15/06/2017	Ingreso	1562017_7
N/A	N/A	N/A	16:22:21	15/06/2017	Ingreso	1562017_5
N/A	N/A	N/A	16:22:39	15/06/2017	Salida	1562017_6

Tabla 11.

### Registro de acceso de personas que no forman parte de la base de datos

Nombre:	Apellido:	CI:	Hora:	Fecha:	Acción:	Video:
Verónica	Cangui	503801946	16:20:31	15/06/2017	Salida	1562017_1
Verónica	Cangui	503801946	16:20:40	15/06/2017	Ingreso	1562017_2
Marcelo	Toapanta	502845019	16:21:14	15/06/2017	Ingreso	1562017_3

CONTINÚA 

Marcelo	Toapanta	502845019	16:21:22	15/06/2017	Salida	1562017_4
Marcelo	Toapanta	502845019	16:22:56	15/06/2017	Ingreso	1562017_7
N/A	N/A	N/A	16:22:21	15/06/2017	Ingreso	1562017_5
N/A	N/A	N/A	16:22:39	15/06/2017	Salida	1562017_6

### 4.3. Verificación de hipótesis

La hipótesis planteada en este proyecto de investigación es: “El sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar utilizando procesamiento de video y software libre, permitirá la eficiente identificación y registro de diferentes personas”.

Una vez finalizado el proyecto de investigación y realizado las pruebas correspondientes para evaluar la eficiencia del reconocimiento, a continuación se considera la tabla 12

**Tabla 12.**

**Porcentaje de error de reconocimiento calculado con 360 muestras pertenecientes a 30 personas bajo condiciones establecidas**

USUARIOS	NÚMERO DE ACIERTOS ESPERADOS	NÚMERO DE ACIERTOS CALCULADOS	PORCENTAJE DE ERROR
1	12	11	8,33
2	12	12	0,00
3	12	11	8,33
4	12	11	8,33
5	12	12	0,00
6	12	11	8,33
7	12	12	0,00
8	12	12	0,00
9	12	11	8,33
10	12	12	0,00
11	12	12	0,00
12	12	11	8,33
13	12	12	0,00
14	12	11	8,33
15	12	12	0,00
16	12	12	0,00
17	12	11	8,33
18	12	11	8,33
19	12	12	0,00
20	12	11	8,33
21	12	12	0,00

**CONTINÚA** 

22	12	12	0,00
23	12	9	25,00
24	12	12	0,00
25	12	11	8,33
26	12	11	8,33
27	12	10	16,67
28	12	11	8,33
29	12	11	8,33
30	12	12	0,00
<b>% TOTAL DE ERROR</b>			<b>5,28</b>

En la tabla 12 se muestran los valores de error calculados según la fórmula (2), y los resultados muestran un error del 5,28%, llegando a ser un valor aceptable dentro del margen investigativo, según el trabajo realizado por (Félez , Mollineda, & Sánchez, 2011) en el cual obtienen resultados del 82% y 92% utilizando el método GEI (Gait Energy Image) el cual se basa en la obtención de una silueta difuminada que es la acumulación de varias siluetas como se observa en la Figura 5 del Capítulo 2 y el método GEI-PCA (Principal Component Analysis) en donde aplica un análisis estadístico;

$$error\ relativo = \frac{|Número\ de\ aciertos\ calculados - Número\ de\ aciertos\ esperados|}{Número\ de\ aciertos\ esperados} \times 100 \quad (2)$$

Al igual que otras técnicas biométricas, ésta también presenta problemas que en cierto modo dificultan la extracción de características, y la marcha de alguna manera es afectada por cambios internos y externos que se producen en la persona; es por eso que se desarrolló el proyecto bajo ciertas condiciones. Sin embargo, a pesar de todos aquellos inconvenientes que se presentaron, con las investigaciones y pruebas realizadas se pudo obtener un 94,72% de reconocimiento.

Después de presentar los argumentos anteriores, se concluye que la hipótesis se cumple siempre y cuando se trabaje bajo las condiciones establecidas.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

El sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar utilizando procesamiento de video y software libre, permite la eficiente identificación y registro de diferentes personas, siempre y cuando las mediciones sean realizadas bajo las condiciones establecidas; debido a que dichas condiciones afectan el reconocimiento correcto de las personas.

