



INAOE

**Identificación de Personas por Medio de un Conjunto de
Características en Imágenes de Nudillos**

Por

Yazmín Vásquez Barrera

Tesis sometida como requisito parcial
para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN LA
ESPECIALIDAD DE ELECTRÓNICA**

en el

**Instituto Nacional de Astrofísica,
Óptica y Electrónica**
Tonantzintla, Puebla
Septiembre del 2014

Supervisado por:

Dr. Jorge Francisco Martínez Carballido

©INAOE 2014

Derechos Reservados

El autor otorga al INAOE el permiso de reproducir y
distribuir copias de esta tesis en su totalidad o en partes.



RESUMEN

Título: IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS POR MEDIO DE UN CONJUNTO DE CARACTERÍSTICAS EN IMÁGENES DE NUDILLOS

Autor: YAZMIN VASQUEZ BARRERA

Palabras Claves: Nudillos, biometría, procesamiento de imágenes.

Descripción:

Existen varias aplicaciones reales que promueven el control de acceso de personas tales como seguridad de ciertas áreas, asistencia, entre otras; es por ello que es de gran interés la identificación de personas, debido a que es un asunto que se ha venido abordando de diversas formas y métodos los cuales se han vuelto poco confiables, a causa de esto se ha estado buscando más alternativas y una de las cuales se propone para este trabajo es por medio de los nudillos de las manos, logrando de esta forma se pueda realizar un aporte a la investigación en esta área, que actualmente no es cuantiosa debido a que lleva pocos años y no existe un estándar que facilite su uso confiable y repetitivo.

Una de las dificultades que se afrontan para la identificación por medio de nudillos es la descripción de segmentos de curvas de los mismos a partir de imágenes, es por ello que se pretenden desarrollar estrategias para explorar una forma novedosa que contribuya a la relación internudillos e intranudillos. A grandes rasgos se plantea utilizar el conocimiento en procesamiento de imágenes para resolver una aplicación que está relacionada con biometría y propiedades de los nudillos por medio de tres bloques generales como el pre-procesamiento, extracción de características para representación y clasificación dando una solución al problema propuesto. Se trabajó con una base de datos de 128 personas, obtenidas en dos sesiones de las cuales se obtuvieron como resultados 98.7% para la identificación correcta y 1.3% de falsos positivos.

ABSTRACT

Title: Person Identification Using a Feature Set from Knuckles Images

Author: YAZMIN VASQUEZ BARRERA

Keywords: knuckles, biometry, processing of images.

Description:

There are several applications that encourages the people access control, such as security, assistance and more. That is why people identification is of great interest and the topic has been studied from different perspectives which has become only partially reliable, consequently, it has been looked for alternative methods and in this work one of them is proposed using knuckles. This represents a contribution to the research in this field, which nowadays is not extensive due to its recent nature and the lack of standards to ease its reliable and repetitive use.

One of the trouble that has to be solved for the people identification using knuckles is the curve segment description of these from images. For this reason, it is pretended to develop strategies to explore a novel way to get a intra-knuckles or inter-knuckles relationship. Digital image processing knowledge is used to solve an application related with biometry and knuckles properties through three general blocks, as preprocessing and feature extraction for depiction and classification, giving a solution to the posed problem. We worked with a database of 128 individuals obtained in two sessions of which were obtained as 98.7% results for the correct identification and 1.3% false positives.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Por todo el apoyo brindado para la realización de uno de mis sueños, el fue estudiar la maestría en ciencias.

Al Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica

Que me abrió las puertas, a toda su infraestructura en el caminar de la maestría.

A mi Asesor

Dr. Jorge Martínez Carballido

Por ser esa persona incondicional que siempre estuvo hay para apoyarme, para dirigirme por el camino correcto, por darme un consejo cuando más lo necesitaba, por tenerme tanta paciencia y sobre todo por cada cosa que me enseñó, siempre estaré muy agradecida por todos los momentos vividos que quedarán en el álbum de los bonitos recuerdos.

A mis profesores por transmitirme su conocimiento.

A mis amigos de la maestría por su apoyo y respeto, siempre estarán en una parte muy especial de mi corazón.

DEDICATORIAS

A Dios le dedico este trabajo porque fue el ser que me dio la sabiduría y la valentía necesaria para no desfallecer en los momentos de dificultad.

A mis Padres y Hermano que son una familia maravillosa y que cada día me siento más orgullosa y privilegiada de ser parte de ella. Son el motor más importante en mi vida y los amo profundamente por ser tan especiales conmigo y acompañarme en cada etapa de mi vida ofreciéndome todo su apoyo y respaldo en cada momento.

A mi novio Sergio por ser un apoyo constante cada día de esta etapa, por cuidarme y brindarme todo su amor, expresándomelo día a día de la forma más bonita y dulce.

A mis Amigos y Amigas que a pesar de la distancia nunca me dejaron sola, son un lindo tesoro para mi.

Índice

I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.1 Objetivo de la Tesis.....	2
II. ANTECEDENTES	3
II.1 Detección por Medio de un Nudillo.....	4
II.2 Detección por Medio de Nudillos Traseros y Palma de la Mano.....	8
II.3 Detección Multinudillos.....	11
II.4 Detección Multimodal	13
III. MARCO TEÓRICO.....	15
III.1 Antecedentes Históricos.....	15
III.2. La Mano	17
III.2.3 Huesos de la Mano	18
III.2.4 Articulación.....	20
III.2.5 Nudillo	24
III.3 Sistemas Biométricos.....	24
III.3.1 Necesidad y Objetivo de la Biometría	24
III.3.2 Aplicaciones.....	25
III.3.3 Mercado en Tecnologías Biométricas.....	25
IV. PROBLEMA, SOLUCIÓN Y METODOLOGÍA.....	27
IV.1 Identificación del Problema.....	27
IV.2 Solución.....	29
IV.3 Metodología.....	30
V. ADQUISICIÓN DE IMÁGENES	33
V.1 Características del prototipo.....	33
V.2 Características de la Cámara	37
V.2 Características de la Base de datos.....	38

VI. INTRODUCCIÓN AL PROCESADO DE IMÁGENES	39
VI.1 Orígenes	39
VI.2 Definición.....	40
VI.2 Áreas de Aplicación.....	42
VII. SEGMENTACIÓN	44
VII.1 Recorte de la sección de los nudillos	46
VII.2 Recorte de cada dedo por separado	60
VII.3 Recorte de cada nudillo	65
VIII. EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS.....	69
VIII.1 Proceso para la extracción de cada línea que presenta la articulación para cada dedo.....	70
VIII.1.1 Recortes	71
VIII.1.2 Espacio de color.....	74
VIII.1.3 Filtro Gabor	79
VIII.1.3 Extracción de los más oscuros	87
IX. IDENTIFICACIÓN	91
XI.1 Lectura de la imagen de base de datos.	92
XI.2 Lectura de la imagen de prueba.	93
XI.3 Comparación	97
X. RESULTADOS.....	96
XI. CONCLUSIONES.....	115
XII. TRABAJO FUTURO	118
XIII. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.	119
XIII.1 Figuras	119
XIII.2 Tablas.....	122
XIV. REFERENCIAS.....	122

I. INTRODUCCIÓN

Cada día hay más dispositivos tecnológicos basados en imágenes, los cuales son disponibles y competitivos en precio; éstos se han utilizado en aplicaciones tales como: darle privacidad a los datos personales volviéndose esta información confidencial, control de tiempos y asistencia, liquidación de nómina y regulación de acceso a personal autorizado a áreas restringidas y/o privadas; estos son los ejemplos más destacados en donde identificar a una persona entra a jugar un papel muy importante porque de allí depende el acceso a los diferentes servicios.

Se ha venido trabajando con los sistemas de autenticación de dos formas típicamente, por contraseñas o por características biométricas, en cuanto a la identificación por contraseña no implica que quien introduce la contraseña sea la persona autenticada debido a que los sistemas biométricos usan características propias del individuo hacen que sea más difícil la usurpación.

Dentro del párrafo anterior, hemos venido utilizando el término identificación el cual se puede llegar a confundir con el término reconocimiento, es por ello que se hace necesario mencionar las definiciones de cada uno de los términos. Cuando se hace referencia a la palabra identificar es cuando se sabe quién es alguien o lo que es alguna cosa; por otro lado cuando se menciona el término reconocer es conocer y recordar a alguien o algo debido al conocimiento o experiencia previa. [2] Con los dos términos definidos, se puede indicar que en este trabajo se realizó una identificación de personas por medio del reconocimiento de las características de los nudillos de las manos, esto debido a que para el reconocimiento se realiza una comparación de imágenes, para extraer de esta forma los posibles

candidatos y así lograr la identificación estableciendo la identidad de la persona a la cual pertenece la imagen de prueba.

Los sistemas biométricos se pueden definir como aquellas técnicas automáticas de reconocimiento de personas que utilizan alguna característica física o de comportamiento propio de un individuo para su identificación. Las principales características que un rasgo biométrico debe cumplir para garantizar la viabilidad del sistema son [1]:

- *Universalidad*, que todas las personas dispongan de dicho rasgo.
- *Discriminante*, dicho rasgo debe permitir diferenciar a los individuos.
- *Invariante*, el rasgo biométrico debe permanecer estable en el tiempo.
- *Cuantificable*, el rasgo debe ser descrito mediante un conjunto de números [1].

Las huellas dactilares, la mano, entre otras son algunas características físicas que permiten reconocer/identificar al usuario y la firma, timbre de voz y letra manuscrita, son algunas características propias del comportamiento del individuo [3], todos estos ejemplos en general hacen parte de los sistemas biométricos que se han venido trabajando hasta el momento.

De todos los ejemplos anteriormente mencionados este trabajo centra su esfuerzo en las características físicas de la mano, en especial los nudillos de la misma, tratando de aportar una fiabilidad suficiente utilizando conocimientos en procesamiento de imágenes para su utilidad práctica en la realidad.

I.1 Objetivo de la Tesis.

Probar conceptos que aporte hacia obtener un estándar de características distinguibles y repetitivas en base a imágenes de nudillos de los dedos para el reconocimiento/identificación de personas en un grupo de al menos 100.

I.1.1 Objetivos Específicos.

- Proponer un prototipo de adquisición de imágenes práctico y cómodo para el usuario.
- Obtención de los segmentos de curva de los nudillos por medio de las técnicas de procesamiento de imágenes.
- Seleccionar características de los nudillos que sean repetitivas y diferenciables entre sí, para reconocer/identificar de personas.
- Clasificación de personas por medio de imágenes de los nudillos.

II. ANTECEDENTES

La identificación de personas tiene diversas aplicaciones mencionadas anteriormente pero este tema no ha tenido un creciente desarrollo hasta el momento, lo cual ha llevado a proponer diversas formas para cumplir con el objetivo de identificar individuos, algunas características físicas se han venido trabajando tales como: *huella dactilar*, *iris* y *palma de la mano*, las cuales cada vez se han visto suplantados y están perdiendo confiabilidad, [4], [5], [6], [7] es por ello que desde hace algún tiempo se está considerando trabajar sobre otros métodos y uno de los cuales está teniendo atención importante son los nudillos de las manos, este tema tiene su primera publicación en la IEEE en el año 2006 de la universidad de las Palmas de Gran Canaria, es decir que desde hace aproximadamente 7 años se ha venido trabajando sobre los nudillos de las manos; se ha encontrado que en trabajos previos algunos inconvenientes de posicionamiento y por lo general se analiza un solo nudillo de la mano.

A continuación se presentan diferentes propuestas en trabajos previos sobre el uso de los nudillos para biometría.

II.1 Detección por Medio de un Nudillo

Para esta sección se plantean 4 artículos basados en la identificación de personas por medio de imágenes de un solo nudillo, que por lo general se escoge el dedo medio y anular para el procesamiento o en otros casos se muestra solo el nudillo de las articulaciones del metacarpofalangeas, en general los artículos más relevantes para este tema son los que se muestran a continuación.

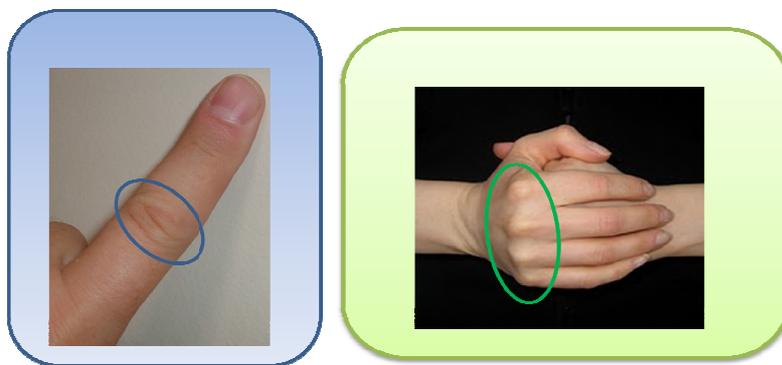


Figura 1. Un solo nudillo

II.1.1. Using Hand Knuckle Texture for Biometric Identifications

Este artículo trata básicamente sobre cómo caracterizar el nudillo de las articulaciones metacarpofalangeas, y para ello utilizan técnicas de procesamiento de imágenes tales como la segmentación, la extracción de contornos, todo esto con el fin de obtener un buen pre-procesamiento para posteriormente extraer las arrugas que se presentan en esta zona que son características del nudillo. Por último se presenta la sección de clasificación la cual está basada en el modelo oculto de Markov y la función Máquina de vectores de soporte para comparar el rendimiento del sistema. Todas estos bloques conllevan a la conclusión de que la tasa de error que se maneja es de 0.094 la cual es baja proporcionando resultados alentadores con el fin de explorar nuevas características [8].

Ventajas

- ✓ Se plantea un primer acercamiento de un sistema biométrico automático basado en la textura de la piel en la zona de los nudillos; este sistema tiene la ventaja de ser combinado fácilmente con la geometría de la mano porque ambas características tanto la geometría de la mano como la textura de la piel pueden ser extraídas de la misma imagen.
- ✓ Para evitar problemas de posicionamiento y rotación, se propusieron marcas en el contexto que señalen la debida colocación de la mano.
- ✓ Al utilizar dispositivos enfocados a la geometría de la mano, estos tienen la ventaja de que son capaces de soportar grandes cambios de temperatura y funcionar en un ambiente polvoriento.

Desventajas

- Al utilizar el Modelo Oculto de Markov (HMM - Hidden Markov Model) maneja grandes bases de datos (archivos, parámetros, modelos, bibliotecas) que sin una herramienta computacional efectiva, los objetivos serian limitados y hasta obstaculizados.
- HMM tiene poca amabilidad del sistema para realizar de manera más sencilla el llamado a las librerías y el paso de parámetros que requiere el sistema.
- Tienen problemas por la iluminación.

II.1.2. Hybrid Detection of Convex Curves for Biometric Authentication Using Tangents and Secants

Esta propuesta hace énfasis en la extracción de características de los nudillos de los dedos índices y corazón de la mano derecha e izquierda, obteniendo una curva híbrida de normalización de la imagen de entrada. Para aprovechar la curva híbrida obtenida se usa el análisis geométrico para

construir tangentes y secantes que aporten a la extracción de características de la imagen para la posterior clasificación de las mismas [9].

Ventajas

- ✓ Está propuesta experimenta con subconjuntos de características de trabajos previos, para lograr un mejor rendimiento mediante la explotación de menos características.
- ✓ Al trabajar con menor cantidad de características se reduce la complejidad computacional para la extracción de las mismas, y el proceso de identificación.
- ✓ Al obtener información sobre las características en términos de ángulos, el método reduce los posibles problemas críticos que surgen debido a la extracción de mayor número de características.

Desventajas

- En la captura de la imagen es posible observar que los segmentos de curva no son tan notorios por la forma en que esta dispuestos los dedos, esta colocación no permite obtener la línea en gran detalle visual. La posición utilizada reduce la profundidad de la línea.
- Para realizar esta captura de imágenes, debe ser más incómodo para el usuario ubicar el dedo en esa forma.
- Iluminación menos uniforme, tendiendo a tener mayor brillantez en el centro.

II.1.3. Personal Authentication Using Finger Knuckle Surface

En este trabajo todos los esfuerzos se centraron en desarrollar un método para extraer la textura de los nudillos de cuatro dedos, tales como lo son el índice, medio, anular y meñique que mediante sus características geométricas de la superficie permite la clasificación e identificación de

personas; además esta propuesta pretende investigar su respectivo rendimiento para un sistema biométrico potencial [10].

Ventajas

- ✓ Aprovechan múltiples recursos computacionales para extracción simultánea de características de la geometría del dedo que se emplean para lograr una mayor mejora del rendimiento.
- ✓ Se obtiene una iluminación uniforme debido a la construcción de un prototipo de adquisición de imágenes en donde se tiene una fuente de luz fija directa sobre la mano, evitando la proyección de sombras y reflejos en los límites de la mano, lo cual reduce significativamente el ruido.
- ✓ Tiene la facilidad de que es independiente de la rotación de la mano.

Desventajas

- A pesar de que se logra extraer el nudillo del dedo, éste se logra por medio de un área fija, lo cual puede no ser tolerante a dedos grandes
- Las características no son propuestas, se extraen mediante algoritmos como PCA y LDA que posteriormente son relacionados entre sí pero las características propias no se definen claramente.
- Al ser independiente de la rotación, es más caro computacionalmente porque utiliza mascarar para las diferentes posiciones.

II.1.4. Knuckle Biometrics Based on Texture Features

El enfoque de este trabajo consiste en detectar personas por medio de la textura características de los nudillos de las mismas. Para lograr este objetivo se propone métodos tales como la Transformada Probabilística de Hough (PHT) y Acelerador Robusto de Características (SURF) los cuales permiten

la extracción de características y de esta forma se pueden clasificar y comparar por distancia Euclidiana. Finalmente los resultados que se obtuvieron mantuvieron un error inferior al 1.5%; además sugiere una técnica de extracción de líneas y textura de uso rápido y sencillo, dando resultados satisfactorios [11].

Ventajas

- ✓ Al utilizar los descriptores SURF se plantea un mejor rendimiento.
- ✓ A diferencia de los anteriores artículos, este trabajo se esfuerza en la extracción de las líneas con mayor cuidado es por ello que utiliza la transformada probabilística Hough para reforzar los bordes que sufren algunas discontinuidades mientras el fondo está lleno de pequeñas manchas, logrando líneas definidas y compactas.
- ✓ El descriptor SURF está enfocado a la textura de las imágenes, es por ello que presenta tolerancia a cambios en la escala y rotación.

Desventajas

- Al usar descriptores SURF aumenta la complejidad para aplicaciones de reconocimiento en tiempo real debido a que el cálculo de similitud entre descriptores es pesado.
- Al usar múltiples nudillos tiende a ser más complejo.

II.2 Detección por Medio de Nudillos Traseros y Palma de la Mano

Cuando se hace referencia a los nudillos traseros de la mano de una persona se hace referencia a las articulaciones que están presentes en los dedos por la zona en donde está la palma de la mano, tal como se ilustra en la siguiente Figura.



Figura 2. Nudillos traseros

II.2.1. Prototipo Biométrico de Manos Basados en su Disposición Natural

En este artículo se describe un nuevo sistema biométrico basado en la disposición natural de las manos. Adicional a las características típicas, se definen nuevas características invariantes tales como ángulos de apertura de la mano, posiciones de los extremos, y plantillas basadas en la disposición natural de la mano, que no están presentes en otros sistemas y las cuales son definidas al considerar un sistema de referencia propio inherente para cada mano. Proponen un conjunto de 70 características geométricas, junto con los patrones descriptores originales que caracterizan unívocamente a las manos humanas.

Como trabajo futuro se plantean técnicas de inteligencia artificial, basada en los descriptores propuestos en el trabajo para tareas de verificación e identificación. También se propone realizar un estudio de correlación entre la posición natural de ambas manos, lo cual es un interesante problema sin resolver [12].

Ventajas

- ✓ El prototipo diseñado es fácil de usar y libre de restricciones sobre el posicionamiento de las manos.
- ✓ No es necesario un entrenamiento de la colocación de la mano en la etapa de registro.

- ✓ Las características propuestas son invariantes a la geometría de la mano.

Desventajas

- Para obtener los datos característicos es necesario un procesamiento de la imagen más complejo de detección de las articulaciones y segmentación de cada dedo.

II.2.2 Estrategias para la identificación de Personas Mediante Biometría de la Mano sin Contacto

En este documento se pretende demostrar que es posible diseñar sistemas de identificación de personas mediante biometría de la mano sin contacto con figuras de mérito similares a los sistemas biométricos de contacto. Algunos de los retos a resolver en los sistemas sin contacto son: la segmentación en entornos no controlados y la extracción de características robustas a las distorsiones asociadas a la ausencia de una superficie de apoyo. Durante el desarrollo de este trabajo, se realiza un estudio de 5 métodos de segmentación con características diferentes, estos métodos se basan en: umbral (método *otsu*), regiones (método de *k-medias*), detección de bordes (*canny*), ajuste de curvas (método *level set*) y de esta forma elegir la más adecuada para la extracción de características de las medidas de los dedos las cuales van a terminar siendo complementadas con la palma de la mano, dando lugar a la clasificación [13].

Ventajas

- ✓ El prototipo diseñado según la encuesta realizada tiene una alta aceptación en cuanto a la comodidad e higiene del mismo.
- ✓ Al proponer el uso del espectro infrarrojo se consigue una mayor confiabilidad en la etapa de segmentación.

- ✓ Se tiene un diseño y desarrollo de un sistema de adquisición multiespectrales que realiza la captura de esquemas biométricos sin contacto y de forma automática.

Desventajas

- Al utilizar el descriptor tipo SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) mediante un procesado con Gabor y la validación de las coincidencias, se aumenta considerablemente el costo computacional.
- Las medidas geométricas tradicionales basadas en 15-30 medidas son poco eficientes para el proceso, y muestran los peores resultados individuales, es por ello que exploran otros rasgos biométricos para una posible fusión geométrica
- La segmentación en un entorno no controlado en el espectro visible ofrece resultados que deterioran considerablemente el rendimiento de un sistema biométrico asociado a dicha segmentación.

II.3 Detección Multinudillos

Cuando se hace referencia a los multinudillos, se quiere indicar que el trabajo se realiza con varios nudillos de diferentes dedos y/o mismo dedo de mano izquierda y derecha tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3. Multinudillos

III.3.1. Improved finger- knuckle-print authentication based on orientation enhancement

Aquí se presenta un nuevo enfoque para la verificación de la persona usando FKPs (*Finger Knuckle Print*). Para lograr obtener este objetivo se propone aplicar técnicas de procesamiento de imágenes tales como la aplicación del filtro Gabor para mejorar la imagen y SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*), de esta forma a grandes rasgos se obtiene un mejor rendimiento del identificador [14].

Ventajas

- ✓ Mejoran las líneas del nudillo debido a que al principio estas imágenes tienen ruido tal que el descriptor SIFT no es capaz de enfocarse en el paralelo discriminativo; al mejorar la calidad el dispositivo de identificación basado en SIFT describe mejor.
- ✓ El filtro de Gabor 2D se orienta ortogonalmente a las líneas del nudillo para mejorar su contraste y así tener una mejor imagen para los descriptores.

Desventajas

- Al utilizar el descriptor tipo SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) mediante un procesado con Gabor y la validación de las coincidencias, se aumenta considerablemente el costo computacional.

III.3.2. A Novel Approach for Finger- Knuckle-Print Recognition Based on Gabor Feature Fusion

Este trabajo presenta un nuevo método para la identificación personal y verificación de la identidad que incluye un banco de filtros de Gabor combinados con algoritmos como el PCA (*Principal Component Analysis*) y

LDA (Linear Discriminant Analysis) y medida de la distancia Euclidiana. Estos tres pasos se utilizan para la extracción de características, reducción de dimensionalidad y la fase de clasificación respectivamente. También la fusión de la información a nivel de función se utiliza para diferentes combinaciones de dedos de esta forma lograr mejorar la tasa de reconocimiento. Este algoritmo funciona como un método multimodal con una simple característica biométrica para múltiples individuos [15].

Ventajas

- ✓ Al fusionar las características de los nudillos de los dedos la tasa de reconocimiento es más alto.
- ✓ Los resultados experimentales indicaron que el dedo medio derecho funciona mejor que los otros dedos, así que en aplicaciones prácticas será conveniente utilizar estas imágenes para mejores resultados.
- ✓ Propone un método sencillo para la clasificación, éste es la distancia euclidiana, el cual permite obtener resultados satisfactorio.

Desventajas

- Al utilizar banco de filtros Gabor para la extracción de características, se obtienen en altas dimensiones y se hace difícil evaluarlas, es por ello que se utiliza PCA y LDA.
- Al utilizar el banco de filtros de Gabor, PCA y LDA aumenta el costo computacional.
- Las imágenes obtenidas de la base de datos presentan un posicionamiento del dedo que puede tornarse incomodo para el usuario, adicional las líneas del nudillo se ven reducidas en profundidad y la iluminación no es uniforme debido a que hay mayor concentración en el centro del nudillo.

II.4 Detección Multimodal

La detección multimodal está enfocada en trabajar dos o más imágenes de diferentes zonas biométricas para la identificación, tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 4. Multimodal

III.4.1. Multimodal Biometric Authentication Algorithm Using Ear and Finger Knuckle Images

La propuesta de este artículo va dirigida a dos métodos de autenticación biométrica multimodal utilizando imágenes del oído y nudillo del dedo. Se propone un método basado en la fusión de ambas imágenes, para de esta forma extraer las características de esta imagen fusionada, evitando así la pérdida de información. También se propone un método de fusión de varios niveles de clasificación [16].

Ventajas

- ✓ Al usar un método biométrico multimodal se logra mejores tasas de reconocimiento que los métodos unimodal.
- ✓ Las características son extraídas de las imágenes fusionadas, esto con el fin de evitar perder información que pueda llegar a ser de interés.

- ✓ Se utilizan imágenes pequeñas permitiendo de esta forma reducir los tiempos de cálculo.
- ✓ Las imágenes del oído no se ven afectadas por las expresiones, la salud y no necesita estar en contacto con los sensores.

Desventajas

- Al emplear imágenes del oído se pueden enfrentar a problemas de iluminación y posicionamiento.

III. MARCO TEÓRICO

III.1 Antecedentes Históricos

Desde hace muchos siglos los hombres se han identificado por medio de la biometría. Durante la época de los faraones, en el Valle del Nilo en Egipto se utilizaban los principios básicos de la biometría para verificar a las personas que participaban en diferentes operaciones comerciales y judiciales [3]. De igual forma ocurría en las zonas agrícolas donde las cosechas eran almacenadas en depósitos comunitarios, a la espera de que sus propietarios dispusieran de ellas, entonces los encargados de cuidar dichos depósitos debían identificar a cada uno de los propietarios cuando estos hicieran algún retiro de su mercancía [17].

En el siglo XVI en la China, los mercaderes estampaban las huellas de la mano y los pies de los niños en un papel con tinta para distinguirlos uno de otro [17]. Pero es a finales del siglo XIX cuando Alphonse Bertillon quien es un antropólogo francés que trabajó para la policía, empezó a dar a la biometría el carácter de ciencia, profesionalizando su práctica. Basada en su teoría en que una cierta combinación de medidas del cuerpo humano era invariable en el tiempo, lo que permitió dar solución al problema de identificar a los criminales convictos a lo largo de toda su vida.

A pesar de que Bertillon subestimaba la utilidad de los rastros dactilares (que para él eran simples “marcas distintivas”), su método se impuso en Francia decimonónica, al punto que obtuvo el cargo de jefe nacional de identificación. El método “*Bertillonage*” incluía datos tales como la longitud de la mano izquierda, el largo y ancho del cráneo, la longitud de la oreja izquierda, entre los más comunes [17].

Aunque el método fue útil en aspectos tales como determinar la verdadera identidad de delincuentes reincidentes, su efectividad no fue la mejor, puesto que tenía algunos problemas, en el uso de diferentes medidas y dificultades en diferenciar individuos como los gemelos. Esta desacreditación hizo que Sir Edward Henry quien era el inspector general de la policía de Bengala buscara otras técnicas y despertará su interés por las investigaciones de Sir Francis Galton, que utilizaba la huella dactilar como método de identificación. Inicialmente en Bengala y luego en Londres en 1901, Sir Edward Henry estableció su oficina de huella dactilar exitosamente y de esta forma consiguió rápidamente su aceptación a nivel mundial [17].

Desde entonces se ha venido investigando en el área de biometría, no solo se ha dado un gran aporte a la huella dactilar, adicional se han estado detectando diferentes rasgos biométricos tales como el iris, la voz, la cara, la geometría de la mano, entre los más destacados. Actualmente, el avance en esta área con sus correspondientes ventajas y desventajas, unido a la tecnología que está en constante desarrollo permite que la biometría se considere uno de los elementos claves para las técnicas de identificación y seguridad [17].

La biometría se presenta en infinidad de aplicaciones, demostrando ser sin duda, el mejor método para la identificación humana.

III.2. La Mano

La mano humana es una de las estructuras del cuerpo más admirables [18]. La mano se puede definir como un órgano prensil, resultado de un conjunto estructural muy complejo, con dinámica propia, que constituye un todo funcional, formada por una serie de elementos que han evolucionado en forma casi perfecta, convirtiéndose en una herramienta indispensable en los diferentes aspectos de la vida diaria.

La mano está formada por 27 huesos, 35 músculos, 48 nervios, y 123 ligamentos, así como también por un sistema vascular bastante completo [19]. Para dar vía al tema principal que es los nudillos de las manos, es necesario hacer un enfoque sobre los huesos que tiene la mano tal como se muestra en la siguiente sección.



Figura 5. La mano humana apariencia exterior, extraída de [20].

III.2.3 Huesos de la Mano

El sistema óseo de la mano constituye una estructura compuesta de 27 huesos, divididos en 3 grupos: el carpo, el metacarpo y los falanges [21] tal como se muestra en la Figura 6. Debido a su arquitectura forma una serie de ejes (transverso - longitudinal) que favorecerá su plan funcional, estos ejes, tanto el longitudinal como los dos transversales, son esenciales para la presión y adaptabilidad de la mano.

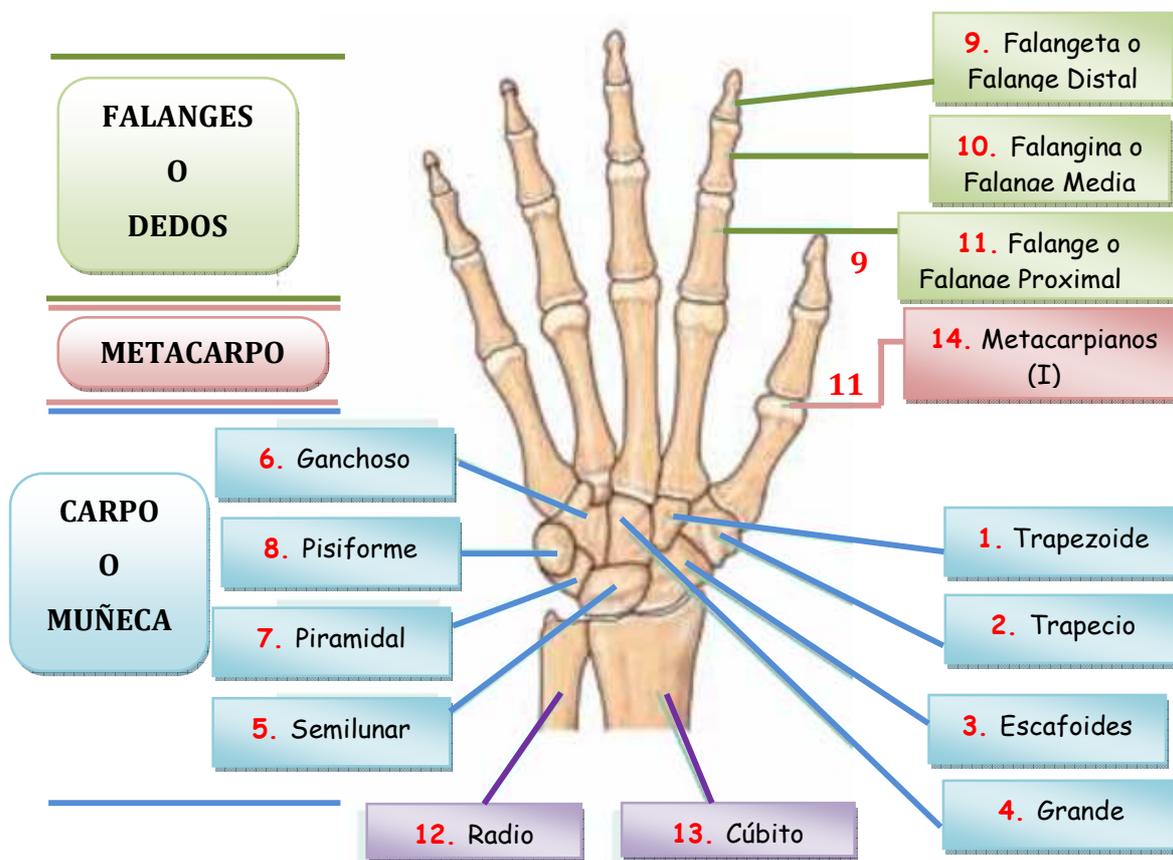


Figura 6. Huesos de las manos (mano izquierda), basada en referencia [20].

A continuación se presenta un mapa conceptual mostrando cuantos huesos pertenecen a cada división del conjunto de huesos.

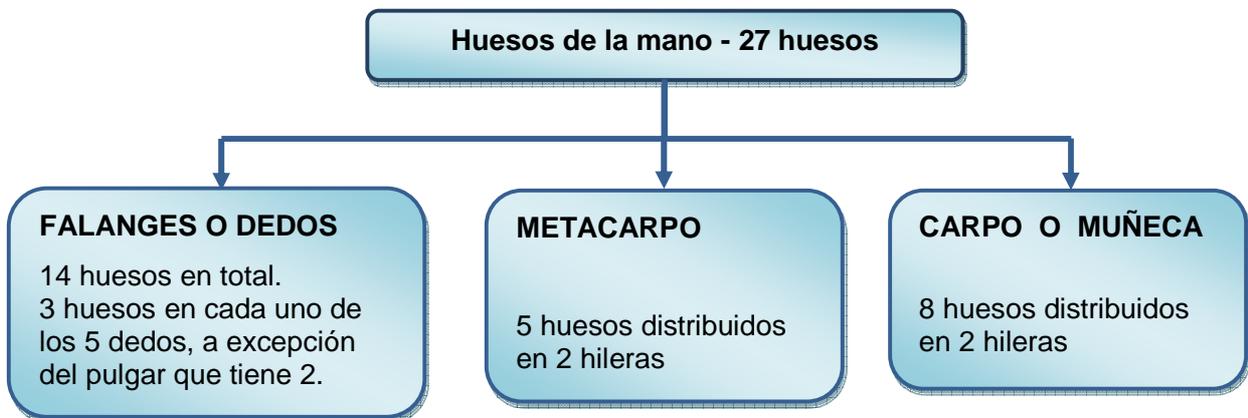


Figura 7. Mapa conceptual de la división de los huesos de la mano.

Debido a que este trabajo se centra en las articulaciones de los dedos, se enfocará solo sobre las falanges en la siguiente sección.

III.2.3.1 Falanges

Los dedos están clasificados como dedo índice, dedo del corazón o medio, dedo del anular, dedo meñique y el pulgar, tal como se muestra en la Figura 8. Estos dedos son muy móviles y articulados con los metacarpianos, son independientes los unos de los otros. Exceptuando el pulgar, poseen tres falanges, la primera, la segunda y la tercera denominadas **falange proximal**, **falange media** y **falange distal**. El pulgar se singulariza por tener solo dos falanges: una proximal y otra distal [21].

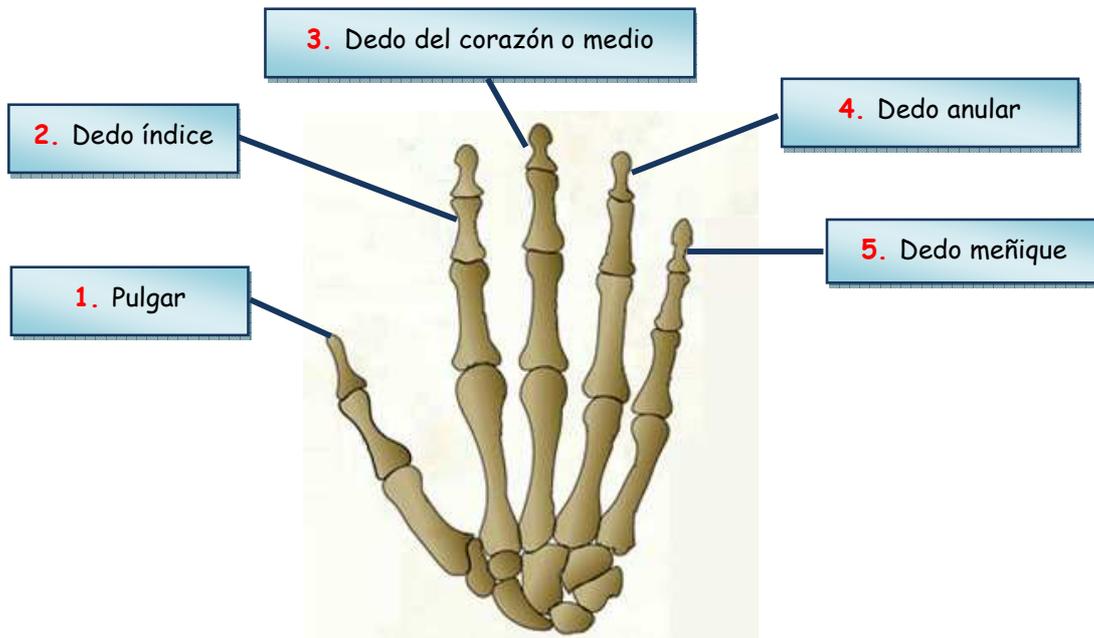


Figura 8. Clasificación de los dedos de la mano derecha. Basada en la referencia [22].

III.2.4 Articulación

Las articulaciones en general son el complemento imprescindible para que los huesos puedan organizarse y formar el esqueleto, cumplen dos importantes funciones; mantienen unidos los huesos y permiten, en grado variable, la libertad del movimiento [23].

Pueden clasificarse en 3 categorías:

- Móviles Diartrosis
- Semimóviles o anfiartrosis
- Inmóviles o Sinartrosis también llamadas Suturas.

Por lo general, los dedos actúan en un plano y se cierran sobre objetos generando una acción de piza con el pulgar. Los huesos que intervienen en

este tipo de articulación móvil están unidos por ligamentos que eviten la dislocación [23] .

III.2.4.1 Articulaciones de la Palma y de los Dedos

Se dividen en:

➤ *Articulaciones carpometacarpianas.*

Su anatomía está dominada por el contraste que existe entre la articulación carpometacarpiana del pulgar que es muy móvil, y las de los otros metacarpianos, que son muy poco móviles.

- *Articulación carpometacarpiana del pulgar:*
Es esencial para el buen funcionamiento de pulgar, en particular para los movimientos de oposición; los huesos presentes son la superficie articular inferior del trapecio y la superficie superior de la base del 1er metacarpiano.
- *Articulaciones carpometacarpiana de los otros 4 metacarpianos:*
Estas articulaciones unen la última fila del carpo a la base de los metacarpios.

➤ *Articulaciones intermetacarpianas.*

Reúnen al 2do y el 3er metacarpiano, al 3er y el 4to, al 4to y el 5to. El 1er metacarpiano queda libre. Son articulaciones planas cuyas cavidades sinoviales son prolongaciones de la articulación carpometacarpiana.

➤ Articulaciones metacarpofalángicas.

Unen la extremidad distal de cada metacarpiano a la parte proximal de la 1er falange de cada uno de los cinco dedos. Poseen en su conjunto una gran movilidad permitiendo flexionar, extender, separar y unir los dedos.

➤ Articulaciones interfalángicas.

Son aquellas que ponen en contacto la base y la cabeza de dos falanges sucesivas. Son móviles en el sentido de flexión y extensión. El pulgar posee una sola articulación.

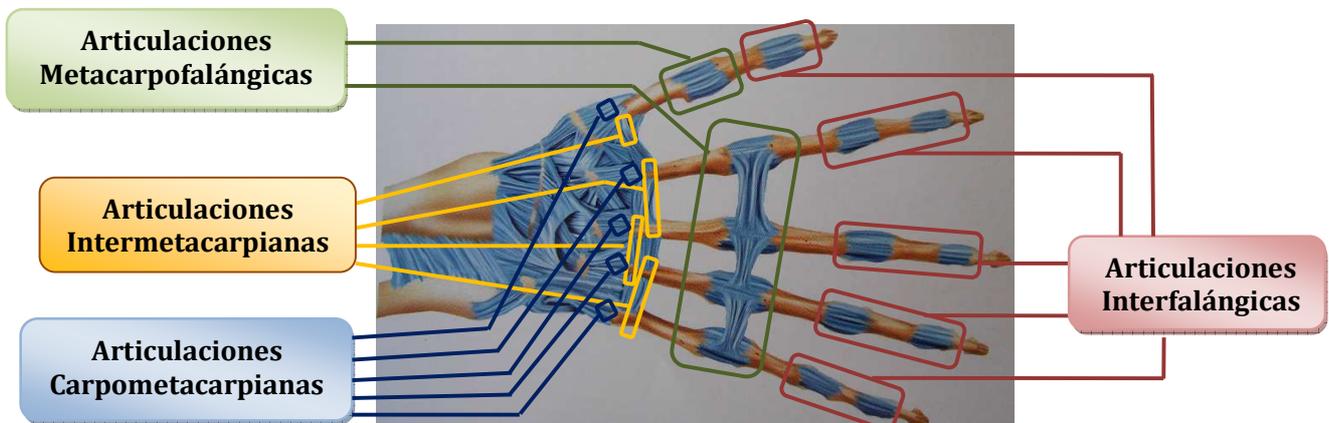


Figura 9. Articulaciones de a palma y de los dedos. Basada en la referencia [23].

Como se puede observar en la anterior figura hay muchas articulaciones para la mano, pero para este trabajo solo se enfocará en el tipo de articulación interfalángica que es donde se encuentran los nudillos de los dedos. Dentro de este tipo de articulación existen dos tipos dados según la superficie articular:

- **Articulación Interfalángica Proximal**
Está presente en las extremidades inferiores de la falange proximal y de la falange media.
- **Articulación Interfalángica Distal**
Está presente en las extremidades superiores de la falange media y de la falange distal.

A continuación se presenta la siguiente figura en donde se muestran los dos tipos de articulaciones interfalángicas.

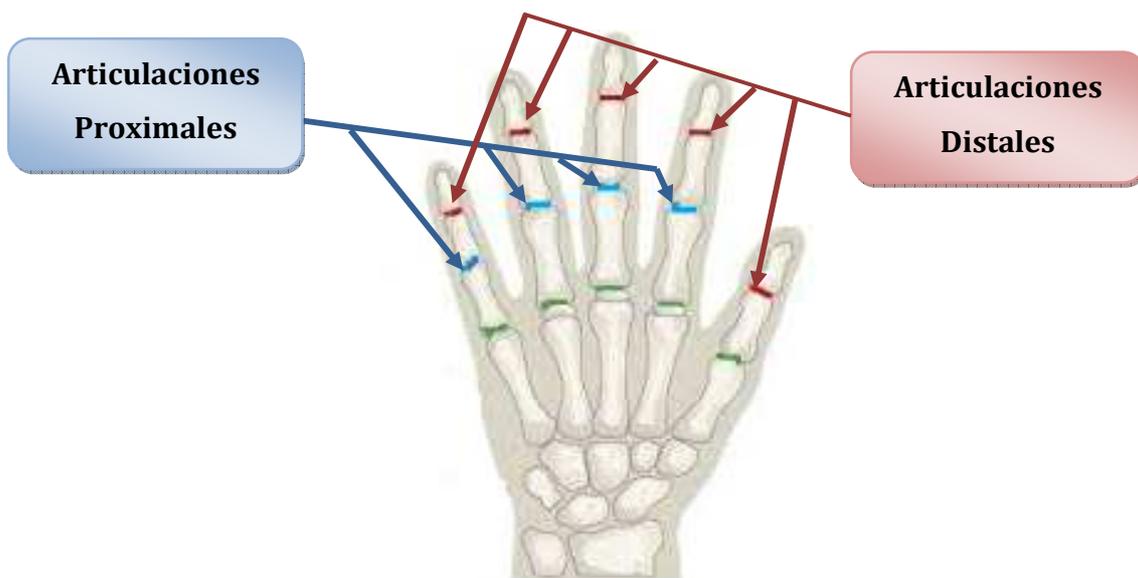


Figura 10. Articulaciones Interfalángicas. Basada en la referencia [24].

Para este trabajo solo se enfocará en las articulaciones proximales, puesto que los nudillos de interés están ubicados en esta zona. En la siguiente sección se define el nudillo de los dedos

III.2.5 Nudillo

Debido al estudio de la anatomía de la mano en las secciones anteriores es posible concluir que los nudillos de los dedos son producto de las articulaciones que se presentan en la mano.

III.3 Sistemas Biométricos

El concepto clásico de biometría denota la aplicación de técnicas matemáticas y estadísticas al análisis de datos en las ciencias biológicas. Dentro del contexto tecnológico, la biometría expresa la aplicación automatizada de técnicas biométricas a la certificación, autenticación e identificación de personas en sistemas de seguridad. Las técnicas biométricas se utilizan para medir características físicas o de comportamiento de las personas con el objetivo de establecer una identidad [25].

III.3.1 Necesidad y Objetivo de la Biometría

En el presente, los sistemas de identificación tradicionales no dan abasto para la creciente demanda de las diversas aplicaciones en el área de biometría, trayendo como ventaja con respecto a algunos sistemas como aprenderse claves, códigos de ingreso y tarjetas de acceso, que son métodos con mayor complejidad para suplantar la identidad del individuo. Aún la ciencia y la tecnología no han superado el reto de realizar un sistema que sea cien por ciento eficaz que no sea vulnerable a la falsificación, es por ello que día a día se buscan nuevas alternativas que permitan aportar en esta área [17].

“Encontrar un sistema infalible e inequívoco para reconocer personas es el objetivo de la biometría” [17].

III.3.2 Aplicaciones

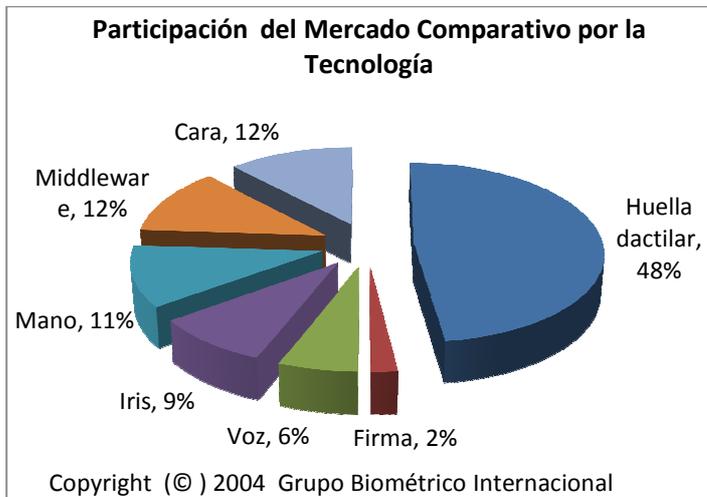
Se ha venido trabajando a lo largo de esta sección el concepto, los antecedentes, la importancia y el objetivo de la biometría, para llegar a las aplicaciones de esta área, para las cuales es fundamental autenticar las personas que se encuentran en cierta zona, sean las que pueden estar allí, de esta forma actualmente este tipo de aplicaciones abundan en un mercado donde se está en constante evolución día a día.

A continuación se enuncia algunas aplicaciones de gran interés para el mundo.

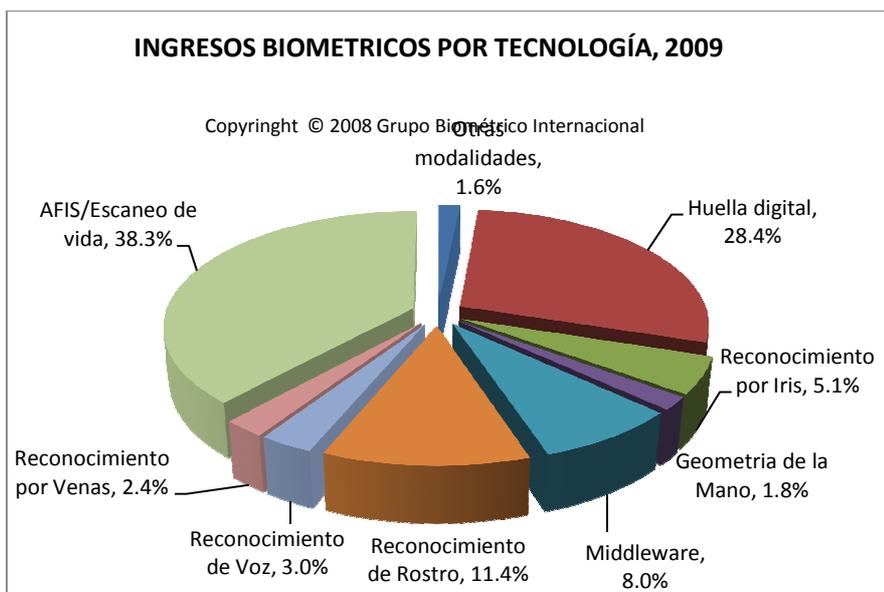
- Banca Electrónica y Comercio Electrónico.
- Aeropuertos.
- Seguridad Informática.
- Control de asistencia.
- Nómina.
- Control de acceso.
- Etc.

III.3.3 Mercado en Tecnologías Biométricas

La preocupación en el mundo por aumentar las medidas de seguridad ha provocado que el mercado de los sistemas biométricos se encuentre al alza. El número de tecnologías o modalidades y los fabricantes de éstas tecnologías, también se está expandiendo. En la Figura 11 se puede observar la variación de las tecnologías o modalidades biométricas, desde el 2004 hasta el 2009. Claramente, se puede observar que hoy en día hay una gran preocupación por la detección de vida en una persona, y luego la aplicación de una cierta modalidad, eso ha sido debido a los usos fraudulentos ocurridos en el periodo intermedio [25].



a)



b)

Figura 11. Distribución del mercado biométrico. Basado en [25].

La última previsión realizada en el año 2009 sobre el crecimiento del mercado relacionado con tecnologías biométricas, mostraban un claro aumento hasta el año 2014.

Este crecimiento está empujando el desarrollo de nuevas tecnologías con nuevos atributos fisiológicos para identificación, mientras que otras están mejorando tecnologías actualmente en uso [25].