Las pruebas realizadas bajo las condiciones establecidas permitieron verificar que el reconocimiento de las personas por la forma de caminar es posible, obteniendo un porcentaje del 94,72% de reconocimiento, este valor se considera como eficiente de acuerdo a las investigaciones de los trabajos recolectados referentes al tema, bajo este argumento se determina el cumplimiento de la hipótesis.

Mediante las investigaciones realizadas, existen muchas necesidades por las cuales es importante obtener un registro de acceso, entre ellas están: la seguridad, el control de asistencia, etc.; el uso que le den a este registro para satisfacer cada necesidad, depende del tipo de empresa o institución.

Existen varias soluciones tecnológicas para obtener un registro de acceso, pero lo que el registro biométrico ofrece impedimento para llevar a cabo la suplantación de identidad, lo que este proyecto de investigación permite conocer es que mediante un atributo único de la persona como es la forma de caminar si es posible el reconocimiento, siendo este un método menos invasivo para el usuario.

Para obtener el patrón característico de las personas se utiliza la técnica de extracción de la silueta en movimiento, la misma que se utiliza para calcular los parámetros propios de la marcha que son: ángulo de las piernas, distancia del paso, ángulo de la curvatura de la columna, el ancho y alto de la persona, mediante diferentes procedimientos.

El uso de los lenguajes de programación Python y OpenCV ayudan a simplificar líneas de código y ahorrar tiempo de compilación; debido a que estos lenguajes incluyen múltiples herramientas especializadas, permitiendo el procesamiento de imágenes y video para la extracción de los diferentes parámetros característicos de la marcha.

Las características de la marcha se calculan a partir de la segmentación de la silueta de la persona; la altura y ancho se obtienen mediante la selección de un área determinada que enmarca al sujeto y a partir de ello se calculan los demás parámetros como: longitud de paso, ángulo de curvatura de la columna, ángulo de las piernas y velocidad de caminata.

Hay varios parámetros que definen la forma de caminar de un individuo, entre ellos factores físicos y parámetros del comportamiento de una persona, pero los calculados en este proyecto de investigación son suficientes como para realizar un análisis básico de la marcha de un individuo.

El algoritmo implementado para el sistema de reconocimiento de personas por su forma de caminar es el más accesible y está sujeto a modificaciones debido a que se puede adecuar a las necesidades del usuario para investigaciones futuras, en comparación con diferentes tecnologías utilizadas que pueden llegar a ser costosas y de software propietario.

Los resultados de las pruebas en donde se varía la distancia entre la cámara y el individuo muestran un porcentaje de reconocimiento erróneo para el caso de no utilizar una distancia correcta, por ello se debe utilizar la distancia establecida para asegurar que los parámetros calculados sean correctos y obtener una identificación acertada.

La iluminación por lo general siempre es un factor influyente sobre los algoritmos de visión artificial y este caso no es la excepción; el ambiente de trabajo debe ser constante, de modo que no exista interferencia provocada por sombras o variaciones de luz.

Existe otra función dentro de la librería de OpenCV llamada `hog.setSVMDetector(cv2.HOGDescriptor_getDefaultPeopleDetector())` que



evade los principales inconvenientes como: luminosidad, distancia cámara-usuario y aglomeración de personas; sin embargo este comando tiene sus desventajas, porque para extraer las características de las personas se necesita de otro tipo de análisis y en cuanto a requerimientos del sistema la PC debe tener una gran capacidad de procesamiento y por ende los costos se incrementan.

El tiempo de respuesta del sistema es de aproximadamente 3 segundos desde que la persona empieza a caminar frente a la cámara hasta que se presentan los resultados, siendo este un tiempo aceptable por el usuario para su reconocimiento.

## **5.2. Recomendaciones**

Es importante que los usuarios se familiaricen con el sistema para que su caminata se vaya adaptando conforme a los requerimientos y que el reconocimiento sea correcto.

El usuario a registrar debe localizarse a una distancia entre 3 a 3.5 metros al frente de la cámara y por la línea de referencia trazada, esto permite tomar con normalidad las medidas y parámetros de la marcha del individuo.

Para ubicar el sistema de reconocimiento en distintos escenarios es importante que se evalúe el lugar, evitando que existan excesivas variaciones de iluminación que alteren el funcionamiento normal, una vez cumplido con este requerimiento, se fija un valor apto en el filtro para obtener una mejor sensibilidad y reconocimiento.

Existen parámetros adicionales que permiten el análisis de la marcha para definir con más exactitud a una persona, y para calcular alguno de ellos es necesario considerar el uso de otra cámara con vista frontal y de esta manera mejorar el porcentaje de reconocimiento.