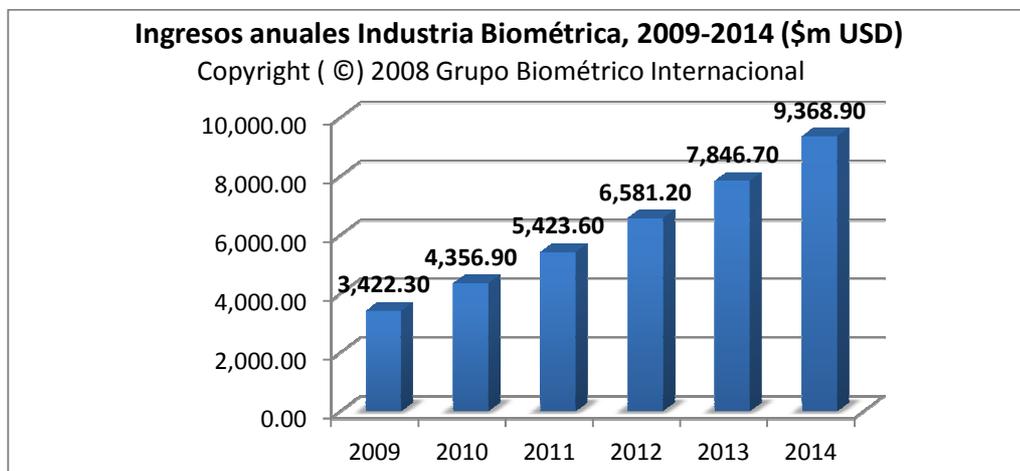


Figura 12. Encuesta sobre el crecimiento del mercado biométrico. Basado en [25].

IV. PROBLEMA, SOLUCIÓN Y METODOLOGÍA

IV.1 Identificación del Problema

La identificación de personas es un tema que les concierne a todo el mundo, puesto que para todos es importante asegurar sus pertenencias o zonas de estricta privacidad, para esto ya existen algunas aplicaciones clásicas, es por tal razón que abordar esta área va ser de gran interés. Este tema se

ha venido trabajando desde otras propuestas y una de las más antiguas es la huella dactilar en donde hoy en día se tienen un estándar que es fundamental para la identificación de personas, que es por lo general usado con ciertas características tales como el arco, presillas internas, presillas externas, verticilo, entre otras. En el pasado, la identidad de un individuo se determinaba sobre la base o conocimiento de una pieza de información, pero estos métodos de identificación pueden ser burlados por compartir algo no autorizado o extravío del mismo [8]. Sin embargo los identificadores biométricos no se pueden compartir tan fácilmente y no se pueden olvidar o extraviar debido a que se basan en características fisiológicas potencialmente distintivas [26]. Las modalidades más conocidas a menudo son las huellas dactilares, la cara, la geometría de la mano y el iris. Estos son ampliamente desplegados en sistemas a gran escala, tales como control de fronteras y los pasaportes biométricos. Pero debido a los problemas con capacidad de ampliación a gran escala, la seguridad, la eficacia y por último, pero no menos importante la facilidad de uso y la aceptación social, todavía se necesitan nuevas modalidades emergentes [11] y una de las cuales se presenta en esta tesis como trabajar con multinudillos lo cual promete ser una técnica basada en el estudio de la superficie del nudillo del dedo el cual es altamente rica en líneas y arrugas que son generalmente curvados pero muy singulares en individuos. Por lo tanto la explotación de la información localizada, en [27] lugar de la información basada en la apariencia global puede generar un rendimiento más fiable [10]. Adicional a aportar a esta área en busca de un estándar para los nudillos ofrece una buena alternativa para el mercado de la identificación de personas.

Tal como se puede observar en los antecedentes de este trabajo; no tener una posición definida es una gran desventaja para la mayoría de las referencias es por ello que esto forma parte del soporte de la propuesta que se presenta en este trabajo. Al momento de esta propuesta, no se cuenta

con bases de datos estándar de nudillos, ni existen elementos característicos estándar para su identificación. Para iniciar el trabajo de tesis, se plantea documentar una base de datos que permita proponer al menos dos características en tres nudillos de los dedos índice, corazón y anular; es decir se quiere presentar un sistema multinudillos, el cual reduzca el problema de posicionamiento lo cual puede provocar errores como falsos negativos, esto es de gran interés para este trabajo, puesto que es uno de los problemas a los que se afrontan en investigaciones previas.

Esta propuesta pretende explorar una forma que contribuya a la relación internudillos e intranudillos proponiendo el uso de los tres dedos de la mano derecha. Se considerará el uso, de los nudillos interfalángicos proximales de la parte dorsal de la mano debido a la formación de patrones en las imágenes de los nudillos de los dedos, la flexión es muy singular y hace que esta superficie sea distintiva para un identificador biométrico. [10] Además el nudillo es una parte de la mano y por lo tanto es fácilmente accesible, invariante a las emociones y otros aspectos del comportamiento (por ejemplo, cansancio) y como ya se había mencionado anteriormente lo más importante es que es rico en características [11], las cuales se quieren medir en cuanto a la posición relativa o la descripción de los segmentos de curva de los nudillos respectivamente.

IV.2 Solución

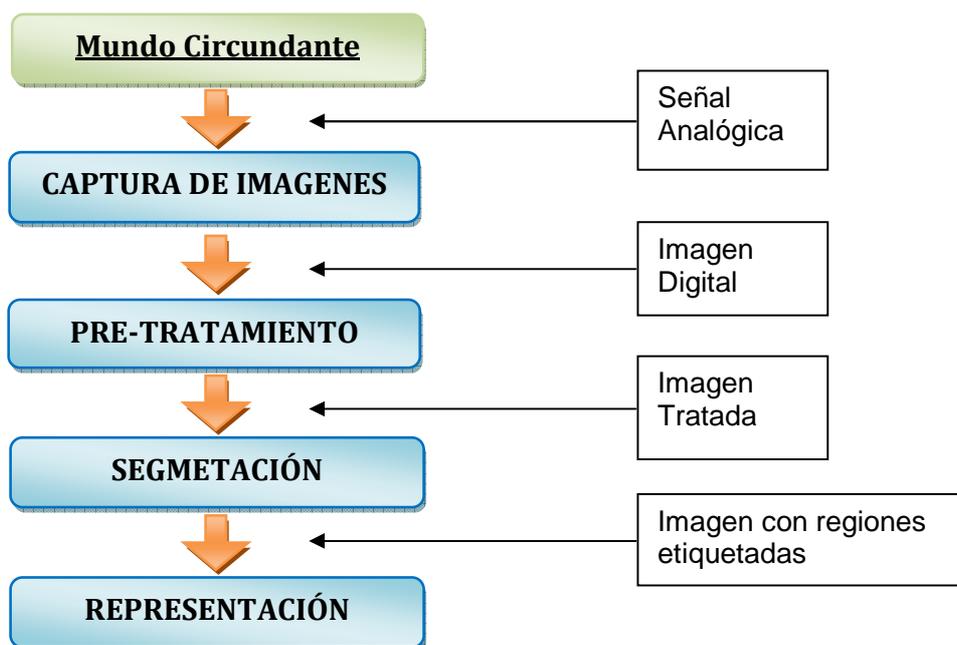
Esta propuesta hace énfasis en encontrar una representación repetitiva y distintiva de las características de los nudillos. Uno de los objetivos es definir al menos dos características que sean útiles para lograr la distinción de las personas por elementos naturales en nudillos externos de la mano, en un conjunto de tomas de imagen de 100 personas. Éste algoritmo aspira a

realizar un aporte significativo en esta área de investigación que aún se encuentra en desarrollo y realizar una corrección de posición, para finalizar se busca tener un ambiente seguro y controlado.

IV.3 Metodología

La propuesta solución está basada en las técnicas de procesamiento de imágenes de los nudillos de la mano; de acuerdo a [28] en el análisis de imágenes, intervienen las siguientes etapas: 1) Captura de la imagen, 2) Preprocesamiento, 3) Segmentación, 4) Representación, 5) Descripción y 6) Reconocimiento, análisis o interpretación de la imagen. El nivel de profundización de cada una de estas etapas depende de varios factores como pueden ser [28]:

- 1) La calidad de la imagen original.
- 2) El hardware empleado en la adquisición
- 3) Los métodos utilizados en el procesamiento
- 4) El objetivo de la aplicación



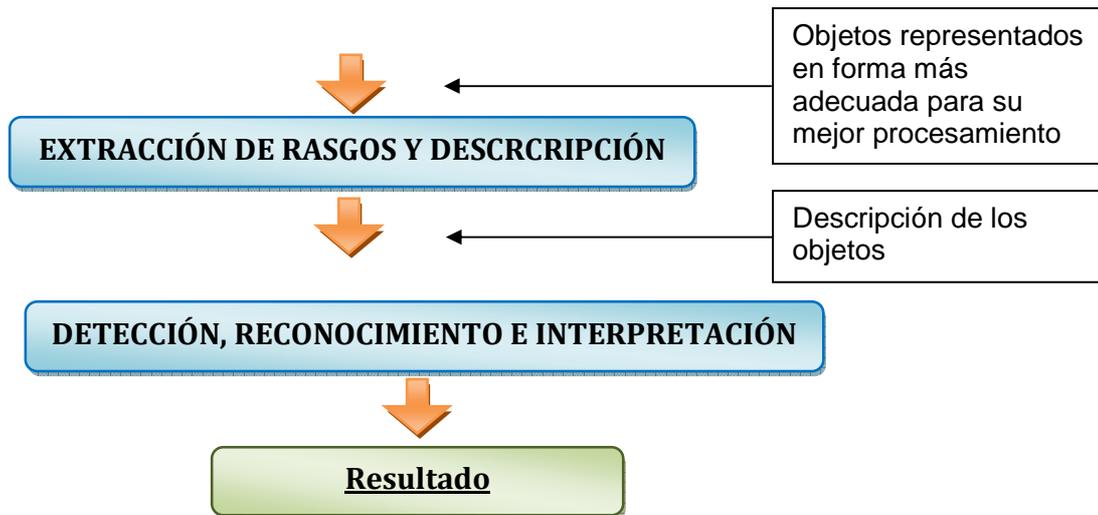


Figura 13. Pasos en un sistema de análisis de imágenes. Esta figura ha sido adaptada de [29].

Obsérvese que el primer paso para el análisis automatizado de una imagen es la *captura de la imagen*, la cual se puede llevar a cabo a través de varios dispositivos a saber: una cámara (analógica o digital), un escáner o cualquier otro dispositivo de toma de imágenes que para su elección depende de la escena de entrada o la aplicación [28].

Una vez obtenida la imagen digital, la siguiente etapa según la Figura 13, es la de *preprocesamiento*, la cual en muchas aplicaciones tiene un peso importante y básicamente consiste en la atenuación del ruido presente en la imagen, el mejoramiento del contraste; así como filtrados para la eliminación de artefactos, entre otros [28].

La *segmentación* es una etapa crucial en cualquier sistema de análisis de imágenes tanto por las dificultades que conlleva, así como por la importancia de sus resultados. La imagen de salida después del proceso de segmentación es una imagen etiquetada o simbólica donde se ha pasado de una imagen digital bruta, cuyos componentes son píxeles, a una imagen

mucho más simplificada en lo que se espera que los objetos aparezcan nítidamente distinguidos entre sí [28].

Posterior a la etapa de segmentación está la etapa de *representación y descripción* de patrones u objetos en donde existen diferentes técnicas: El objetivo de las técnicas de representación es llevar los datos de cada uno de los objetos o regiones segmentado a formas en que la computadora pueda trabajar con ellos de la manera más apropiada. Por otro lado están las técnicas de descripción las cuales consisten en capturar las diferencias esenciales entre objetos pertenecientes a clases diferentes, por supuesto que se busca que estos mismos rasgos se mantuvieran lo más invariantes ante cambios como escalamientos, traslaciones y rotaciones [28].

La última etapa para un sistema de análisis de imágenes lo constituye la *detección, el reconocimiento y la interpretación* de una imagen.

La *detección* es el procedimiento que consiste en decir si una instancia de un objeto dado se encuentra presente en una imagen, y esto sobre la base del conjunto de datos extraídos [28].

El *reconocimiento* es el procedimiento que asigna una determinada etiqueta a un objeto a partir de la información proporcionada por sus descriptores [28].

Finalmente, la *interpretación* es la que determina el significado de un conjunto de objetos previamente reconocidos. Este módulo debería tener como primer paso poder determinar las relaciones entre los objetos para finalmente arribar a una descripción semántica de toda la imagen o de una parte de ella [28].

V. ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

V.1 Características del prototipo

Para esta sección se diseñó un sistema de adquisición que sea robusto para evitar una mala posición. Las dimensiones son alto, ancho, y largo de 14.3, 14.3, y 20.6 cm respectivamente, medidas que son básicas para poder obtener las imágenes de los dedos de interés bien sea para una persona delgada o con mucho peso o de alta o baja estatura.



A)



B)



C)

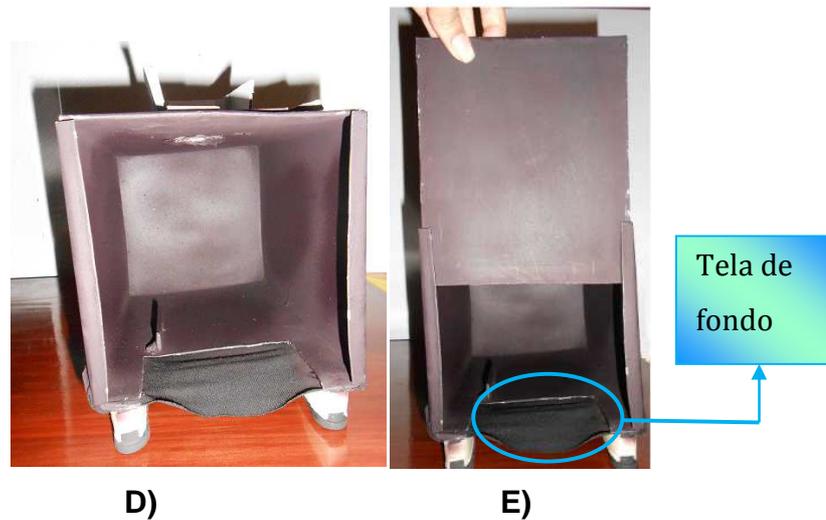


Figura 14. Prototipo de adquisición de imágenes; A) Parte superior B) Zona lateral derecha C) zona lateral izquierda, D) zona interna y E) Puerta deslizable.

Como se puede observar en la Figura 14 se presenta el prototipo de adquisición de imágenes con el cual fueron adquiridas las fotos; en la Figura 14.A es posible ver tres orificios en la parte superior de la caja esto se debe a que es allí donde va la cámara digital y estos son para el flash, enfoque y lente de la misma, adicional se tiene un guía para que el dispositivo siempre se encuentre en la misma posición para la captura de imágenes. En la Figura 14.B y Figura 14.C se pueden observar que se propuso un soporte o base para que la caja se mantenga en pie sola en las cuatro esquinas de la caja, y de esta forma se le facilite al usuario poner la mano. En la Figura 14.D, es posible visualizar tres características, la primera de ellas es un recorte en la parte donde se ponen los tres dedos, esto se hizo con el propósito de que la ubicación de la cámara estuviera alineada con la posición de los dedos, la segunda característica es que a pesar de que tiene la abertura también tiene un fondo negro de tela que permite que la caja mantenga la mayor cantidad de área en oscuridad; También se visualiza la última característica

que es una guía ubicada a un costado de la caja para que de esta forma la persona pueda ubicar los dedos juntos entre sí y llevándolos todos al mismo punto de margen para facilitar el procesamiento de las mismas en la Figura 14.E se puede observar que se tiene una puerta que es movable hacia arriba o abajo dependiendo del espesor de la mano, para terminar de darle la oscuridad necesaria a la caja.

El sistema de imagen utiliza una cámara digital centrada en la parte superior de la caja de adquisición de imágenes contra un fondo negro en base al trabajo previo encontrado sobre la identificación biométrica basada en la mano [30] , [31] y [32] en los cuales utilizan un fondo negro durante la adquisición de las imágenes. La cámara cuenta con un disparo complementado con flash el cual permite obtener una luz artificial de asistencia al enfoque que para este caso es una caja casi oscura. Con la ayuda de la cámara y el prototipo se pueden obtener imágenes con mayor nitidez.

La resolución de la imagen adquirida es de 640 pixeles de ancho por 480 pixeles de alto, es decir son imágenes en VGA, esto con el fin de realizar las pruebas en el peor de los casos, pues lo que se pretende es obtener un programa que pueda tratar imágenes en que proporcione desde una información con pocos pixeles hasta una imagen que posea suficiente información ilustrada con muchos pixeles para trabajar.

El fundamento para mencionar que con resolución VGA es suficiente para extraer la información de interés se basa en que la imagen tienen 640 x 480 pixeles pero esto es equivalente a tener la misma imagen en otras unidades tales como: 16.2 x 11 centímetros.

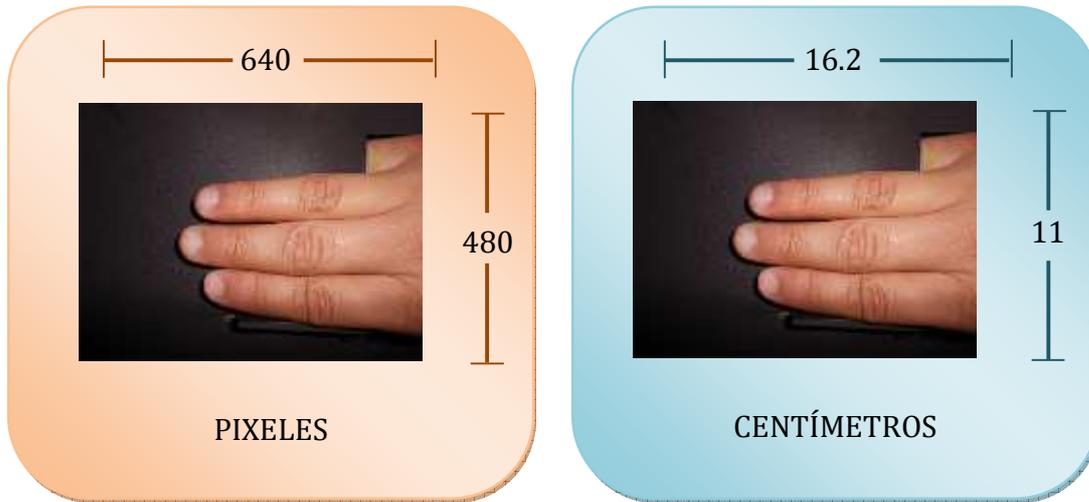


Figura 15. Comparación de unidades pixeles y centímetros.

En este orden de ideas, entonces se puede establecer una relación la cual indica el espacio que ocupan en ancho los tres dedos es equivalente aproximadamente a 275 pixeles de un total de 480 pixeles, esto se puede comparar al valor en 6.3 centímetros de un total de 11 centímetros, estos valores para esta imagen de prueba, pero en general el valor puede alcanzar hasta 8 centímetros, pues esto depende de la persona.



Figura 16. Comparación de unidades pixeles y centímetros del ancho de los tres dedos para la imagen de prueba.

Pero el ancho de interés son los nudillos, cada nudillo tiene un ancho aproximado de 87, 104, 92 pixeles para cada dedo anular, corazón e índice correspondientemente, dando de esta forma un ancho promedio para un nudillo aproximado de 94 pixeles para la imagen en desarrollo.

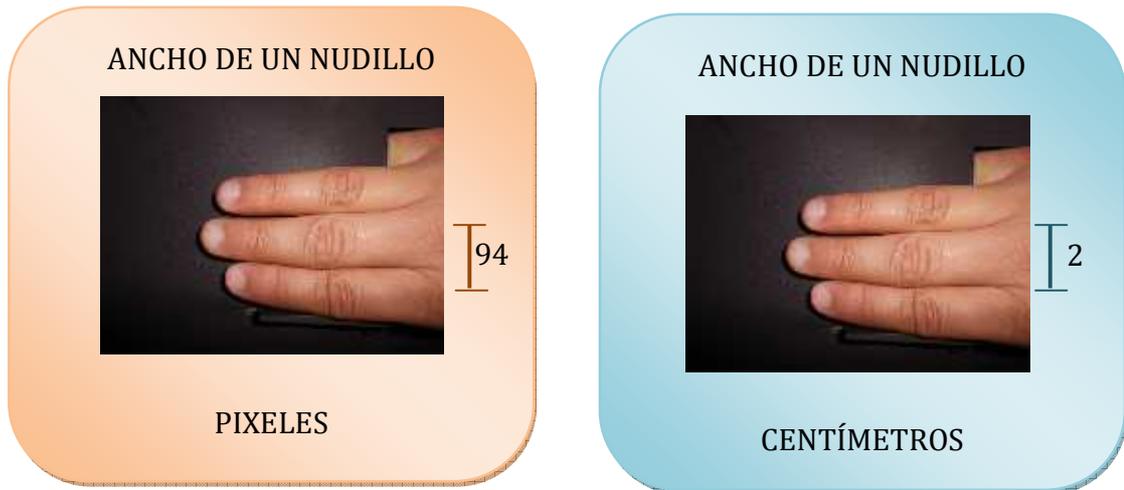


Figura 17. Comparación de unidades pixeles y centímetros del ancho promedio de un nudillo.

En otras palabras, ese valor 94 ± 10 pixeles de ancho es suficiente en este caso, para caracterizar 2 centímetros aproximadamente de ancho en cada nudillo para esta persona. Es claro que al tener más pixeles se tendría más detalle en la imagen para 2 centímetros de caracterización.

V.2 Características de la Cámara

El instrumento con el cual se obtuvieron las imágenes que se van a procesar se presenta en la siguiente figura.



Figura 18. Cámara para capturar las imágenes a procesar.

Son cámaras que requieren muy poco esfuerzo de parte de la persona que quiere tomar la fotografía puesto que normalmente enfocan objetivos y se ajustan automáticamente a condiciones de luz. Sus dimensiones pueden llegar a ser tan reducidas que se pueden llevar en cualquier bolsillo y utilizarse en cualquier lugar, ya sea en exteriores o en interiores.

Son muy ligeras, es de fácil uso y manejo, permitiendo al usuario configurarla de gran variedad de modelos para cada gusto en particular.

V.2 Características de la Base de datos

Las personas que se registraron en la base de datos son de ambos géneros y presentan edades en un rango de (18 - 65) años de edad. Se le pidió al individuo introducir la mano a la caja de tal forma que los dedos meñique y pulgar no estuvieran visibles al momento de capturar la imagen, es decir que solo se capturara los dedos índice, corazón y anular, y que estos estuvieran unidos entre sí. Posteriormente se le indicó a la persona que retirara la mano y la volviera a introducir de la misma forma para obtener la segunda toma, esto se logró en un conjunto de 90 personas para probar conceptos que aporten a obtener un estándar de características distinguibles y repetitivas.

Con motivo de probar que los resultados obtenidos en estas primeras imágenes seguían siendo igual de positivos en otras muestras, se realizó una segunda captura de imágenes en donde se logró contar con 38 personas que de igual forma contribuyeron con una mayor cantidad de muestras con respecto a la primera sesión, el conjunto de muestras fueron de 4 por persona; de igual forma se le dieron las mismas instrucciones las cuales fueron indicadas para la primera sesión.

La captura de imágenes fue realizada en las instalaciones del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), donde la gente muy cordialmente prestó su colaboración y sus datos (nombre completo, edades, y fotografía del rostro) para llevar a cabo este proyecto.

VI. INTRODUCCIÓN AL PROCESADO DE IMÁGENES

VI.1 Orígenes

Los antecedentes históricos del procesado digital de imágenes se remontan a la impresión de periódicos en 1921. En aquella época la codificación y transmisión de datos se realizaba por cable submarino entre las ciudades de Londres y Nueva York, en donde se reconstruía e imprimía. En 1922 se mejoró el proceso al emplear una técnica basada en la reproducción fotográfica a través de cintas perforadas en las terminales telegráficas receptoras que permitía obtener 5 niveles de gris. Hacia 1929 la técnica se mejoró de nuevo hasta obtener 15 niveles de gris en la reproducción de una fotografía. A pesar de estos avances, las imágenes que se produjeron con esas técnicas no se consideran los inicios del procesamiento digital de imagen debido a que su creación no involucró el uso de la computadora. Hubo que esperar hasta los años 60, con la llegada de los grandes ordenadores y del programa espacial estadounidense para ver las primeras técnicas del procesado digital de imágenes por computador. Concretamente hasta el año 1964 en el laboratorio de Propulsión de la NASA, cuando se

procesaron las imágenes de la Luna enviadas por el satélite Ranger 7 para corregir distorsiones propias de la cámara [33].

A partir de los años 60 el procesamiento digital de imágenes no ha parado de beneficiarse de los continuos avances tecnológicos, entre los que se encuentran principalmente la invención del transistor en los Laboratorios Bell en 1948, el desarrollo de los lenguajes de programación de alto nivel, la invención del Circuito Integrado por Texas Instrument en 1958, el desarrollo de los sistemas operativos, la introducción del ordenador personal en 1981 (IBM), y la continua miniaturización de componentes y desarrollo de sistemas de almacenamiento [33].

VI.2 Definición

El procesado digital de imágenes (PDI) es el procesado, entendiendo éste como el almacenamiento, transmisión y representación de información, de imágenes digitales por medio de una computadora digital [33]. En otras palabras PDI es el tratamiento de imágenes mediante medios electrónicos y su aplicación incluye diversas áreas como, la medicina, la manufactura, microscopía, análisis de imágenes satelitales, sistemas de seguridad, astronomía, etc [34].

Los trabajos relacionados con PDI están relacionados al objeto imagen digital. Se considera que una imagen digital es la representación de una escena del mundo físico mediante el procesado de muestreo y transformación del dominio continuo al discreto. Esta transformación permitirá la utilización de máquinas discretas sobre la representación de una escena del mundo físico [34].

Debido a que la concepción básica del PDI se refiere al tratamiento, procesamiento y análisis, de la información contenida en una imagen y los

objetivos y técnicas utilizadas en este proceso dependen del tipo de aplicación en que se esté trabajando [34], entonces el interés se basa esencialmente en dos aspectos:

- ✓ Mejorar una imagen la cual será posteriormente interpretada por una persona.
En este caso se tienen aplicaciones relacionadas con astronomía, biología, medicina, etc.
- ✓ Procesamiento de una imagen para realizar análisis de escena por medio de una máquina, percepción autónoma.
Este caso es referente a aplicaciones como, reconocimiento automático de huellas digitales, análisis de actividad humana, interpretación del ambiente por robots, sistemas de seguridad basados en visión, etc.

Debido al amplio rango de tipos de imágenes empleadas en el PDI, no existe un límite claro respecto dónde se encuentra la línea divisoria entre el PDI y otras áreas afines, como el análisis de imágenes o la visión por computador, entre otras. El análisis de imágenes se refiere al proceso por el cual se extrae información cuantitativa de la imagen en donde el resultado del análisis es siempre una tabla de datos, una gráfica o cualquier representación de los datos numéricos. El procesado de imágenes, sin embargo siempre produce otra imagen como resultado de la operación, por lo que por lo general se pretende mejorar la calidad de una imagen para poder apreciar mejor determinados detalles. La visión por computador o visión artificial es un subcampo de la inteligencia artificial cuyo propósito es programar un computador para que “entienda” una escena o las características de una imagen, emulando la visión humana [33].

VI.2 Áreas de Aplicación

Son muchas las aplicaciones que hoy en día hacen uso de las técnicas de procesado de imagen. Esta breve descripción de sus usos, nos ayudará a valorar la importancia de las mismas para la evolución de la ciencia y beneficio de la humanidad [35].

✓ Biología

En los campos de la biología y biomedicina, el procesamiento de imágenes se usa para analizar visualmente las muestras biológicas. Hay varios casos donde el análisis de muestras ha sido completamente automatizado usando procesamiento de imágenes. De cara a la realización de un buen análisis, se mejoran usando algoritmos como "contraste de balance" o "*edge-sharpening*", aquellas características inidentificables y/o poco nítidas de la imagen. La identificación automática, clasificación, categorización y análisis de ADN pueden ser realizadas por el procesamiento de imágenes [33].

✓ Procesado de Documentos

Una recolección y procesado automático de documentos e imágenes se presenta útil para bancos y compañías de seguros. Estos documentos están digitalmente comprimidos y guardados. Se detecta e identifica automáticamente la información impresa sobre cheques y otros documentos contables [33].

✓ Automatización en la Industria

El procesamiento de imágenes se usa para la inspección y supervisión automática en líneas de producción de grandes empresas. Este sistema reduce mucho el error humano al tiempo que proporciona estabilidad y precisión en la producción [33].

✓ Diagnóstico a partir de Imágenes Médicas

Los rayos X y las proyecciones CT médicas se digitalizan para examinar áreas internas del cuerpo. Un número determinado de proyecciones CT se combinan y digitalizan automáticamente para producir imágenes 3-dimensionales [33].

✓ Teledetección

Un satélite fotografía la corteza exterior de la Tierra a intervalos regulares y las imágenes se usan para analizar condiciones de crecimiento del cultivo, distribución de la vegetación y para exploraciones de recursos naturales. También la corteza de la Tierra puede ser convertida en un modelo 3-dimensional usando imágenes 2d tomadas por satélites [33].

✓ Efectos de Video/Film

La industria cinematográfica usa una extensa variedad de técnicas de procesamiento de imágenes para producir efectos visuales especiales. Las imágenes irreales y otras escenas costosas son artificialmente producidas usando técnicas de Informática Gráfica o/y Procesamiento de Imágenes Digitales [33].

Las principales técnicas son:

- Morphing

Morphing es una técnica de efectos especiales que visualmente transforma un material en otro de manera espontánea produciéndose una transición natural. Esta técnica se usa ampliamente en películas y publicidad [33].

- Composición de Imágenes

Esta técnica combina un determinado número de imágenes para conformar una sola. Muchos tipos de imágenes, tales

como imágenes animadas por computadora, pueden ser mezcladas conjuntamente [33].

✓ Identificación mediante Biometría

Es la técnica en la cual se basa este trabajo, ésta consiste en tratar diferentes imágenes del cuerpo humano tales como el iris, huella dactilar, rostro, geometría de la mano y nudillo de la mano, las cuales son las más reconocidas en este ámbito que permiten ser aplicadas para identificación la personas entre las más utilizadas.

✓ Marcas de Agua, Meteorología, Ciencia de los Materiales,... etc.

VII. SEGMENTACIÓN

Al referirse sobre la segmentación de una imagen, se hace necesario citar la definición formal de imagen digital la cual se considera como una función de intensidad de luz bidimensional denotada por $I(x, y)$, donde el valor o amplitud de la función en coordenadas espaciales (x, y) es la intensidad ó brillo de la imagen en ese punto [34]. También se puede mencionar que una imagen digital puede escribirse como una matriz cuyos índices de fila y columna identifican un punto en la imagen y cuyo valor coincide con el nivel de intensidad de luz en ese punto. Cada elemento del *array* se corresponde con un elemento en la imagen y se denomina pixel [33].

Con el concepto claro sobre el tema esencial que se va a tratar durante todo el trabajo, que son las imágenes es posible ahora abordar el tema de la segmentación el cual tiene como meta en el procesamiento de imágenes en forma genérica como la determinación de estructuras o subestructuras que corresponda a la imagen de un objeto de interés [36]. El resultado de la segmentación es vital para posteriores etapas de análisis de la imagen.

Siendo el análisis de la imagen el proceso que permita la interpretación de una escena, imagen, que implica entablar relaciones entre los objetos que conforma la escena, Figura 19 [34].

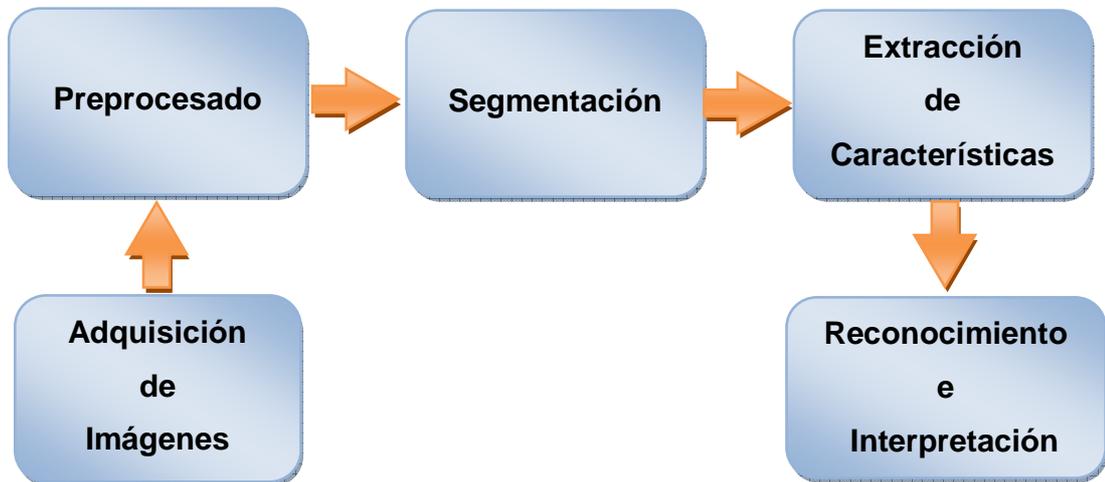


Figura 19. Segmentación en el proceso de análisis de escena.

La segmentación se considera un proceso de alto nivel ya que es una tarea que implica un grado más avanzado de procesamiento que las tareas simples de preprocesamiento de imagen. La segmentación aún para el cerebro humano puede resultar un proceso complejo que requiere de manejo de una gran cantidad de información y su consecuente procesamiento [34].

En ocasiones la segmentación es una tarea sin una solución única aún para el cerebro humano. Por lo que se espera que los algoritmos desarrollados para máquinas generen resultados satisfactorios para una aplicación pero no para todas en general. Es decir no existe un algoritmo de segmentación ideal. Basta dar un vistazo a la literatura para darse cuenta del amplio esfuerzo para diseñar algoritmos de segmentación [37].

Los métodos de segmentación en procesamiento de imágenes tienen dos corrientes principales:

- ✓ Basada en la determinación de bordes de objetos, uso de discontinuidades, para delimitar los objetos de interés.
- ✓ Basada en similitud de la información para realizar agrupamientos que formen los objetos.

Los métodos basados en discontinuidades se basan en algoritmos de detección de bordes. Los métodos basados en similitud en algoritmos de umbrales y crecimiento de regiones. En las secciones siguientes de este capítulo se tratará la segmentación realizada para las imágenes obtenidas en la sección de adquisición de imágenes [34].

VII.1 Recorte de la sección de los nudillos

Para iniciar esta sección es necesario presentar las imágenes que fueron obtenidas en la sección de adquisición de imágenes.



Figura 20. Imagen inicial.

Como se puede observar en la anterior Figura, las características que se exponen son: los dedos índice, corazón y anular, con los cuales se planea trabajar en esta tesis, adicional éstos se encuentran sin separación; también es posible observar que los dedos están guiados por una protuberancia que se encuentra en la parte inferior de la imagen para que de esta forma todos los dedos se encuentren alineados en todas las imágenes y sea más fácil su segmentación.

El objetivo de esta sección es encontrar la zona de interés tal como lo son los nudillos de las articulaciones interfalángicas proximales de los tres dedos: índice, corazón y anular tal como se muestra en la siguiente figura.

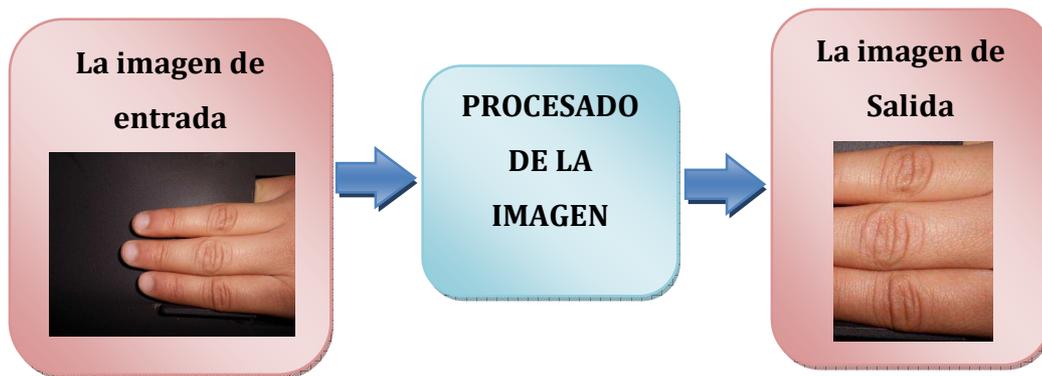


Figura 21. Bloques para el recorte de la sección de los nudillos.

Para llegar a la imagen de salida que se logra observar en la Figura 21, se realizaron una serie de de procesos que se mostrará a lo largo de la sección.

Debido a que la geometría de la mano se cumple para todas las personas, se podría definir que la mano tiene valles y crestas entre los dedos, tal como se muestra la Figura 22, sin embargo es necesario resaltar que esta nomenclatura permanece a pesar de que los dedos se encuentren separados o unidos.

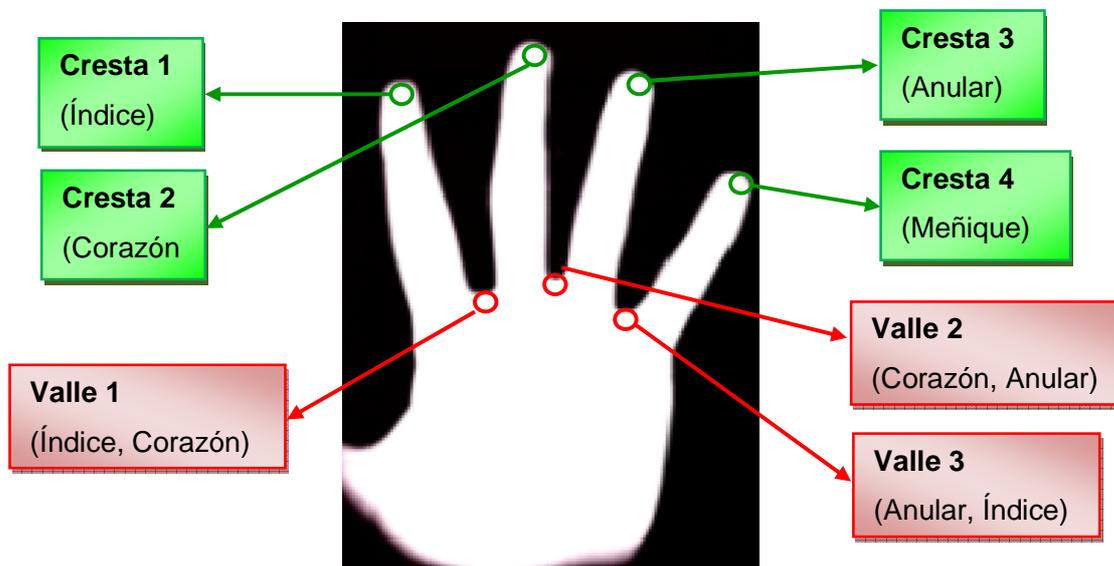


Figura 22. Estableciendo los valles y crestas en la mano.

Siguiendo este orden de ideas se propone la primera meta la cual consiste en encontrar el valle 1 que se forma entre los dedos índice y corazón. Para esto se entiende que ese valle se encuentra localizado en la parte más a la izquierda de la imagen (Figura 20), es por ello que se puede partir la imagen a la mitad tal como se muestra a continuación.

Mitad de la imagen



Figura 23. Mitad de la imagen

Con la imagen a la mitad se procede a trabajar con la proporción de colores verde a rojo esto con el propósito de tener una iluminación más uniforme en la imagen y las sombras que se tienen en la Figura 23 sean más fáciles de segmentar. Debido a que la línea que es de interés es aquella que separa al dedo índice y corazón, y ésta es horizontal; se usó bordes *canny* en orientación horizontal con el fin de lograr definir esta línea, por último fueron aplicadas algunas técnicas para eliminar ruido, con lo cual se logra obtener la siguiente imagen,

imagen nueva sin ruido



Figura 24. Intersección entre el dedo índice y dedo del corazón.

De la anterior figura se obtuvo el punto más a la derecha, es decir se logró obtener el valle 1, el cual es un punto de referencia de donde inicia el dedo medio, esto se logró para todo el conjunto de imágenes. En la Figura 25 es posible observar el valle 1 (índice, corazón) en la imagen original como un asterisco de color rojo.

Imagen Original con el valle 1

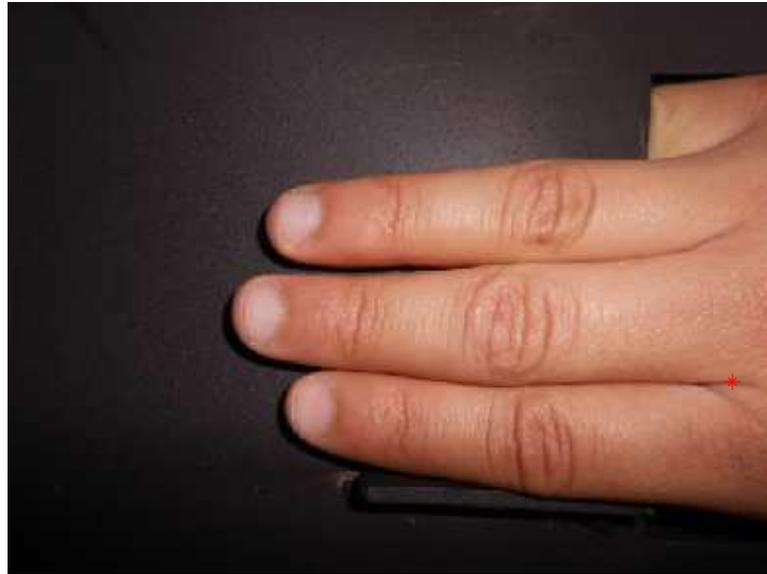


Figura 25. El valle 1 localizado en la imagen original.

La siguiente meta que se va a tratar consiste en encontrar la altura a la cual se va a realizar el recorte, para ello se utilizó la mitad de la imagen y se obtuvo la proporción de verde entre rojo en conjunto con la binarización se logró obtener una imagen en donde es claro ver en donde inicia el dedo anular, pero dado que muchas veces los dedos no están totalmente rectos se hizo necesario utilizar tres puntos que indiquen en donde empieza el dedo, tal como se muestra la Figura 26.

Debido a que se obtienen tres puntos en donde se establece que es el comienzo del dedo, y éstos no necesariamente son iguales, entonces lo que se propuso fue organizar de menor a mayor las columnas, escogiendo de esta forma el menor para asegurar que no se vaya a perder información que pueda ser de utilidad en el proceso. Es así como se obtiene la Figura 27 en la cual se puede observar el punto por donde se va a realizar el recorte de altura, establecido como un asterisco de color amarillo.

Imagen Tratada



Figura 26. El valle 1 localizado en la imagen original.

imagen original señalando la altura del recorte

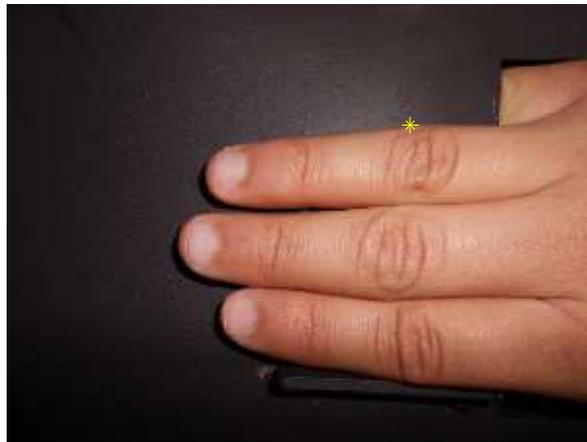


Figura 27. Señalando la altura a la cual se producirá el recorte.

Con la altura a la cual se va a hacer el recorte, el siguiente propósito consiste en encontrar los límites del ancho del recorte, para ello se utiliza la binarización en rojo en conjunto con una erosión, dando como resultado la siguiente figura.

imagen erosionada

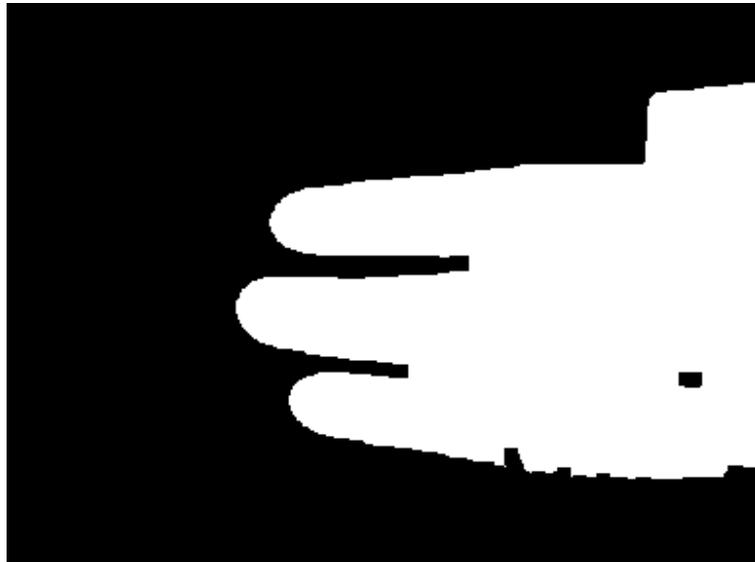


Figura 28.Imagen original binarizada y erosionada.

Con la imagen mostrada en la Figura 28 y teniendo presente que el dedo del corazón siempre es el más largo con respecto a los demás dedos es posible establecer un barrido de la imagen que pueda encontrar la punta del dedo del corazón, en la Figura 22 lo es posible visualizar el punto de búsqueda como cresta 2, ésta se puede visualizar con un círculo de color rojo en la Figura 30, sin embargo allí no solo se presenta la cresta 2, también es posible observar el valle 1 que ya se había encontrado anteriormente.

La cresta 2 y el valle 1, dan lugar a la longitud aproximada del dedo del corazón lo cual es de vital importancia debido a que ese valor de longitud es el punto clave para poder localizar los nudillos, puesto que mediante una relación matemática, es posible establecer en donde están ubicados estos generalmente.

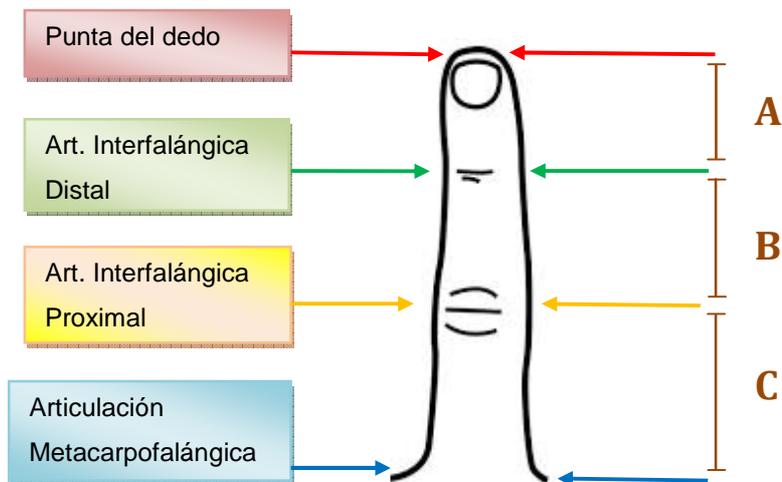


Figura 29. Imagen para explicación de la relación matemática. Basado en [38]

Mediante la figura anterior es posible explicar de forma práctica la relación matemática de la que se habló en el párrafo anterior; La Figura 29 muestra las longitudes entre articulaciones como A, B, C desde la punta del dedo hasta la articulación metacarpofalángica, correspondientemente, en donde se puede observar que las longitudes son:

$$C > B > A \quad \text{(VII-1)}$$

Y

$$\sum A, B, C = \textit{Longitud del dedo} \quad \text{(VII-2)}$$

Por lo tanto fue posible concluir mediante el método experimental que donde empieza el nudillo va a ser alrededor de la mitad de la longitud del dedo puesto que A y B son menores que C.

imagen original

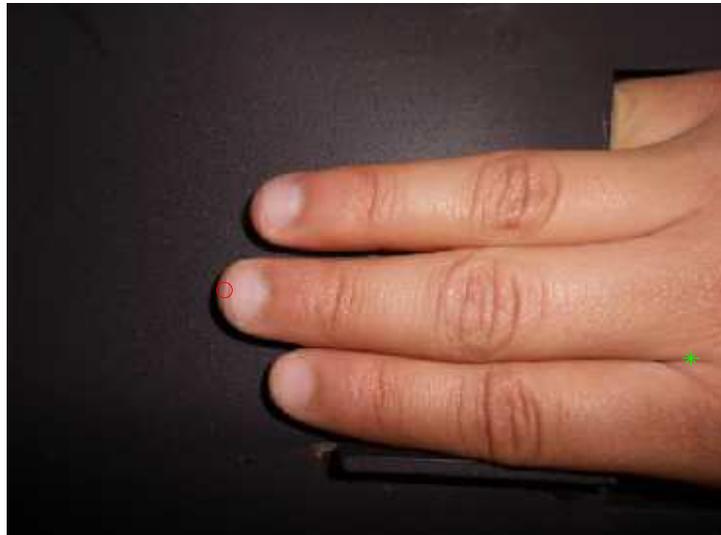


Figura 30. Señalización la Cresta 2 y el Valle 1.

Mediante la siguiente proporción fue posible obtener el punto límite para el recorte del ancho de los tres nudillos.

$$P_1 = \frac{\textit{Longitud del dedo}}{2.2} \quad \text{(VII-3)}$$

$$L_1 = \textit{Cresta 2} + P_1 \quad \text{(VII-4)}$$

Con la anterior formula, que fue determinada experimentalmente, fue posible encontrar un punto general para todas las imágenes dando lugar a la Figura 31 donde se puede visualizar el punto límite (L_1) del ancho, como un círculo color azul.

imagen original

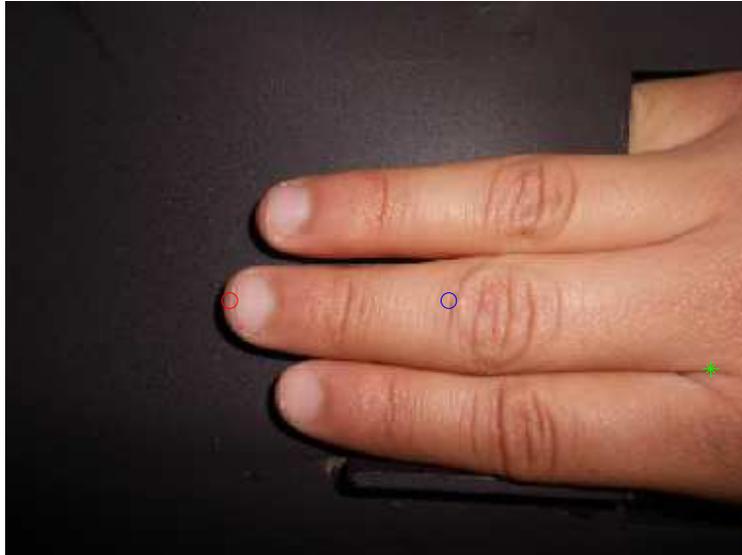


Figura 31. Señalización de la Cresta 2, el valle 1, y uno de los límites del ancho (L_1).