Es necesario que el usuario a ser registrado por la cámara no use ropa holgada, ropa de color del fondo u objetos exageradamente grandes como mochilas pesadas, ya que impide la visualización correcta de la silueta obteniendo mal los parámetros de la marcha y errores de reconocimiento.

Es necesario que no pase más de una persona frente a la cámara, ya que existe el inconveniente de cálculo de áreas y errores al momento de promediar los parámetros de la marcha; para poder realizar este tipo de reconocimiento se requiere de un análisis más complejo.

Es necesario realizar dos bases de datos para guardar la información, una al momento que ingresa la persona y otra al momento en la que sale, debido a que la manera de caminar puede cambiar después de un largo periodo de actividad.

Para probar la eficiencia y comportamiento del sistema frente a un número alto de usuarios, hay que extender la base de datos con más personas.

Para mejorar el sistema se puede reemplazar la cámara utilizada por un dispositivo de visualización térmica que trabaje de tal manera que no se limite a la iluminación constante y al problema de la vestimenta.

El algoritmo implementado puede ser modificado utilizando un análisis específico de manera que no afecte el reconocimiento en el caso de no utilizar la distancia correcta entre el individuo y la cámara.

Para superar el límite del sistema con respecto al reconocimiento individual, se lo puede mejorar utilizando la función `hog.setSVMDetector(cv2.HOGDescriptor_getDefaultPeopleDetector())` de OpenCV para que permita reconocer a varias personas a la vez, y además de esto se necesita de un análisis específico y otros requerimientos de la PC para el procesamiento.

Es recomendable que en la PC que se va a ejecutar el sistema de reconocimiento, se encuentre instalado los programas de Python con las librerías de OpenCV en Windows con una memoria RAM de 8 Gb, un procesador i5 o superior y con tarjeta gráfica dedicada, esto es para que no ocurra inconvenientes de lentitud en el procesamiento de video y la adquisición de parámetros de la marcha.

La operación del sistema no es compleja, sin embargo, si se requiere efectuar algún ajuste o adecuación del algoritmo, debe ser realizado por una persona con conocimientos previos acerca de Python, OpenCV y la base de datos MySQL.

Como trabajo futuro se podría utilizar el Kinect de segunda generación de Microsoft ya que es un dispositivo de tracking óptico de gran prestación, que permite el seguimiento del esqueleto humano y facilita obtener las características de la marcha humana.

Implementar un sistema de reconocimiento de personas por su manera de caminar utilizando una cámara Kinect para obtener visualizaciones 3D para el reconocimiento de la persona, además incorporar un sistema de audio que emita avisos como: "Acceso correcto" o "No identificado"

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo, V., González, J., & Ambrosio, G. (2002). *La librería de visión artificial opencv aplicación a la docencia e investigación*. Recuperado el 24 de 07 de 2016. Obtenido de <http://mapir.isa.uma.es/varevalo/drafts/arevalo2004lva1.pdf>
- Briones, J. (11 de 2010). *Análisis y diseño de un sistema que permita el acceso y asistencia del personal para la empresa Human Trend*. Recuperado el 26 de 07 de 2016. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2570/1/CD-3244.pdf>
- Carrasco, J. (2010). *Cine y televisión digital. Manual Técnico*. España: UNIVERSITAT BARCELONA.
- Cheng, M.-H., Ho, M.-F., & Huang, C.-L. (2009). *Pattern Recognition*. Taiwan: ELSEVIER.
- Chuya Sumba, J. P., Cuenca Soto, M., & Delgado Guaraca, K. M. (Septiembre de 2013). *Diseño e implementación de un sistema para el análisis del movimiento humano usando sensores Kinect*. Recuperado el 12 de 11 de 2016. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5092/1/UPS-CT002692.pdf>
- CORETT. (1 de 8 de 2006). *Procedimiento para el registro y control de asistencia*. Recuperado el 13 de 10 de 2016, de <http://corett.net/archivos/81/file/Normateca/Disposiciones%20Normativas%20Vigentes/Recursos%20Humanos/PROCEDIMIENTO%20PARA%20EL%20REGISTRO%20%20CONTROL%20DE%20ASISTENCIA.pdf>
- Delgado, J. L., Sastre, T., & Rodrigo, C. (2010). Accesibilidad a los contenidos educativos audiovisuales: nuevas tecnologías con formatos contenedores (container formats as a new technological mean for improving accesibility in audiovisual learning resources). *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 107-131.
- Domínguez Aquino, M. Y., Villalta Herrera, C. E., & Vines Jara, O. A. (2007). *Programación de software de acceso biométrico*. Recuperado el 3 de 10 de 2016. Obtenido de <http://repositorio.cisc.edu.ec/bitstream/123/37/2/TOMO%202.pdf>
- Ekinci, M. (2006). Gait Recognition Using Multiple Projections. *IEEE*, 517-522.
- Félez, R., Mollineda, R., & Sánchez, S. (2011). *Human Recognition Based on Gait Poses*. Recuperado el 17 de 10 de 2016. Obtenido de [http://marmota.dlsi.uji.es/WebBIB/papers/2011/0\\_HumanRecognitionBased.pdf](http://marmota.dlsi.uji.es/WebBIB/papers/2011/0_HumanRecognitionBased.pdf)
- Ferreiro, A., & García, J. (2005). Damflow: un software de visualización de flujos hidrodinámicos. En J. Castelló, & V. Martínez, *Modelización Matemática de Sedimentación en la Costa* (págs. 90-91). España: Publicacions de la Universitat Jaume.
- FIND BIOMETRICS. (2014). *Iris Recognition*. Recuperado el 12 de 9 de 2016, de <http://findbiometrics.com/solutions/iris-scanners-recognition/>
- Generalidad de Cataluña. (Febrero de 2012). *Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales*. Recuperado el 12 de 7 de 2016, de [http://www.infopl.net/files/documentacion/vision\\_artificial/infoPLC\\_net\\_Conocimientos\\_vISIONARTIFICIAL.pdf](http://www.infopl.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_Conocimientos_vISIONARTIFICIAL.pdf)