Para definir el siguiente límite del ancho del recorte (L_2) se propone la siguiente ecuación, que aplica para todas las imágenes.

$$P_2 = \frac{\textit{Longitud del dedo}}{2} \quad \text{(VII-5)}$$

$$L_2 = L_1 + P_2 \quad \text{(VII-6)}$$

Con la anterior formula es posible obtener el límite en el ancho (L_2), mostrado en la siguiente figura como un asterisco de color amarillo, también se logra observar un asterisco de color cian, el cual está indicando el límite encontrado anteriormente (L_1), proyectado sobre la altura a la cual se va a realizar el recorte.

imagen original

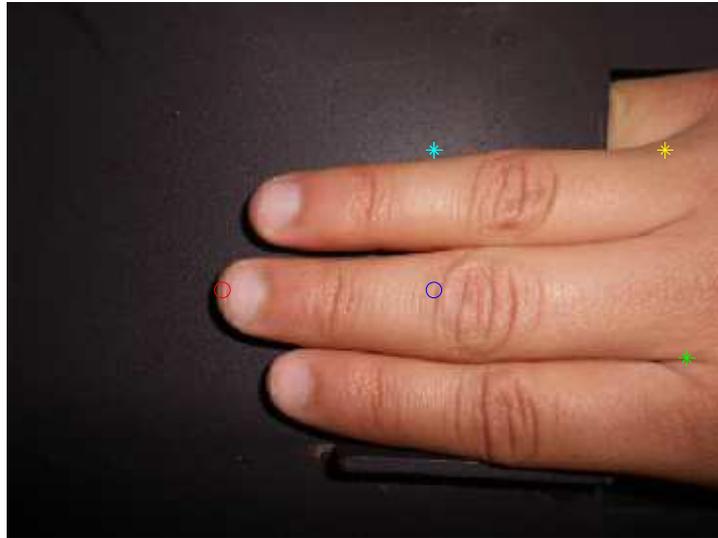


Figura 32. Señalización de la Cresta 2, el valle 1, y la proyección de los límites (L_1 y L_2) a la altura a la cual se va a hacer el recorte.

Finalmente para culminar el recorte de la zona de interés es necesario encontrar el punto inferior de la imagen, para ello se propone trabajar la imagen con los datos que ya se han encontrado anteriormente dando lugar a la siguiente imagen.

En RGB



Figura 33. Recorte de la imagen original a la altura y ancho encontrados.

Como se puede observar en la figura anterior, la altura, los límites y anchos tienen un offset para evitar quedar al margen de lo deseado.

capa en rojo



Figura 34. Visualización de la imagen en el canal Rojo.

El canal rojo fue escogido para trabajar debido a que presenta mayor diferencias entre la tonalidad de los dedos y el fondo, pero para evitar falsos positivos, se realizó un binarizador manual en donde se dispone de un valor de tonalidad para que por debajo de ese valor no se tomen en cuenta, sin embargo para los valores que están por encima de ese umbral se guarden en rojo para la zona designada, tal como se muestra en la Figura 35.

Con esta sección en rojo dentro de la imagen, se puede binarizar en el canal rojo logrando por medio de un barrido en esa zona encontrar el punto menor que sea el adecuado para lograr un recorte inferior adecuado sin que se vaya a perder información de la imagen.

capa en rojo

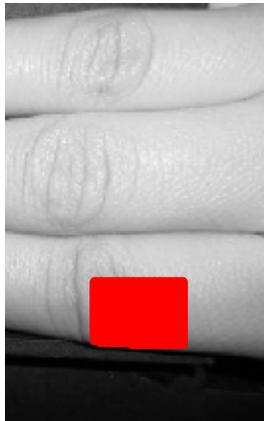


Figura 35. Binarizador guardando en rojo.

En RGB



Figura 36. El punto inferior para realizar el recorte.

Con la altura, anchos, límites y el punto inferior definidos, es posible presentar la imagen final, la cual representa la región de interés general como lo son los tres nudillos de los tres dedos índice, corazón y anular.

imagen recortada



Figura 37. El ROI de la imagen de entrada.

Con la anterior Figura es posible proceder a obtener cada nudillo por separado, lo cual se analizará en la siguiente sección.

VII.2 Recorte de cada dedo por separado

En esta parte del trabajo, el objetivo consiste en seccionar los tres dedos que están expuestos en la imagen de entrada de la Figura 38, para ello se proponen ciertos pasos que se irán desarrollando para cumplir con el objetivo trazado.

La primera meta que se propone es encontrar las líneas de separación entre cada dedo, que permita hacer un recorte adecuado, para ello primero se aplica un filtro pasabajas, que permite suavizar la imagen para que sea más uniforme en la zona de los nudillos y de esta forma al realizar el siguiente paso sea más notorias las líneas de separación entre dedo y dedo.

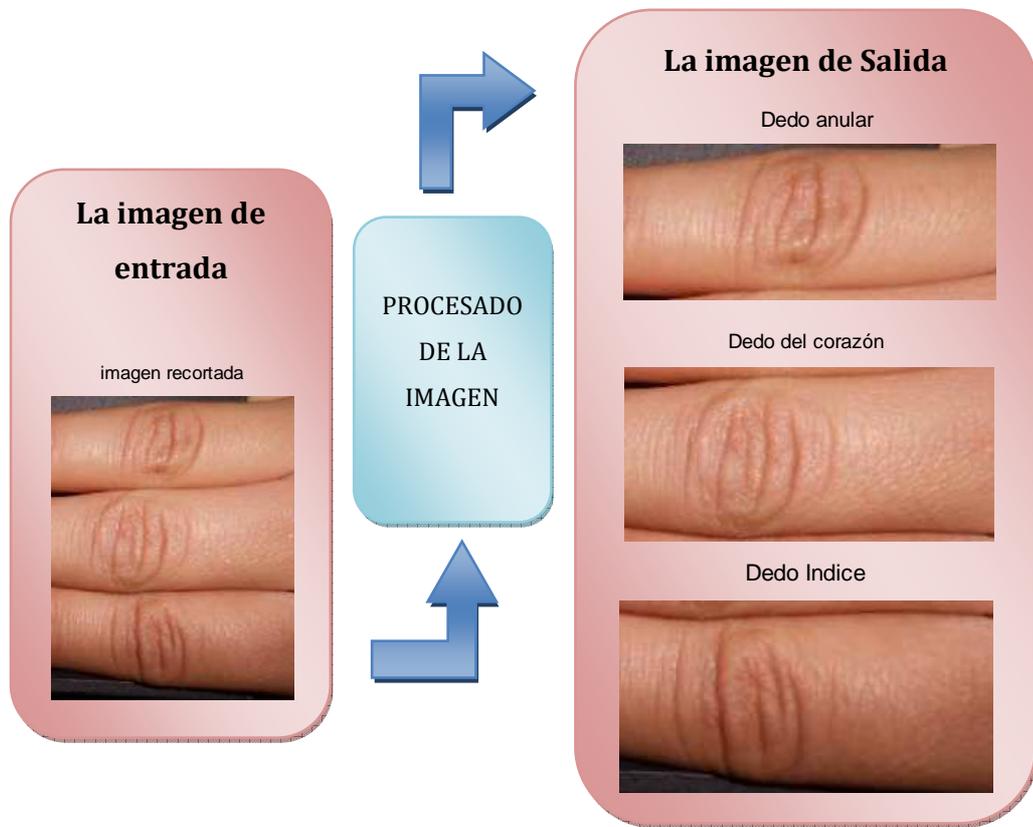


Figura 38. Bloques para el recorte de los dedos por separado.



Figura 39. Filtro pasa bajos de [8x8].

Con la imagen suavizada, se procedió a binarizar en el canal azul porque es en este canal en donde más se resaltan las divisiones entre los dedos y posteriormente se adelgazó para obtener como resultado la siguiente imagen.

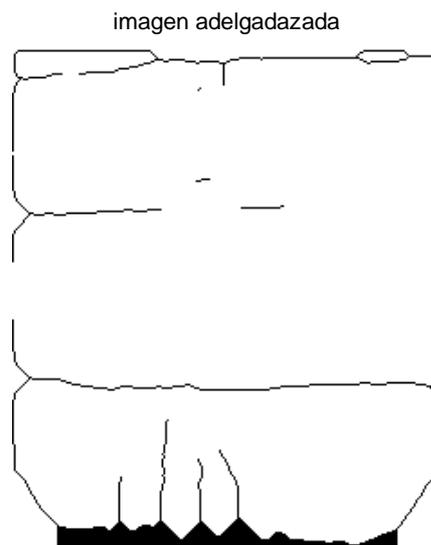


Figura 40. Imagen adelgazada de la binarización en el canal azul.

En la anterior figura, es posible observar las divisiones, de los dedos con un poco de ruido, y para contrarrestar esto, se propuso utilizar canny con orientación vertical, dando lugar a la Figura 41 con menos ruido.

imagen de bordes sin ruido

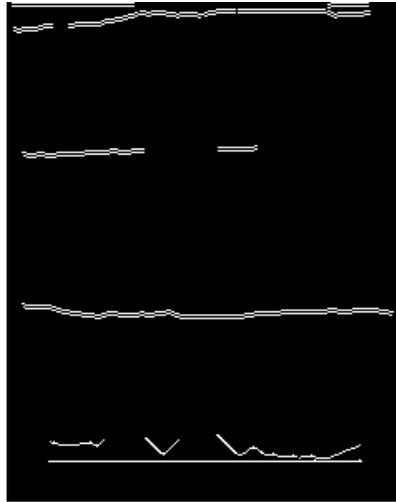


Figura 41. Bordes *canny* en orientación horizontal.

El ruido que se presentaba en la Figura 40 en comparación a la figura obtenida anteriormente se reduce considerablemente, de tal forma que se procede a hacer un barrido desde la mitad de la imagen hasta arriba para encontrar la línea divisoria entre el dedo anular y corazón, y un barrido desde la mitad hasta abajo para encontrar la línea divisoria entre el dedo corazón y el índice. En la siguiente figura, es posible observar las líneas de forma más explícita.

imagen recortada

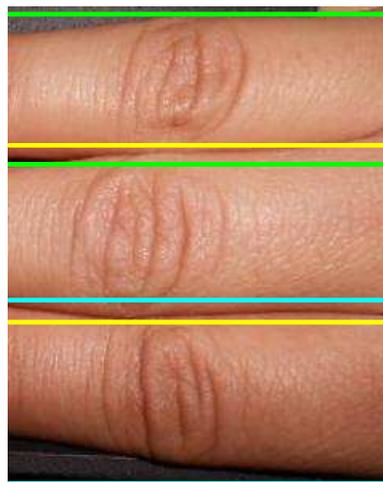


Figura 42. Separación entre los dedos.

La Figura 42 muestra claramente una diferencia de colores, empezando con el verde, éste indica las filas por donde se va a recortar el dedo anular, posteriormente, se puede indicar que el color amarillo, está mostrando la fila por donde se va a realizar el recorte del dedo del corazón y por último está el color cian, el cual está expresando las filas por donde va a ser recortado el dedo índice.

Con las filas definidas y el mismo ancho con el cual está la imagen original de esta sección se puede mostrar como resultado el recorte de los tres dedos por separado tal como se muestra en la siguiente figura.

Dedo anular



Dedo del corazón



Dedo Índice



Figura 43. Dedos separados.

Alcanzado con éxito el objetivo inicialmente trazado en esta sección tal como se muestra en la Figura 43, el siguiente nivel trata de definir la región de interés, de tal forma que solo estén los segmentos de curvas, pero este tema se podrá mostrar en el siguiente subcapítulo.

VII.3 Recorte de cada nudillo.

En esta última parte de la segmentación de la imagen el objetivo a lograr es obtener los nudillos, de forma más concreta puesto que las imágenes resultantes de la sección anterior no están recortadas en sus anchos, es por ello que para reducir el ruido se quiere obtener un nudillo con el ancho de los segmentos de curva de interés.

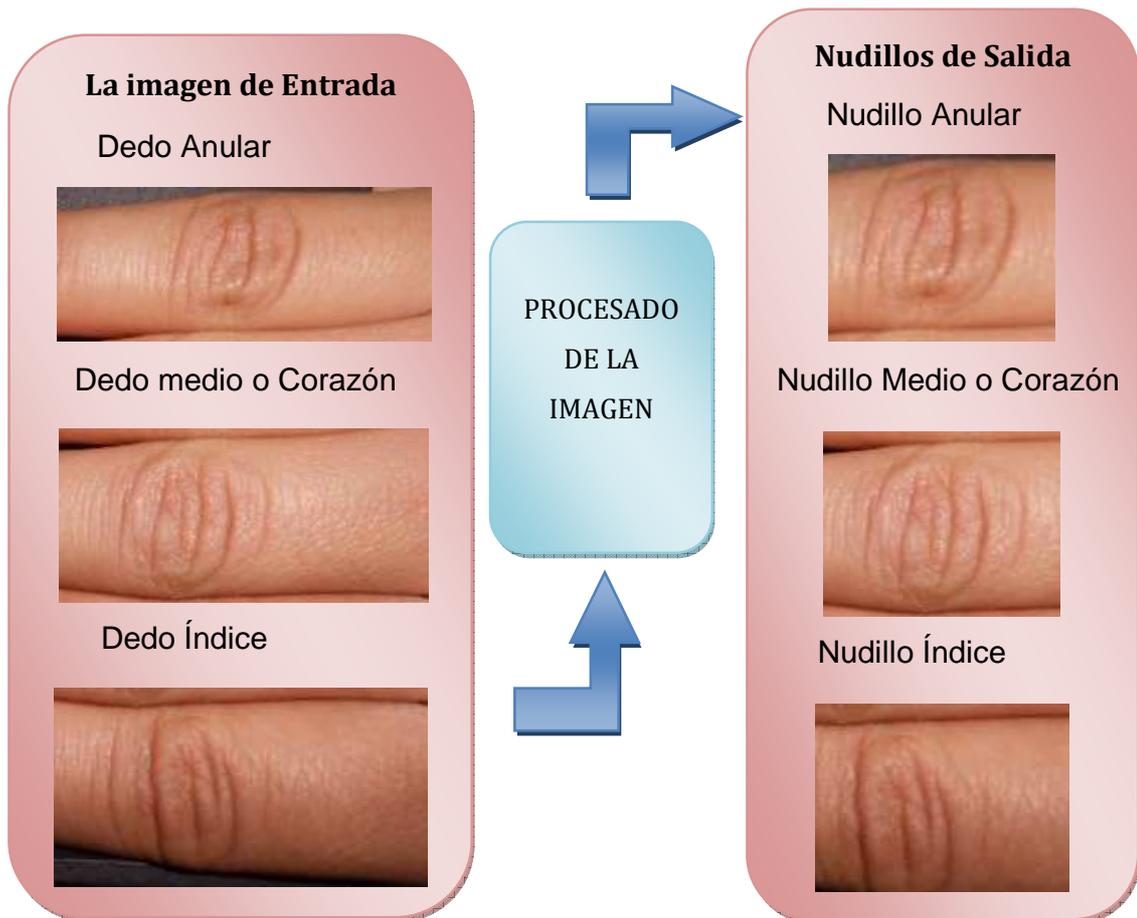


Figura 44. Bloques para el recorte de los nudillos de los dedos por separado.

El desarrollo de las metas trazadas para lograr obtener el nudillo del dedo que se va a presentar es para el dedo anular, pero el proceso se cumple de la misma forma para los otros dos dedos corazón e índice.

La primera meta a conseguir, es poder resaltar los segmentos de curva, es por ello que se utiliza un filtro que ayuda a mejorar la nitidez de la imagen, este filtro tiene por nombre *unsharp*.

A pesar de que el nombre del filtro tiende a confundir al usuario, éste filtro *unsharp* es un operador que se utiliza para resaltar los bordes de las imágenes, esto se logra conseguir a partir del negativo del filtro laplaciano con el parámetro alfa (α), el cual controla la forma del *laplaciano* y debe estar en el rango de cero (0) a uno (1), máscara 3x3 se presenta a continuación:

$$\frac{1}{\alpha + 1} \begin{bmatrix} -\alpha & \alpha - 1 & -\alpha \\ \alpha - 1 & \alpha + 5 & \alpha - 1 \\ -\alpha & \alpha - 1 & -\alpha \end{bmatrix} \quad \text{(VII-7)}$$

Para el trabajo se utilizó el valor que se tiene por defecto el cual es 0.2, obteniendo como resultado la siguiente imagen.

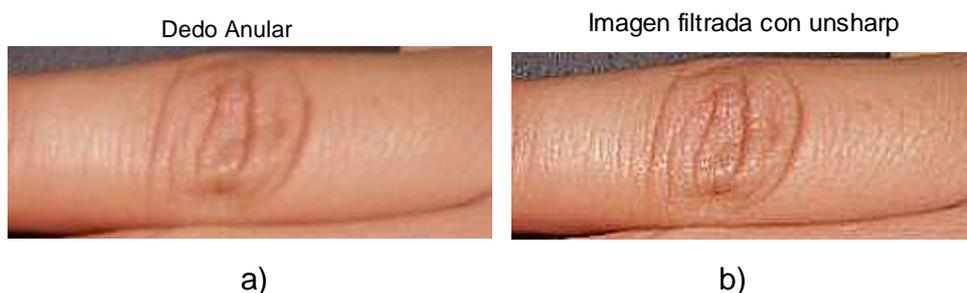
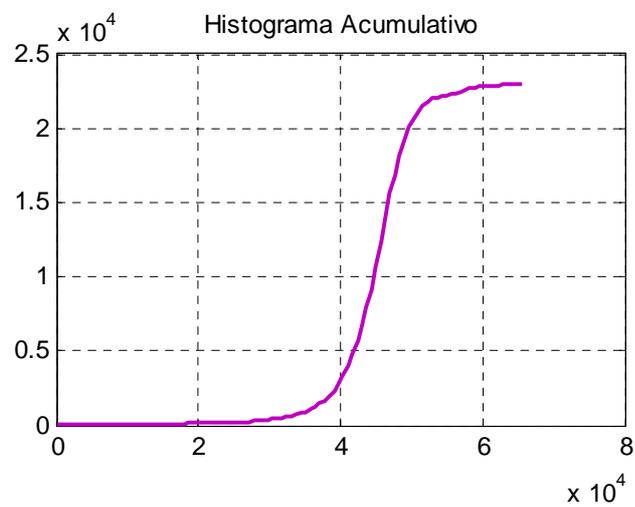
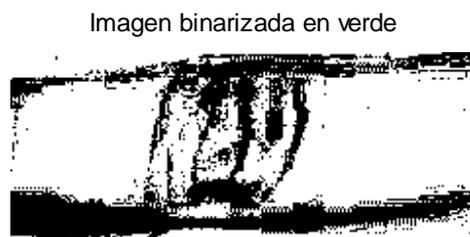


Figura 45. a) Imagen Original del dedo anular – b) Mejorando las líneas del nudillo de la imagen.

La Figura 45 muestra los segmentos de curva más resaltados, dando lugar a la zona de interés que se desea recortar, pero debido a que la imagen no tiene la iluminación uniforme, entonces se trabaja la proporción de colores verde entre rojo, de esta forma se consigue minimizar el efecto de sombras sobre la imagen, y con ayuda del histograma acumulativo se logra obtener un valor automático el cual permite hacer un barrido por encima de ese valor, para dar a lugar la siguiente imagen binarizada en el canal verde (proporción G/R representada en 16 bits).



a)



b)

Figura 46. a) Histograma Acumulativo y b) Imagen tratada y binarizada en el canal verde.

El histograma acumulativo es una variante del histograma normal, el cual refleja información importante para la realización de operaciones pixel por

pixel en imágenes (operaciones de punto), por ejemplo para equilibrar un histograma.

A partir de la Figura 46.a el umbral para binarizar, se obtiene así:

Número de bits de la imagen= Máximo valor del eje y del histograma;

Umbral=30% de los más oscuros.

Después de aplicar la erosión, y eliminar puntos aislados y adelgazamiento de las líneas, se busca hacer un recorte en el ancho del nudillo, se plantea que una buena forma de determinar los límites es analizando la zona media de la imagen, puesto que allí no hay tantas sombras como en las orillas del dedo, es por ello que a continuación se presenta la zona media tratada de la imagen del dedo anular.

sección de la mitad del dedo



Figura 47. Zona media del dedo.

En la anterior figura, se puede visualizar que la zona en la cual se encuentra el nudillo se ve reflejado por algunas líneas, lo cual permite tener un acercamiento a los límites para hacer el recorte en la parte lateral del nudillo. Después de realizar un barrido de derecha a izquierda se encuentra el primer punto de corte y en ese mismo orden de ideas se procede a realizar un segundo barrido de derecha a izquierda para encontrar el segundo punto de corte, dando como resultado, límites para realizar los cortes en los laterales con un cierto offset para evitar que se llega a perder información, todo esto da como resultado la siguiente figura.

NUDILLO ANULAR



Figura 48. Nudillo anular de la articulación interfalángica proximal.

Finalmente se logra tener un nudillo más específico para pasar al siguiente bloque que es la selección de características, que se desarrollará en el capítulo que se presenta a continuación.

VIII. EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS

Dentro de las etapas requeridas para el análisis completo de una imagen, desde su captura hasta la emisión del resultado de procesamiento, la selección de características es considerada como una de las etapas de mayor importancia, debido a que ésta tiene como objetivo principal, elegir la manera de representación que facilite la manipulación de objetos en una computadora, buscando unos rasgos descriptores que capturen las diferencias esenciales entre los objetos pertenecientes a clases distintas y que en lo factible se mantengan lo más independientes posible ante cambios como escalamientos, traslaciones y rotaciones.

En esta capítulo se expondrán las características de las imágenes basadas en la textura de las mismas. Este enfoque se deriva a partir de la percepción visual humana, puesto que a simple vista es posible visualizar que la textura en los nudillos de las manos, es diferente al resto de los dedos es arrugada al estar extendidos, pues los nudillos son producto de las articulaciones y por ende al aplicar luz sobre esta zona, se va a tener mayor oscuridad en los segmentos de curva con respecto a la demás zona, es por ello que todos los

conceptos utilizados van enfocados a obtener estas pequeñas líneas verticales más oscuras, que van a marcar una diferencia medible entre una imagen y otra.

VIII.1 Proceso para la extracción de cada línea que presenta la articulación para cada dedo.

Con la región candidata a la entrada de este bloque se realiza un procesamiento para la extracción de los segmentos de curva verticales obteniendo como resultado las imágenes del bloque de salida mostrado en la siguiente figura.

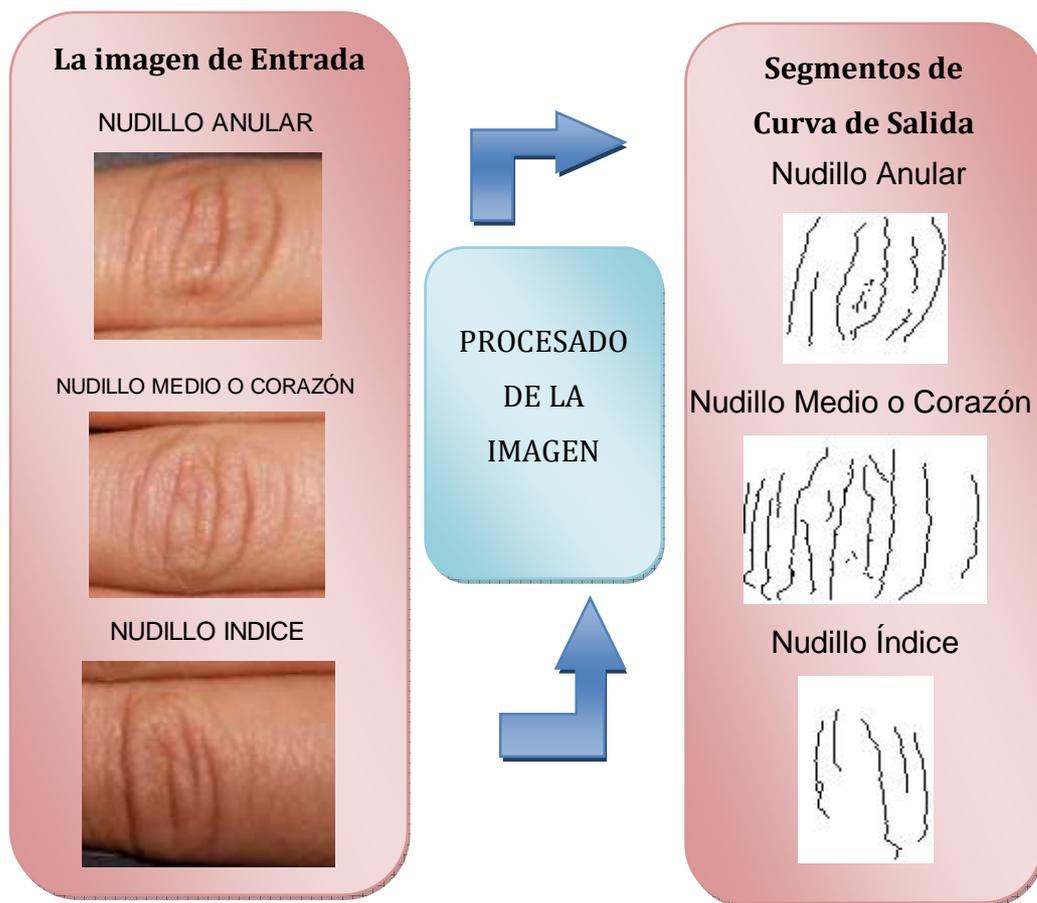
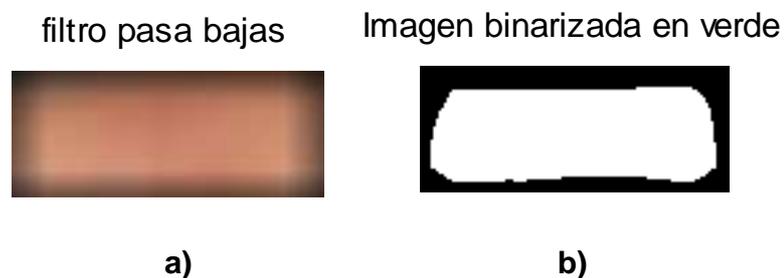


Figura 49. Bloques para la extracción de características de los nudillos para cada dedo por separado.

Tal como se puede observar en el bloque de entrada, las imágenes tienden a tener mucha área sobrante, lo cual se ve reflejado en el nudillo del dedo índice, allí es posible ver que hay un área de piel que no se va a utilizar para el procesado, es por ello que el primer objetivo es perfeccionar la región de los segmentos de curva, buscando tener solo el área de los nudillos, entonces se plantean recortes ya sea en la parte superior, inferior o en sus laterales, si así lo requieren.

VIII.1.1 Recortes

Para realizar los recortes en las imágenes de entrada, se dividieron en recorte superior, inferior y laterales; para el primer tipo de recorte fue necesario utilizar un filtro pasa bajos promedio para suavizar la imagen, éste se utilizó en la mitad de la imagen para evitar tratar información que no es de gran utilidad para el objetivo trazado, seguido de una binarización en el canal verde, esto con el fin de obtener mayor contraste en la zona de interés que es en la parte superior. Para evitar que la figura obtenida como resultado de la binarización tenga algún objeto que perturbe la posterior localización del punto del recorte, se eliminan los elementos aislados, para así obtener una imagen libre de pequeños ruidos que perturben el punto donde se va a indicar el recorte.



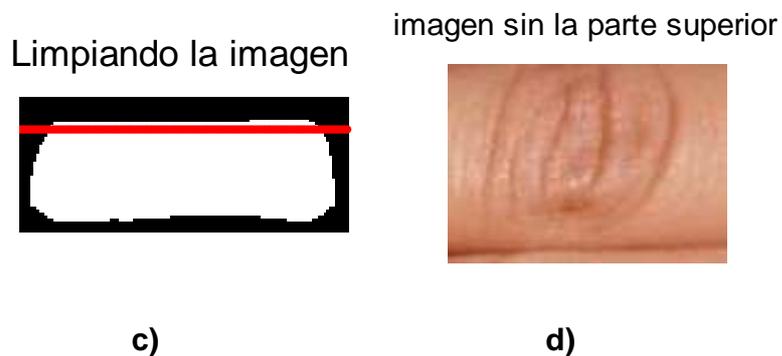


Figura 50. Etapas para el recorte superior de la imagen del nudillo anular.

El procesado del recorte en parte inferior de la imagen de entrada tiene la misma estructura que el recorte superior, recordando que se trabaja con la mitad de la imagen inferior, es así que empleando los mismos pasos se cumple con el recorte.

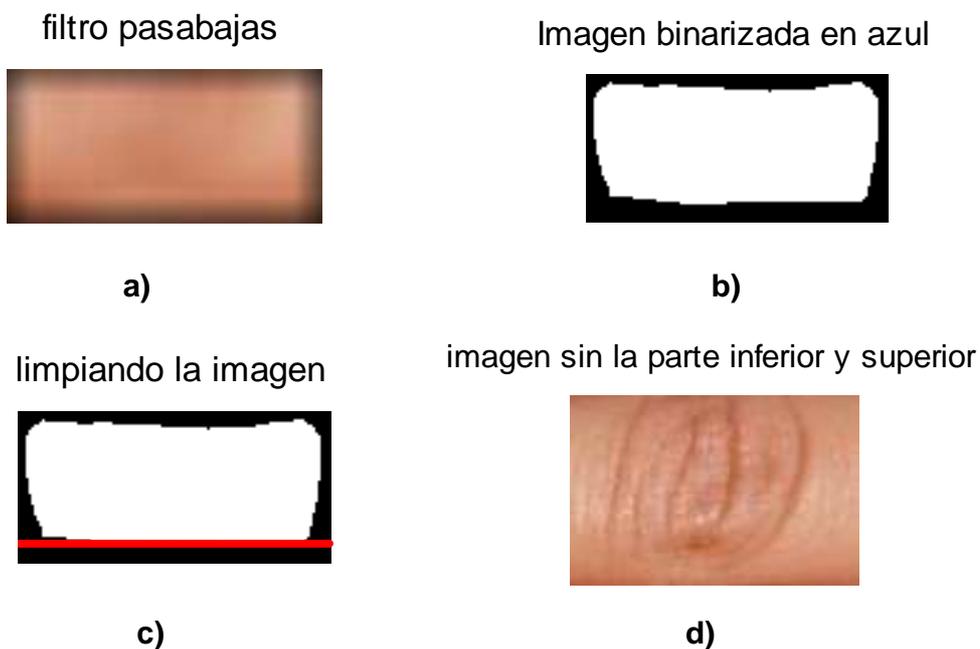


Figura 51. Etapas para el recorte inferior de la imagen del nudillo anular.

Para finalizar la parte de los recortes se tienen los recortes de los laterales de la imagen, para ello se propone algo diferente a lo que se trabajó para los

misma es un impactante pero a la vez complicado fenómeno sobre el cual se han encargado desde hace décadas psicólogos, filósofos, científicos y artistas. Sin embargo en esta parte se abordará una de las técnicas que fue útil para el realce de las líneas de interés.

VIII.1.2 Espacio de color

El uso del color en el procesamiento de imágenes está principalmente motivado por dos factores: [39]

- El color es un poderoso descriptor que, en la mayoría de los casos simplifica la identificación y extracción de los objetos de una escena.
- Los humanos podemos distinguir miles de colores y sin embargo sólo dos docenas de niveles de gris.

Debido a las características del ojo humano y a la teoría tricromática [40], todos los colores que podemos reconocer en una imagen son una combinación de los llamados colores primarios: R (Red/Rojo), G (Green/Verde) y B (Blue/Azul). El objetivo de un modelo de color es facilitar la especificación de los colores de una forma normalizada y aceptada genéricamente. En esencia, un modelo de color es la especificación de un sistema de coordenadas tridimensional y de un subespacio de este sistema en el que cada color queda representado por un único punto.

Entre los espacios de color utilizados más frecuentemente para el procesamiento de imágenes se encuentran el RGB, YIQ, CMY, YCbCr y HSI, CIELAB de los cuales se describirá sobre el RGB y el CIELAB [39].

El modelo RGB es un formato de color aditivo, lo que significa que la combinación de colores se basa en la adición de los componentes

individuales considerando como base el negro. Este proceso puede imaginarse como el traslape de 3 rayos de luz de colores rojo, verde y azul, los cuales son dirigidos hacia una hoja de papel blanco, y cuya intensidad puede ser continuamente controlada. La intensidad de los diferentes componentes de color determina tanto el tono como la iluminación de color resultante. El blanco y el gris o tonalidad de gris son colores primarios RGB [41].

El modelo RGB forma un cubo, cuyos ejes de coordenadas corresponden a los 3 colores primarios R, G y B. los valores RGB son positivos y sus valores se encuentran restringidos al intervalo de $[0, V_{\max}]$, en donde normalmente $V_{\max}=255$. Cada posible color C_i corresponde a un punto dentro del cubo RGB, con las componentes [41]:

$$C_i = (R_i, G_i, B_i)$$

Donde $0 \leq R_i, G_i, B_i \leq V_{\max}$,

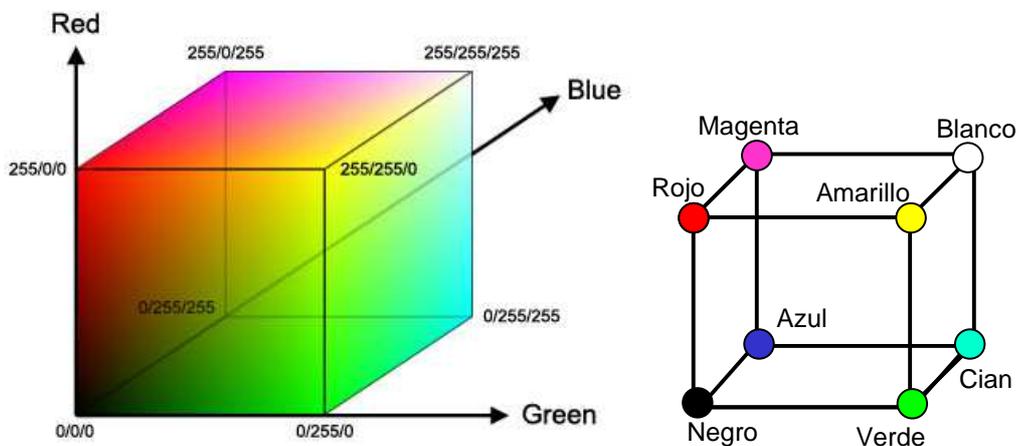


Figura 53. Representación del espacio de color RGB como cubo unitario. Tomado de [42] Basado en [43]

En la anterior Figura se puede observar los valores RGB están en tres vértices; cian, magenta y amarillo se sitúan en otros tres vértices, el negro corresponde al origen y el blanco se sitúa en el vértice más alejado del

origen. En este modelo, la escala de grises se extiende desde el negro al blanco a lo largo de la diagonal que une esos dos puntos, y los colores son puntos dentro del tetraedro definidos por los vectores desde el origen. Por conveniencia, se asume que todos los vectores han sido normalizados, de modo que el tetraedro de la figura es el tetraedro unitario, es decir, todos los valores de R, G y B están en el rango [0,1] [39] tal como se puede ver en la parte b de la Figura 53.

Antes de entrar al modelo CIE LAB es necesario abordar tres conceptos de gran importancia, los cuales generalmente son característicos para poder distinguir un color de otro, los conceptos son: brillo, tono y saturación. El brillo es la luminosidad u oscuridad relativa del color y normalmente se expresa como un porcentaje comprendido entre 0 (negro) y 100 (blanco). El tono es el color reflejado o transmitido a través de un objeto. Se mide como un ángulo en grados, entre 0° y 360° . Normalmente, el tono se identifica por el nombre del color, como rojo, naranja o verde. Por último la saturación, a veces llamada cromatismo, se refiere a la pureza relativa de la cantidad de luz blanca mezclada con el tono, es decir, es la fuerza o pureza del color. La saturación representa la cantidad de blanco que existe en proporción al tono y se mide como porcentaje entre 0%(gris) y 100%(saturación completa). En la rueda de colores estándar, la saturación aumenta a medida que nos aproximamos al borde de la misma. Las coordenadas de tono y saturación definen la cromaticidad, entonces un color puede ser caracterizado por su brillo y cromaticidad [44].

VIII.1.2.1 EL MODELO CIE L*a*b

El modelo L*a*b fue desarrollado bajo la idea de linealizar la relación cambio de posición contra cambio de tonalidad, mejorando de esta manera la forma en cómo el humano percibe estos cambios, haciendo el modelo más intuitivo.

En este modelo de color el espacio se encuentra definido por tres variables L^* que representa la brillantez o la luminancia y va desde 0 (negro) a 100 (blanco), y los componentes de tonalidad a^* y b^* . El valor de a^* define la distancia a lo largo del eje rojo-verde, indicando con valores positivos rojo y valores negativos el verde, mientras que el valor de b^* representa la distancia a lo largo del eje azul-amarillo cuantizada de la misma forma que a^* [41].

En la selección de características de imágenes en color, la elección del espacio de color es de gran importancia como se ha venido ilustrando a lo largo de este apartado, y para el desarrollo de este trabajo se seleccionó el espacio de color CIE L^*a^*b debido a sus tres importantes características:

- Separa la información acromática de la cromática.
- Cuenta con espacio de color uniforme.
- Es similar a la percepción humana [45].

El procesamiento se enfocó con respecto a la luminancia debido a que con ella se tiene la información correspondiente a las zonas blancas (piel sin corrugar) y las zonas negras (segmentos de curva del nudillo) que tiene la imagen. La iluminación correcta es crítica en un sistema de imágenes y una iluminación deficiente puede causar una variedad de problemas haciendo más difícil la interpretación de un objeto en una escena. Además, las sombras también pueden causar cálculos de borde falsos, produciendo medidas inexactas. La iluminación pobre también puede producir una relación señal a ruido baja y hacer tareas como la umbralización más difícil [45].

Con la fundamentación del espacio de color utilizado, se obtiene como resultado la siguiente imagen.

imagen recortada final Imagen resultado del espacio de color



Figura 54. Resultado del espacio de color en el canal de luminancia.

Para obtener el resultado obtenido en la Figura 54 se hace uso de la estructura de transformación de color de SRGB a L^*a^*b , convirtiendo los valores de RGB a L^*a^*b , a partir de comandos disponibles en Matlab versión R2012b.

En la Figura 54, es posible visualizar que el resultado obtenido es un gran realce de los más oscuros de la imagen, este resultado se obtiene nuevamente en el espacio RGB, es por ello que es posible observar los más oscuros con más detalle.

Después de obtener los oscuros de los segmentos de curva, se procede a trabajar la imagen en el canal rojo puesto que es el canal que mayor información brinda en el momento de observar contraste en la imagen, adicional se hace una ecualización del histograma, para un mejor realce en este canal.

imagen en el canal rojo

ecualización



a)

b)

Figura 55. Imagen en el canal rojo y su respectiva ecualización del histograma.

Para depurar ruido que se puede introducir al momento de una binarización, se aplicó un filtrado, pero el éste tiene la característica que fue base de muchos de los artículos que se estudiaron en los antecedentes de esta tesis, y todos coinciden en que es un filtro que ayuda al mejoramiento de los segmentos de curva de los nudillos, este filtro es el que se describe en la siguiente sección.

VIII.1.3 Filtro Gabor

Una herramienta muy útil en el procesamiento de imágenes, es la función de Gabor, las cuales reciben este nombre de Dennis Gabor, quien las propuso en 1946, este es un filtro lineal el cual está enfocado principalmente en aplicaciones como el análisis de texturas, extracción de bordes, y algunas cualidades han orientado su utilización en la restauración de imágenes (mediante el uso de los coeficientes de Gabor) o la eliminación de ruido, [46] todo esto debido a sus óptimas propiedades de localización tanto en el dominio espacial como en el dominio del tiempo [47].

Dennis Gabor investigó la manera en la que se comunican y escuchan los seres humanos. El resultado de estos trabajos fue la primera teoría de la síntesis granular. Gabor también es conocido por haber introducido un filtro conocido ahora como Filtro de Gabor, una variante de la Transformada Fourier. A través de trabajos neurofisiológicos y psicofísicos se ha demostrado que las funciones de Gabor son las que mejor se ajustan al tipo de transformación que producen las células simples del córtex visual siendo el soporte fisiológico de los detectores de frecuencias espaciales orientadas, como se puede apreciar en la siguiente figura [46].

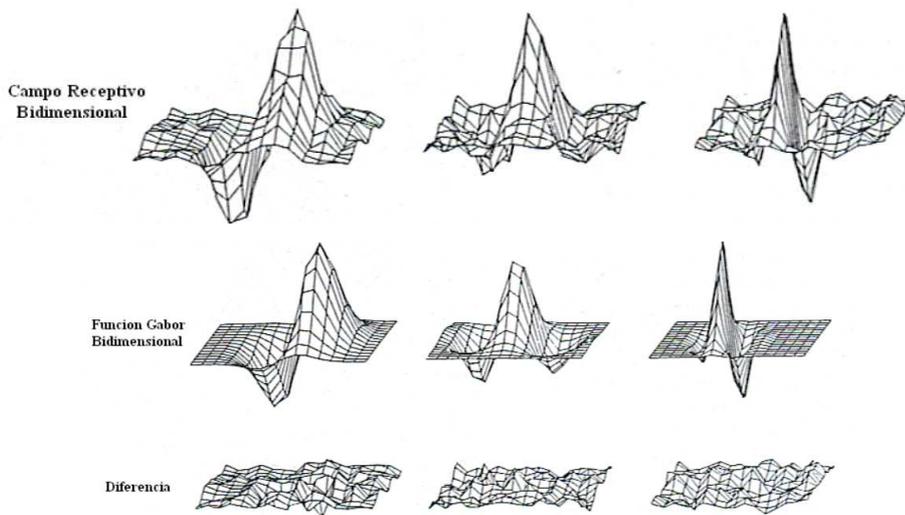


Figura 56. Respuesta ante el impulso de la corteza visual y la función Gabor.
Tomada de la referencia [46].

Los filtros Gabor se definen como un filtro lineal cuya respuesta al impulso es una función Gaussiana núcleo modulada por una onda plana sinusoidal o lo que es equivalente a una exponencial compleja. La principal ventaja que se obtiene al introducir la envolvente Gaussiana es que las funciones de Gabor están localizadas tanto en el dominio espacial como en el de la frecuencia, a diferencia de lo que ocurre con las funciones sinusoidales, que están perfectamente localizadas en el dominio espacial (o temporal) y completamente deslocalizadas en el dominio de la frecuencia, es decir la forma de la Gaussiana está presente tanto en el dominio espacial como de la frecuencia.

Los paquetes de ondas con envolvente Gaussiana muestran cuatro ventajas:

- ✓ Empaquetamiento óptimo de la información
- ✓ Fácil implementación
- ✓ Robustez ante la pérdida de información

- ✓ Plausibilidad neurofisiológica en la modelización del sistema visual humano.

Las funciones de Gabor son funciones que operan en el conjunto de los números complejos, y que la parte real es la función de Gabor simétrica (simetría par). La parte imaginaria es la función de Gabor asimétrica (simetría impar) [48].

La parte real del Filtro Gabor está dada por:

$$g(x, y, \theta, \lambda, \psi, \sigma, \gamma) = e^{\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{x'^2}{\sigma_x^2} + \frac{y'^2}{\sigma_y^2}\right]\right)} \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right) \quad (\text{VIII-1})$$

La parte imaginaria del Filtro Gabor está dada por:

$$g(x, y, \theta, \lambda, \psi, \sigma, \gamma) = e^{\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{x'^2}{\sigma_x^2} + \frac{y'^2}{\sigma_y^2}\right]\right)} \sin\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right) \quad (\text{VIII-2})$$

Las siguientes ecuaciones definen a x' y y' respectivamente así:

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (\text{VIII-3})$$

$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (\text{VIII-4})$$

Donde:

σ : Varianza de la función Gaussiana

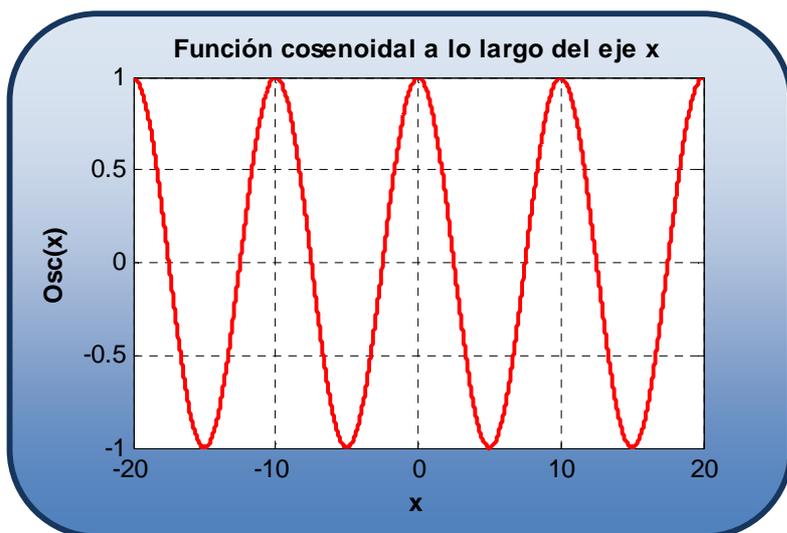
θ : Orientación normal del filtro

λ : Longitud de onda de onda de oscilación

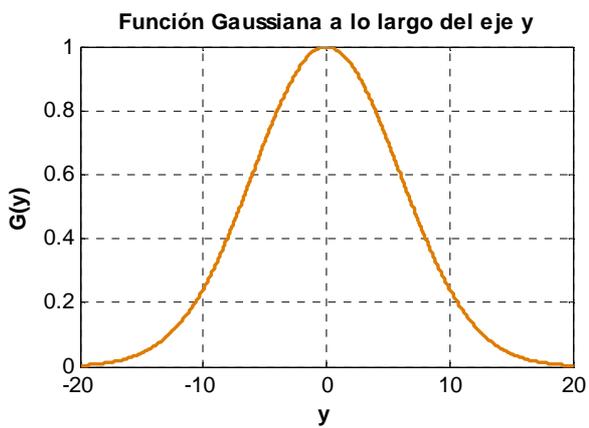
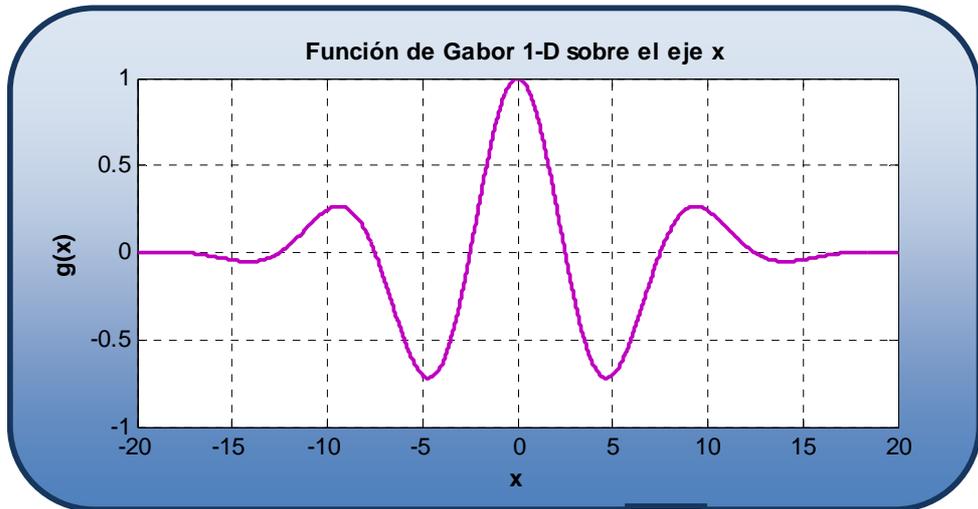
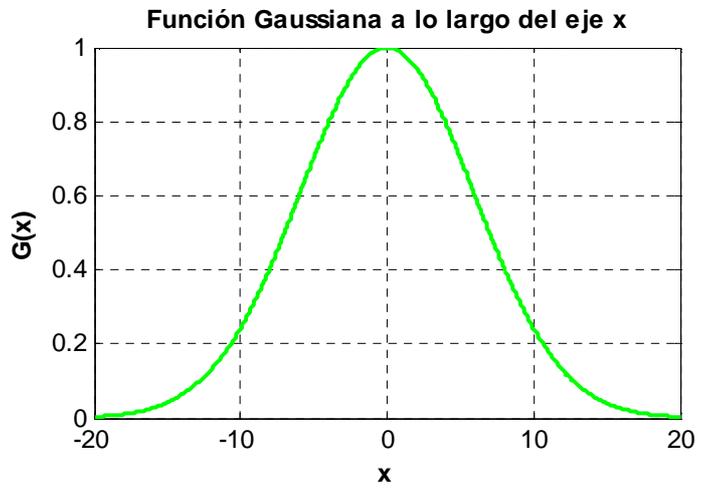
f : Frecuencia central definida a continuación

$$f = \frac{1}{\lambda} \quad \text{(VIII-5)}$$

La función Gabor como se ha venido mencionando y ahora se puede observar matemáticamente, es una composición de una onda sinusoidal plana, a una frecuencia y orientación particular, dentro de una envolvente Gaussiana; la primera parte se comporta como una función de Gabor unidimensional que es un filtro pasa banda y la segunda parte representa la función Gaussiana que es un filtro pasa baja. Por lo tanto un filtro de Gabor bidimensional con simetría par (Filtro Tradicional de Gabor) ejecuta un filtrado pasa baja a través de la orientación θ y un filtrado pasa banda ortogonal a la orientación θ . Las propiedades pasa banda y pasa baja son muy útiles en el mejoramiento de la imagen, debido a que estas imágenes muestran una alteración entre crestas y valles.