- Gonzalez. (s.f.). *Aplicaciones de la visión artificial*. Recuperado el 2 de 9 de 2016. Obtenido de [http://dmi.uib.es/~ygonzalez/VI/Material\\_del\\_Curso/Teoria/Aplicaciones\\_VC.PDF](http://dmi.uib.es/~ygonzalez/VI/Material_del_Curso/Teoria/Aplicaciones_VC.PDF)
- Han, J., & Bhanu, B. (2006). Individual Recognition Using Gait Energy Image. *IEEE*, 316-322.
- IBIA. (s.f.). *International Biometrics+Identity Association*. Recuperado el 17 de 8 de 2016, de <http://www.ibia.org/>
- INTRODUCTION TO VIDEO PROCESSING*. (s.f.). Recuperado el 23 de 8 de 2016, de <http://highered.mheducation.com/sites/dl/free/0070144796/810198/Videoprocessing.pdf>.
- Jaume, U. (4 de Mayo de 2015). *La biometría avanza en el reconocimiento de personas por la forma de caminar*. Recuperado el 7 de 07 de 2016. Obtenido de <http://www.agenciasinc.es/Noticias/La-biometria-avanza-en-el-reconocimiento-de-personas-por-la-forma-de-caminar>
- Kaebler, A., & Bradski, G. (2008). *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*. USA: O'REILLY.
- Kalbakdij, S., Lebrero, P., & Sánchez, S. (2009). *Aplicaciones del tratamiento inteligente de imágenes*. Recuperado el 2 de 06 de 2016 Obtenido de <http://eprints.ucm.es/9773/1/Memoria.pdf>
- Lizárraga, C., & Díaz, S. (2007). Uso de software libre y de internet como herramientas de apoyo para el aprendizaje/(use of free software and internet like tools of support for learning). *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 83-100.
- Logitech. (2016). *Logitech*. Recuperado el 17 de 9 de 2016, de <http://www.logitech.com/es-roam/product/hd-pro-webcam-c920>
- Lundh, F. (2009). *What's Tkinter?*. Recuperado el 13 de 07 de 2016. Obtenido de <http://effbot.org/tkinterbook/tkinter-whats-tkinter.htm>
- MathWorks. (1994-2016). *Video Processing*. Recuperado el 27 de 12 de 2016. Obtenido de <http://www.mathworks.com/solutions/image-video-processing/video-processing.html>
- Mite Tigrero, J. M., Rodríguez Borbor, M. A., & Franco Rodríguez, J. (s.f.). *Sistema de control y gestión de personal para PYMES, basados en sistemas biométricos*. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/19200/1/ResumenCycit%20Grupo06.pdf>
- OpenCV. (s.f.). *OpenCV (Open Source Computer Vision)*. Recuperado el 2 de 10 de 2016, de <http://opencv.org/>
- Palermo, R. (2010). *Procesamiento de Video en Tiempo Real*. Recuperado el 5 de 08 de 2016. Obtenido de <http://blog.rolandopalermo.com/2010/06/procesamiento-de-video-en-tiempo-real.html>
- Prakash, C., Mittal, A., Kumar, R., & Mittal, N. (2015). Identification of Gait Parameters from Silhouette Images. *IEEE*.
- Precord, C. (2010). *wxPython 2.8*. Minneapolis: Packt Publishing Ltd.

- Python. (s.f.). *numpy 1.12.0rc1*. Recuperado el 28 de 9 de 2016, de <https://pypi.python.org/pypi/numpy>
- Python. (s.f.). *Pillow*. Recuperado el 3 de 10 de 2016, de <https://python-pillow.org/>
- Python. (s.f.). *Python*. Recuperado el 12 de 12 de 2016, de <https://www.python.org/>
- Python. (s.f.). *Time*. Recuperado el 2 de 11 de 2016, de <https://docs.python.org/2/library/time.html>
- Rodríguez, E. (11 de 2009). *Relaciones Industriales*. Recuperado el 23 de 12 de 2016. Obtenido de <https://lcp.s3.amazonaws.com/relacionesindustrialesujap/myfiles/Registro-y-control-de-personal.pdf>
- Sandoval Illescas, J. X., & Sigüenza Cárdenas, R. E. (11 de Julio de 2011). *Análisis, diseño e implementación del sistema de control de asistencia de personal docente y administrativo de la Escuela Fiscal Mixta Rafael Aguilar Pesantez*. Recuperado el 7 de 12 de 2016. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1636/14/UPS-CT002157.pdf>
- Serratos, F. (s.f.). *La biometría para la identificación de personas*. Recuperado el 18 de 09 de 2016. Obtenido de [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Biometria/Biometria\\_ES/Biometria\\_ES\\_\(Modulo\\_1\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Biometria/Biometria_ES/Biometria_ES_(Modulo_1).pdf)
- Sikora, T. (1997). MPEG digital video-coding standards. *IEEE*, 82-100.
- Smart Card Alliance. (10 de 2007). *Uso de Tarjetas Inteligentes para un Control de Acceso Físico Seguro*. Recuperado el 13 de 10 de 2016. Obtenido de [http://www.sca-la.org/wp-content/uploads/Secure\\_Physical\\_Access\\_Spanish.pdf](http://www.sca-la.org/wp-content/uploads/Secure_Physical_Access_Spanish.pdf)
- Sports Injury Clinic. (2000). *Gait Analysis*. Recuperado el 12 de 8 de 2016, de <http://www.sportsinjuryclinic.net/sports-specific/running-injuries/gait-analysis>
- Srinivasan, S., Hsu, P., & Holcomb, T. (2004). Windows Media Video 9: overview and applications. *IEEE*, 851-875.
- Stallman, R. (2004). *Software libre para una sociedad libre*. Madrid: Traficantes de sueños.
- Su, H., Liao, Z.-W., & Chen, G.-Y. (2009). A GAIT RECOGNITION METHOD USING L1-PCA AND LDA. *IEEE*, 3198-3203.
- Tsao, Y.-F., Liu, W.-T., & Chiu, C.-T. (2014). Human Gait Analysis by Body Segmentation and Center of Gravity. *IEEE*, 1-5.
- Vaughan, C., Davis, B., & O'Connor, J. (1992). *Dynamics of Human Gait*. Western Cape.
- Vera, D. P. (1999). *Biomécanica de la marcha humana normal y patológica*. Valencia.
- Wang, L., & Tan, T. (2003). Silhouette Analysis-Based Gait Recognition for Human Identification. *IEEE*, 1505-1518.
- Wang, L., Jia, S., Li, X., & Wang, S. (2012). Human Gait Recognition Based on Gait Flow Image Considering Walking Direction. *IEEE*, 1990-1995.

# ANEXOS



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores:  
VERÓNICA PATRICIA CANGUI TERÁN Y MARCELO STALIN TOAPANTA  
IZA.

En la ciudad de Latacunga a los 29 días del mes de Junio de 2017:

.....  
Ing. Eddie Galarza  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

Aprobado por:

.....  
Ing. Franklin Silva  
**DIRECTOR DE LA CARRERA**

.....  
Dr. Rodrigo Vaca  
**SECRETARIO ACADÉMICO**