M
O
D
U
L
A
D
A



M
O
D
U
L
A
D
A

Representación en el dominio del espacio

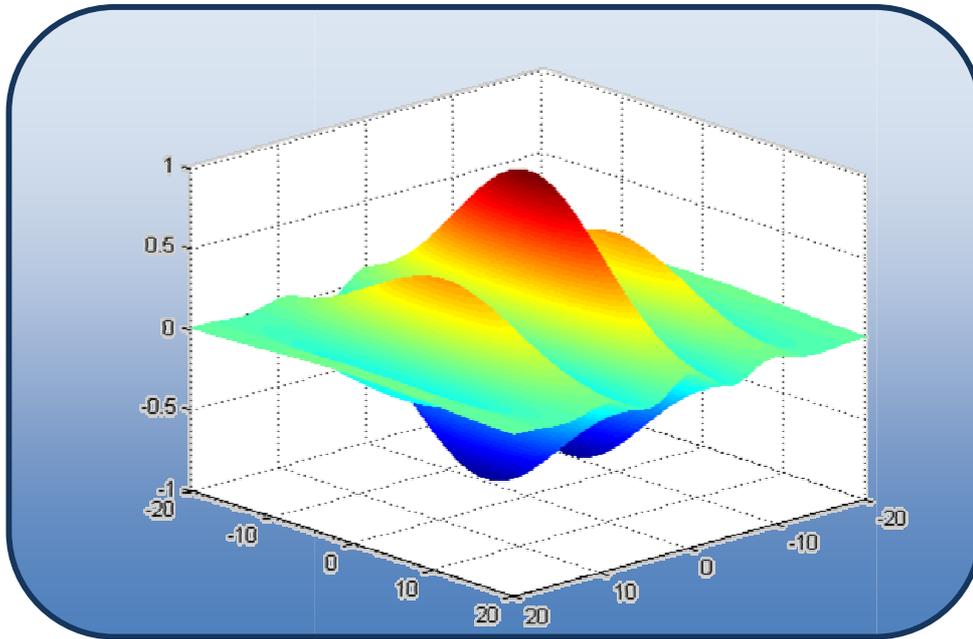


Figura 57. Conformación del Filtro Gabor y su representación en el dominio del espacio.

Con la conformación y representación del filtro Gabor clara, se procede a la construcción del filtro con el ajuste a los siguientes parámetros, $\theta = 0^\circ$, $\sigma_y = 6\sigma_x = 0.53 \lambda = 10$, $\psi = 0$, que son valores propuestos para el proyecto, obteniendo como resultado la siguiente imagen.

Imagen con filtro Gabor



Figura 58. Resultado de la implementación del Filtro Gabor bidimensional en la imagen ecualizada.

Con los segmentos de curva realizados, se divide la imagen por 5 secciones horizontales, de tal forma que se particularice en cada zona, esto se hace debido a que la iluminación de la imagen no es constante, y en las imágenes del dedo índice, se presenta mayor iluminación en la parte superior de la imagen con respecto a la parte inferior; a cada sección se le aplica un ajuste del rango dinámico con el objetivo de obtener una mayor definición de los segmentos de curva, posteriormente a estos bloques se les aplica un multiumbral, el cual cuenta con la propiedad de realizar una separación por colores agrupando las zonas en donde tienen igual tonalidad, para tal fin se utilizaron 3 colores de agrupamiento, amarillo, azul oscuro y cian. Finalmente cada bloque trabajado es unido para formar las siguientes imágenes.

imadjust del canal rojo



Multiumbral del imadjust

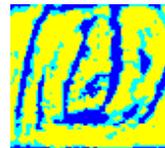


Figura 59. Resultado de aplicar el rango dinámico y el multiumbral por bloques.

Definidos los segmentos de curva se procede a realizar una binarización, en la cual se observan algunos elementos horizontales proporcionalmente pequeños. Por lo que se procede a eliminarlos usando filtro *sobel* para identificarlo y extraerlos, a continuación se muestran las imágenes de todo el proceso realizado.



Figura 60. Proceso de limpieza de la imagen binarizada.

El filtro *sobel* o también conocido como el operador *sobel* utiliza los filtros descritos a continuación:

$$H_x^s = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad H_y^s = \begin{bmatrix} -1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{(VIII-6)}$$

Los filtros anteriores son usados para aproximar las derivadas parciales $\partial I/\partial u$ y $\partial I/\partial v$. De la combinación de estas derivadas parciales según la ecuación:

$$|\nabla I| = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2} \quad \text{(VIII-7)}$$

Se obtiene para cada pixel (u,v) un valor de gradiente. Entonces se dice que un pixel (u,v) corresponde a un borde de la imagen, si el valor de su gradiente es mayor a un umbral preestablecido como criterio, que en este caso es de 0.48, y como la orientación que interesa es la horizontal se toma la máscara H_x^s .

Como se puede observar en la Figura 60 también se realizó una dilatación, la cual se llevo a cabo con el elemento estructurante de tipo rectangulo de medidas 5 de ancho y 2 de alto, lo cual ayuda a reafirmar los elementos que tienen orientación horizontal.

VIII.1.3 Extracción de los más oscuros

En principio se parte de que los segmentos de curva obedecen al ser los más oscuros de la zona, es por ello que lo que se quiere definir es cada línea por separado para representar la línea por los más oscuros renglón por renglón, para cumplir con este objetivo, primero se toma la zona media del nudillo porque los segmentos de curva van a permanecer mayoritariamente en esta franja, es por ello que se realiza un recorte de parte superior e inferior.

Con la imagen recortada en los extremos se propone separar las líneas, para ello se encapsulan en cada ROI que tiene de alto y ancho las dimensiones que tenga la línea que se analiza, esto con el fin de encontrar los puntos de inicio, y así poder hacer el seguimiento al más oscuro.

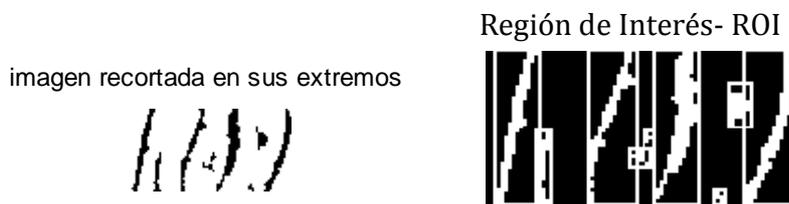


Figura 61. Imagen de entrada para obtener los puntos más oscuros y el respectiva separación de objetos por las regiones de cada línea.

En la anterior figura es posible observar la separación de objetos, esto se hace con el fin de que por cada región de la línea obtenida, se obtenga un punto que indique dónde empezar a hacer un ventaneo para encontrar los puntos más oscuros de esa zona.

Imagen Ecuilizada con los puntos mínimos

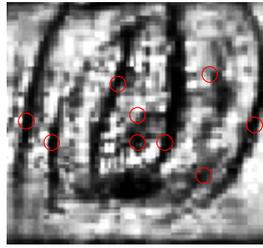
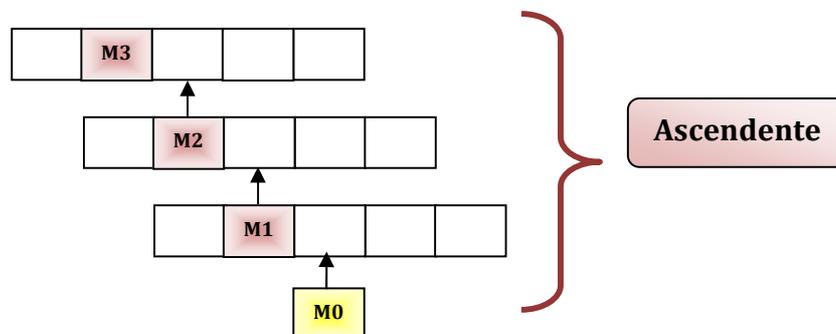


Figura 62. Puntos de inicio para la extracción de los más oscuros.

En la Figura 62 se resalta los puntos mínimos con un círculo rojo indicando que son las posiciones de inicio del ventaneo del cual se hablará más adelante. Haciendo una comparación con las regiones de las líneas extraídas en la Figura 61, es necesario aclarar que por cada zona analizada se obtuvo el punto más oscuro para darle partida al siguiente proceso.

Con el punto de inicio, se procede a hacer una ventana de dos pixeles a la derecha y dos pixeles a la izquierda del punto principal, buscando el mínimo valor de pixel en la ventana de cinco pixeles; después de encontrar este mínimo se asciende en la imagen sobre la coordenada en columna encontrada para el mínimo anterior, de igual manera se trabaja en orientación descendente, encontrando de esta forma el mínimo de cada renglón a partir de ese punto. Para mayor entendimiento del método a continuación se presenta una breve demostración y el resultado obtenido aplicando este método



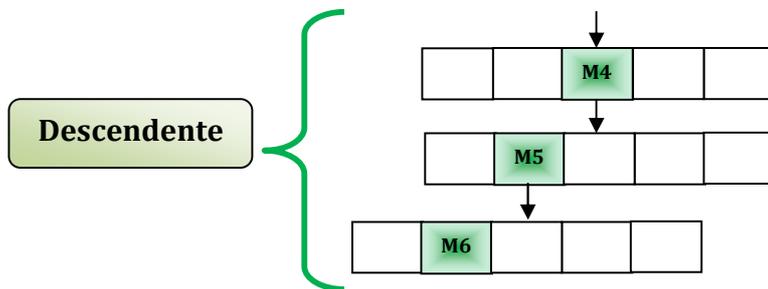


Figura 63. Procedimiento para la extracción del pixel más oscuro.

Imagen con los segmentos de curva



Segmentos de curva superpuesto en la imagen original



Figura 64. Resultado de la extracción del pixel más oscuro y superposición con la imagen ecualizada.

Debido a que muchas veces el pixel más oscuro siguiente no está cercano al pixel anterior, por el ancho de la ventana, se hace necesario conectar los que están desprendidos para que no parezcan puntos aislados, pues estos presentan conectividad realmente, dando como resultado una imagen más compacta.

Obligando a un solo pixel



Figura 65. Sin puntos sueltos.

Como el objetivo es obtener los segmentos de curvas, como una línea que permita una representación de cada dedo, se propone obtener líneas sin derivaciones, para ello se planteó, un proceso que analice cada línea por separado de la imagen anterior, de tal forma que encontrara solo las terminaciones, si en la línea analizada se presenta más de dos terminaciones, es porque hay una derivación y se procede a desprenderse para convertirlas en dos líneas separadas. A continuación en la imagen anterior, se ilustra una posible derivación que en la imagen resultado, ya no se encuentra

Obligando a un solo pixel

Imagen completa sin los puntos de derivaciones



Figura 66. Imagen sin derivaciones.

Como es posible observar en la imagen anterior, hay líneas que son de longitud larga comparada con otras líneas que tienen longitud de hasta 5

pixeles, un ejemplo de líneas de longitud corta se señala en la Figura 66 con un círculo rojo, la cual no proporciona suficiente información y a su vez podría tratarse de ruido, es por ello que el siguiente paso antes de la clasificación es limpiar la imagen de posibles segmentos que sean poco significativos, es por ello que segmento menores a un sexto de la longitud más larga no se consideran, porque líneas cortas tienden a ser menos profundas y por ende menos representativas.

Sin longitudes pequeñas



Figura 67. Imagen sin derivaciones.

IX. IDENTIFICACIÓN

Para este capítulo, se contó con una base de datos de los nudillos de los tres dedos para cada persona, estos con el fin de poder hacer una comparación con las imágenes que van a utilizarse como prueba para el procesamiento.

Este capítulo se puede dividir en 3 partes fundamentales:

- ✓ Lectura de las imágenes de la base de datos
- ✓ Lectura de la imagen de prueba
- ✓ Comparación de las imágenes

XI.1 Lectura de la imagen de base de datos.

En esta sección el objetivo es describir el proceso para cada una de las 128 imágenes que se tienen en la base de datos. De cada imagen se sacan las 5 primeras líneas, contando de izquierda a derecha, tal como se muestra en la siguiente figura.

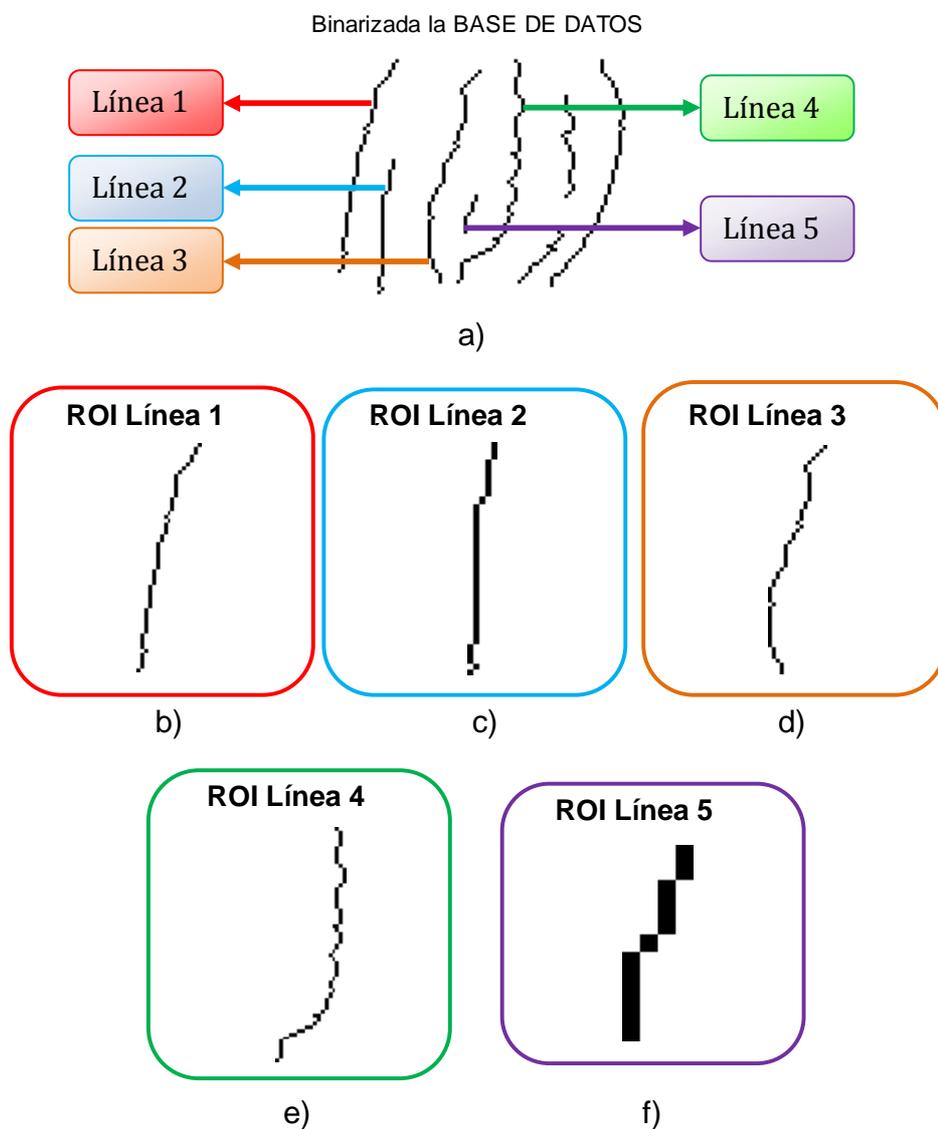


Figura 68. a) Imagen de la base de datos señalando el orden de las líneas b-f) Las regiones de cada línea seleccionadas para la comparación.

XI.2 Lectura de la imagen de prueba.

Debido que al momento de realizar la captura de imágenes, la iniciativa era tener una imagen para la base de datos y otra para probar, entonces se procede a trabajar con la imagen de prueba; la cual cuenta con el mismo procesamiento de la de segmentación y características, obteniendo como resultado la siguiente imagen.



Figura 69. Imagen de prueba

Como se puede observar la Figura 68-a y Figura 69 no son exactamente iguales, pues en la imagen anterior hay presente más ruido, adicional, los recortes de ambas imágenes no son exactamente iguales, por la forma en como se llevó a cabo los recortes de la imagen puede tener variaciones de posición principalmente.

Con la finalidad de una comparación entre las dos imágenes (Base de Datos y Prueba) realizarlo con un pixel de ancho por cada línea en ambas imágenes, sería reducir las posibilidades de que ambas imágenes tengan un acoplamiento exacto, es por tal motivo que se propone una erosión de la imagen de prueba con un elemento estructural tipo línea horizontal de ancho 3 pixeles, a continuación se muestra el resultado de la operación.

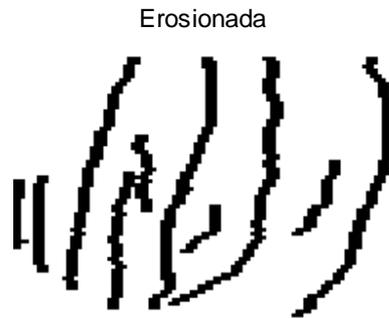


Figura 70. Imagen de prueba erosionada.

Con la imagen de prueba erosionada un pixel a cada lado del pixel principal se procede a la parte de acoplamiento de la imagen, para ello se propone utilizar las regiones de cada línea obtenidas de la base de datos en la sección anterior, éstas son trasladadas por la mitad de la imagen, debido a que las líneas obtenidas en la base de datos se van a encontrar en la primera parte de la imagen. La siguiente imagen muestra la zona en donde se va a realizar el acople de las cinco primeras líneas de la base de datos.



Figura 71. Mitad de la imagen de prueba erosionada.

XI.4 Obtención de la matriz de correlación

Con la mitad de la imagen lista para encontrar el mejor empalme de la imagen se procede a desplazar cada línea a través de la imagen anterior, por cada desplazamiento que se va haciendo a lo largo y ancho de la imagen de

prueba, se va obteniendo la correlación de la línea de la base de datos con la sección de la imagen de prueba, de tal forma que se obtenga una matriz de correlación por cada coordenada analizada.

Para mayor claridad del párrafo anterior a continuación se presenta la siguiente figura en donde se explica la obtención de la matriz de correlación, y adicional se presenta un pseudocódigo para mayor comprensión del barrido que se realiza.

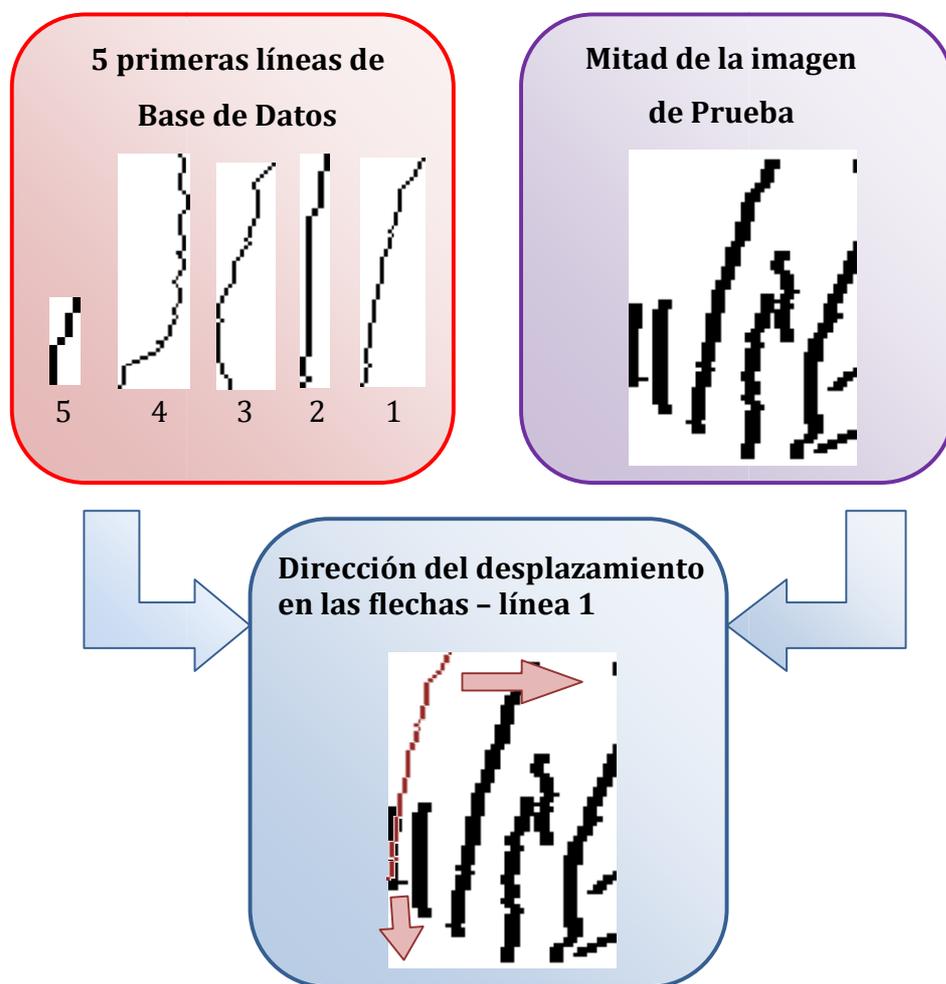


Figura 72. Procedimiento para obtener la matriz de correlación

Como se puede observar en la anterior figura, hasta 5 líneas de la imagen de la base de datos, se encapsulan en cajas y se realiza un barrido de cada

línea en la imagen de prueba y por cada desplazamiento que va haciendo la línea de base de datos se tendrá una posición y un valor de correlación del mismo.

Función: Matriz de coeficientes de correlación

[r , c] = | Imagen_prueba |

[rc, cc] = | Línea de Base de Datos |

for col= 1: c/2-cc

for ren=1: r/2-rc

correlacion(Imagen_prueba,Linea de Base de Datos) %

end

end

Se obtendrá hasta 5 matrices de correlación porque cada matriz indica cada línea de la base de datos empalmada con la imagen de prueba en su respectivo barrido a lo largo y ancho de la misma. A continuación se muestra la siguiente figura para que haya mayor claridad en la obtención de la matriz.

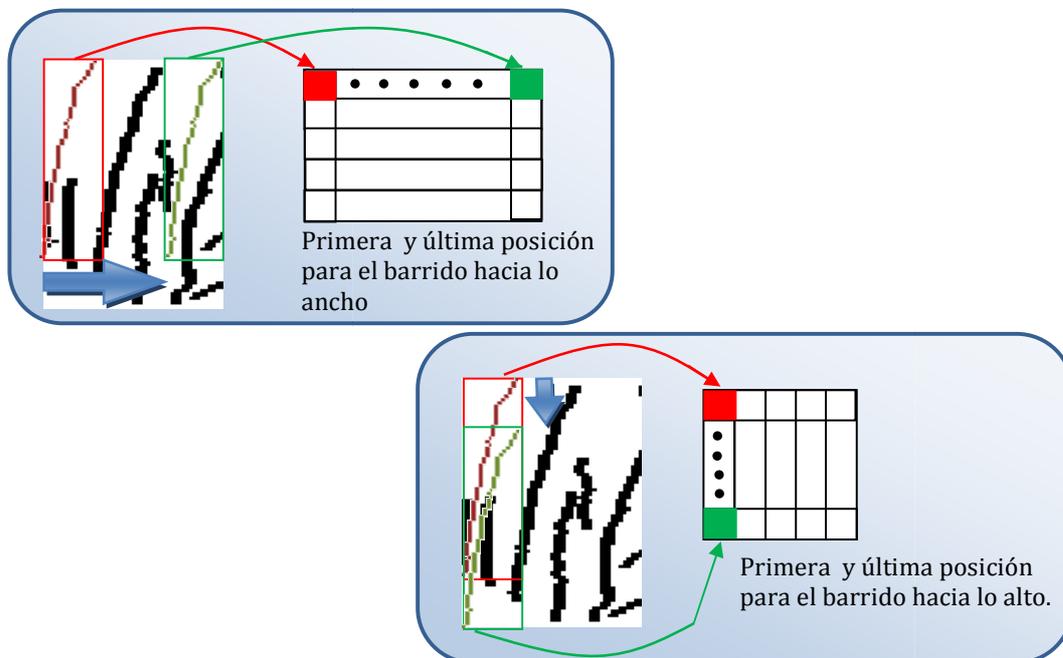


Figura 73. Obtención de la matriz de correlación

Después de obtener la matriz de correlación de cada línea se registra el máximo por cada renglón, del cual se mencionará en la siguiente sección.

XI.3 Comparación

Para esta sección se utilizó la correlación, como modelo para realizar la comparación entre imágenes; A continuación se presenta una breve descripción sobre el tema.

La función de correlación se puede ver como una medida de similitud entre señales o imágenes. Una de sus aplicaciones puede ser la detección de una señal de interés dentro de otra [34].

✓ Correlación en una dimensión

La función de correlación en una dimensión se define como: [34]

$$f(t) \circ g(t) = R_{fg}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t - \tau) \quad (\text{IX-1})$$

O bien

$$R_{fg}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t + \tau) \quad (\text{IX-2})$$

✓ Correlación en dos dimensiones

La correlación en dos dimensiones en su forma discreta de funciones reales se define como: [34]

$$f(x, y) \circ g(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n)g(m + x, n + y) \quad (\text{IX-3})$$

La correlación en dos dimensiones tiene las mismas propiedades que la correlación en una dimensión. Para este trabajo se obtienen los resultados de la correlación hecha entre las líneas de la base de datos y la mitad de la imagen de prueba en una matriz, de la cual se extrae el máximo por cada

renglón, obteniendo como resultado final de la correlación amplificada en un valor de mil (1000) por región de cada línea dado así.

Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5
340	260	260	170	320		350			550
360	240	260	160	420		330			580
370	250	260	170	630		310			530
380	250	250	160	630		300			460
370	250	270	150	630		280			440
360	260	260	150	580					440
360	270	250	150	580					420
340	290	240	140	470					350
310	300	210	150	440					370
310	320	170	150	460					390
310	330	150	140	420					420
300	340	140	130	440					370
270	360	160		480					380
290	370	130		530					380
280	380	140		480					380
	390			500					540
	400			460					610
	400			480					540
	400			500					270
	400			450					380
	400			540					260
	400			500					380
	400			550					450
	400			530					420
	430			530					330
	400			550					380
	420			540					260
	420			500					410
	450			440					320
	410			400					260
	410			480					380
	370			500					260



Tabla 1. Correlación máxima por renglón, para las 5 líneas de base de datos

Con la tabla de las líneas en su máxima correlación por renglones se procede a organizar las posiciones en donde fueron encontradas estas correlaciones máximas amplificadas por 1000, para que haya mayor discriminación entre los valores. A continuación se presenta solamente la primera línea puesto que para las demás es el mismo procedimiento, obteniendo coordenadas con la respectiva correlación.

x	y	Correlación
1	15	340
2	15	356
3	14	374
4	14	382
5	14	372
6	14	356
7	13	356
8	13	338
9	12	310
10	12	313
11	12	306
12	12	299
13	11	273
14	11	286
15	11	279

Tabla 2. Correlación amplificada con las respectivas coordenadas donde se dio esa correlación.

En la tabla anterior, es posible visualizar que en la segunda columna (y) se repiten varios valores, es por ello que se procede a organizar la tabla de tal

forma que queden sin valores repetidos tal como se muestra en la siguiente tabla.

x	y	Correlación
2	15	356
4	14	382
7	13	356
10	12	313
14	11	286

Tabla 3. Un valor por columna,

Con esta tabla, se procede a tratar las imágenes de prueba y de base de datos del mismo ancho y del mismo alto, a partir de la coordenada encontrada para la primera línea de base de datos, para una mejor comprensión a continuación se muestra la siguientes figuras.



Figura 74. Acoplamiento de las imágenes según las coordenadas de la tabla.

En la imagen anterior, es posible observar tres colores, el primero es el rojo, que indica que es la imagen de base de datos, el segundo, es el color verde,

este muestra la imagen de prueba y por último esta el color amarillo el cual muestra los pixeles que empatan. Al realizar esta superposición de imágenes a partir de las coordenadas obtenidas en la tabla 4, se va obteniendo una correlación máxima de toda la imagen, dando como resultado la siguiente tabla.

Correlación
25
29
23
15
10

Tabla 4. Correlación de la imagen total amplificada en 100.

De la tabla anterior es posible concluir que la correlación más alta es 29, la cual tiene unas coordenadas de acople de $([14\ 4])$, [columna, renglón] para finalmente obtener el mejor acoplamiento mostrado en la siguiente figura.

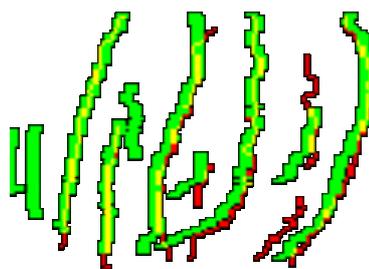


Figura 75. Mejor acoplamiento.

También se propone analizar cada línea por separado, es decir que a partir de las líneas de la base de datos, se hace un barrido de toda las líneas que esta contiene, analizando qué tanta correlación presenta la línea con la línea

de prueba, para de esta forma saber cuantas posibles líneas concuerdan dentro de la imagen; finalmente se propuso una matriz en donde se almacenen los valores más importantes para la imagen que se está probando, a continuación se muestran las variables que se almacenaron.

1. Número de la imagen de base de datos que se analiza.
2. Número de la imagen de prueba que se está analizando.
3. Número de la línea de la base de datos que se esta analizando.
4. Coordenada x de la base de datos para el acople de ambas imágenes.
5. Coordenada y de la base de datos para el acople de ambas imágenes.
6. Coordenada x de prueba para el acople de ambas imágenes.
7. Coordenada y de prueba para el acople de ambas imágenes
8. Correlación entre las dos imágenes.
9. Número de líneas compatibles.
10. Número de líneas totales de la imagen base de datos.
11. Número de líneas totales de la imagen de prueba.

La matriz completada para la cantidad de imágenes que se tienen en la base de datos, se procede a analizar la columna de la correlación, de donde se extrae el máximo de ésta que sea por encima de 0.2, y truncando este decimal se procede a obtener los valores superiores al mismo, que para la imagen que se ha venido trabajando se tendría el siguiente resultado

Resultados dedo anular
6.00
6.00
2.00
25.00
30.00
14.00
31.00
0.37



5.00
8.00
10.00

Tabla 5. Resultados para la extracción de candidatos.

Con la anterior tabla se puede concluir de la segunda fila para la imagen 6 de prueba del dedo anular solo existe un posible candidato que es la imagen 6 de la base de datos, siguiendo este orden de ideas, se realiza el mismo procedimiento para los dedos corazón e índice, presentando los siguientes resultados.

Resultados dedo Corazón		Resultado dedo Índice	
6.00		6.00	
6.00	← Candidato Corazón	6.00	← Candidato Índice
5.00		1.00	
18.00		10.00	
62.00		22.00	
18.00		9.00	
63.00		24.00	
0.33		0.32	
8.00		4.00	
14.00		5.00	
10.00		8.00	

Tabla 6. Resultados para la extracción de candidatos

Con las tablas 5 y 6 es posible visualizar que en las segundas filas de cada tabla hay una flecha que resalta esta posición para indicar que en los resultados esta posición siempre va indicar los candidatos para la imagen que se está analizando, en este caso los candidatos para dedo anular,

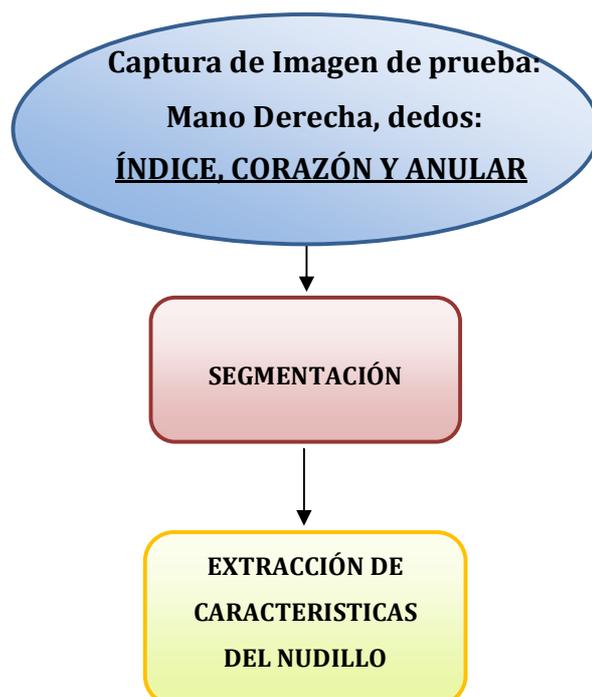
corazón e índice, presentan el mismo candidato para los tres dedos, que es la imagen 6 de la base de datos.

Con estos resultados de cada tabla, el programa presenta a la persona asignada a la imagen número 6 de los registros obtenidos, como una persona plenamente identificada por tener todas las coincidencias posibles, lo cual significa que es mismo candidato para los tres dedos.

Una persona no se logra identificar cuando el coeficiente de correlación es inferior a 0.1 en todos los dedos, es allí cuando se dice que esa persona no se encuentra registrada en la base de datos, porque no encontró una similitud alta con ninguna imagen guardada.

X. RESULTADOS

Haciendo un recuento del procesado para cada imagen de prueba, se presenta la siguiente figura, en donde se puede observar el mecanismo para la identificación de un total de 128 personas en la base de datos, este diagrama resalta los pasos fundamentales para cumplir con el objetivo.



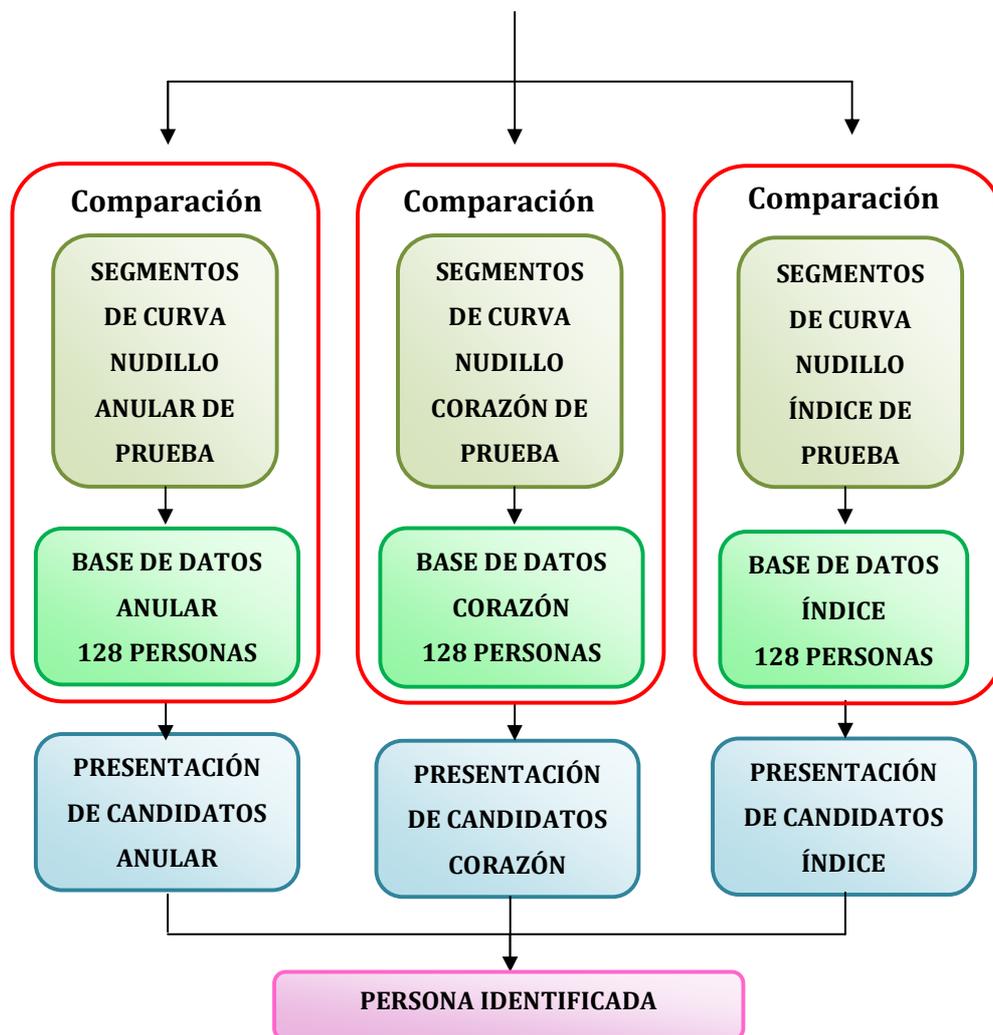


Figura 76. Procesado de la imagen de prueba hasta la identificación de la misma.

IMÁGENES DE PRUEBA	IMÁGENES RESULTADO	CONFIANZA
001	001	3/3
002	002	2/3
003	003	3/3

004	004	3/3
005	005	2/3
006	006	3/3
007	007	3/3
008	008	2/3
009	009	2/3
010	010	3/3
011	011	3/3
012	012	3/3
013	013	3/3
014	014	3/3
015	015	2/3
016	016	2/3
017	017	3/3
018	018	2/3
019	019	3/3
020	020	3/3
021	021	3/3
022	022	2/3
023	023	3/3
024	024	3/3
025	025, 090	No concluyente

Tabla 7. Paquete 1 de 25 imágenes de prueba analizadas.

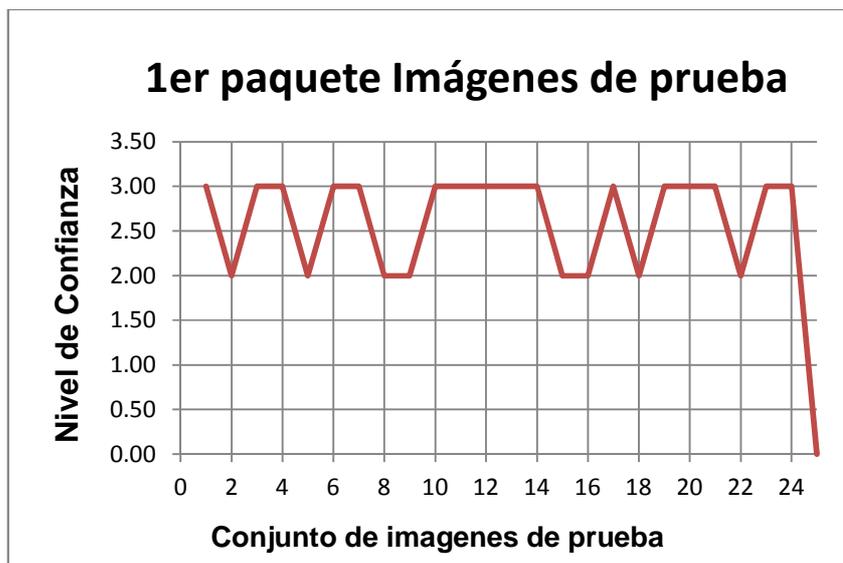


Figura 77. Gráfica del paquete 1 de 25 imágenes de prueba analizadas

IMÁGENES DE PRUEBA	IMÁGENES RESULTADO	CONFIANZA
026	026	3/3
027	027	3/3
028	028	2/3
029	029	3/3
030	030	3/3
031	031	1/3
032	032	3/3
033	033	3/3
034	034	3/3
035	035	3/3
036	089	3/3
037	037	2/3
038	038	3/3

039	039	2/3
040	040	2/3
041	041	3/3
042	042	3/3
043	043	3/3
044	044	3/3
045	045	2/3
046	046	3/3
047	047	2/3
048	048, 076	No concluyente
049	049	3/3
050	050	3/3

Tabla 8. Paquete 2 de 25 imágenes de prueba analizadas.

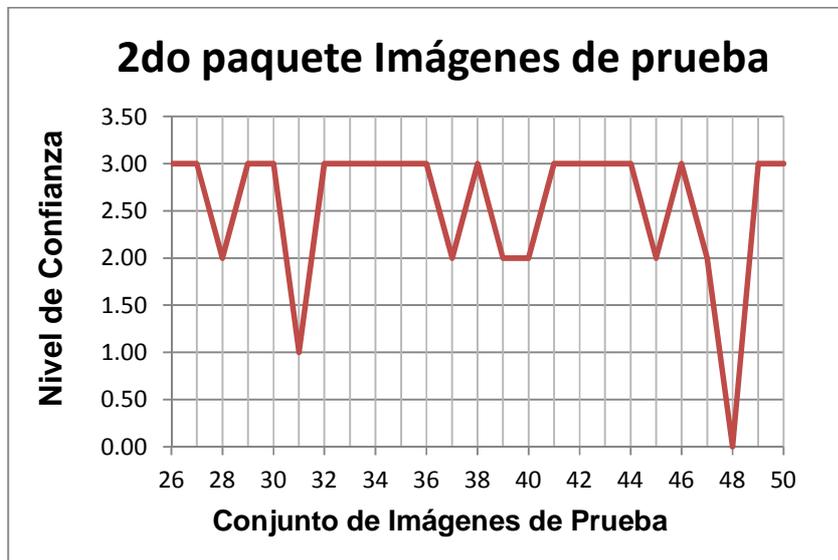


Figura 78. Gráfica del paquete 2 de 25 imágenes de prueba analizadas

IMÁGENES DE PRUEBA	IMÁGENES RESULTADO	CONFIANZA
051	051	3/3
052	052	3/3
053	059	3/3
054	053	3/3
055	054	2/3
056	055	3/3
057	056	3/3
058	057	2/3
059	058	1/3
060	060	3/3
061	061	3/3
062	062	2/3
063	063	2/3
064	064	2/3
065	065	3/3
066	066	3/3
067	067	2/3
068	068	2/3
069	069	2/3
070	070	3/3
071	071	3/3
072	072	3/3
073	073	3/3
074	074	3/3
075	075	3/3

Tabla 9. Paquete 3 de 25 imágenes de prueba analizadas.

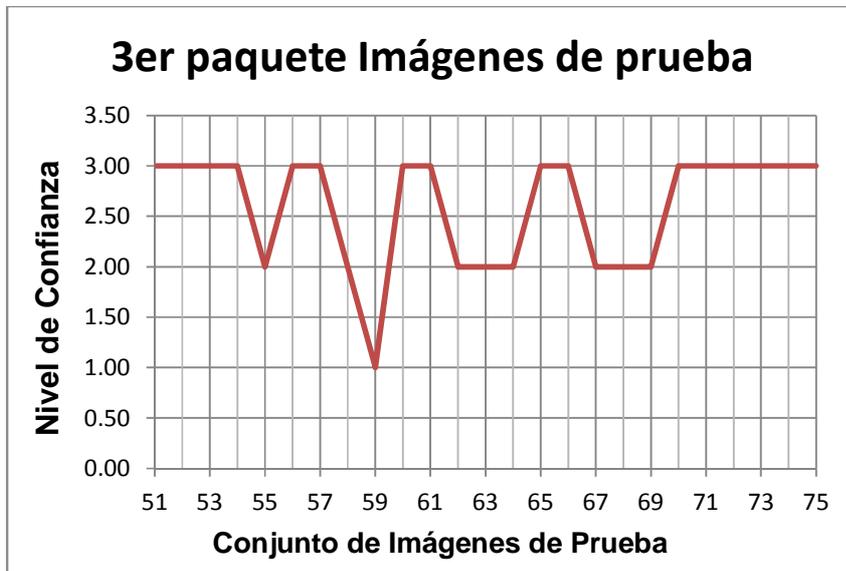


Figura 79. Gráfica del paquete 1 de 25 imágenes de prueba analizadas

IMÁGENES DE PRUEBA	IMÁGENES RESULTADO	CONFIANZA
076	076	3/3
077	077	3/3
078	078	3/3
079	079	3/3
080	080	3/3
081	081	2/3
082	082	3/3
083	020	Incorrecto
084	084	2/3
085	085	3/3
086	086	2/3
087	087	3/3
088	056,018, 042	No concluyente

089	089	3/3
090	090	3/3
091	091	3/3
092	092	3/3
093	093	3/3
094	094	2/3
095	095	3/3
096	096	2/3
097	097	3/3
098	098	2/3
099	099	3/3
100	100	3/3

Tabla 10. Paquete 4 de 25 imágenes de prueba analizadas.

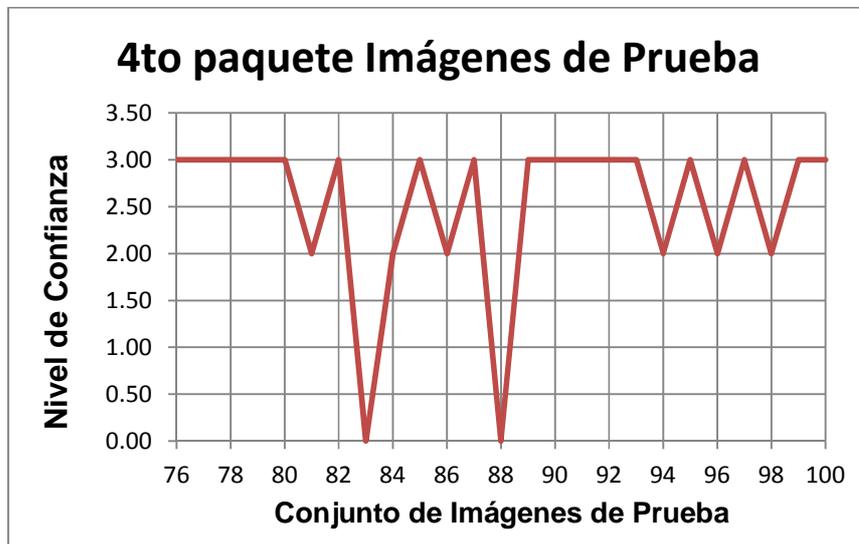


Figura 80. Gráfica del paquete 3 de 25 imágenes de prueba analizadas

IMÁGENES DE PRUEBA	IMÁGENES RESULTADO	CONFIANZA
101	101	2/3
102	102	3/3
103	103	2/3
104	104	3/3
105	105	2/3
106	106	1/3
107	107	2/3
108	108	2/3
109	109	3/3
110	110	3/3
111	111	3/3
112	112	3/3
113	113	2/3
114	114	1/3
115	073	3/3
116	116	3/3
117	117	3/3
118	118	3/3
119	119	3/3
120	120	3/3
121	121	2/3
122	122	2/3
123	123, 006	No concluyente
124	124	2/3
125	125	3/3

Tabla 11. Paquete 5 de 25 imágenes de prueba analizadas.

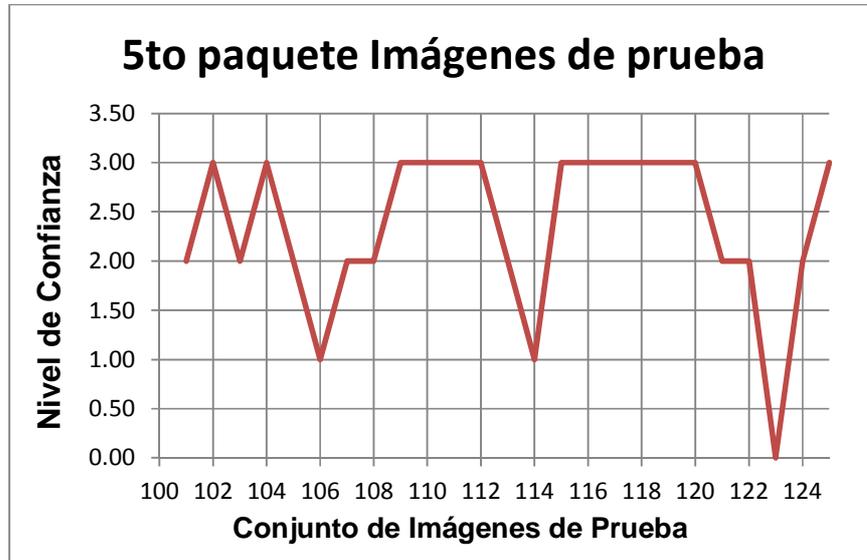


Figura 81. Gráfica del paquete 5 de 25 imágenes de prueba analizadas

IMÁGENES DE PRUEBA	IMÁGENES RESULTADO	CONFIANZA
126	126	3/3
127	127	3/3
128	128	3/3
130	088	3/3
131	025	1/3
132	083	2/3
133	106	2/3
134	059	Incorrecto
135	106,112	No concluyente
136	088	3/3
137	114	3/3
138	114	3/3
139	114	3/3

140	115,112	No concluyente
141	115	3/3
142	123	3/3
143	123	3/3
144	84,127,123	No concluyente
145	012	3/3
146	017	2/3
147	019	3/3
148	036	3/3
149	036	2/3
150	036	3/3
151	036	3/3

Tabla 12. Paquete 6 de 25 imágenes de prueba analizadas.

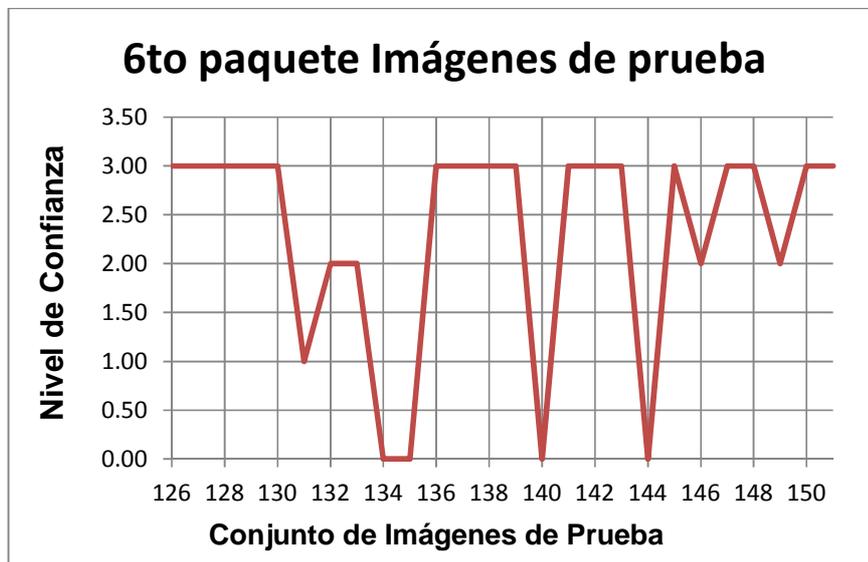


Figura 82. Gráfica del paquete 6 de 25 imágenes de prueba analizadas

IMÁGENES DE PRUEBA	IMÁGENES RESULTADO	CONFIANZA
152	128	3/3
153	128	2/3
154	043	3/3
155	045	3/3
156	045	3/3
157	045	2/3
158	045	2/3
159	045	2/3
160	055	2/3
161	061	1/3
162	065	1/3
163	066	2/3
164	067	3/3
165	068	3/3
166	073	3/3
167	075	3/3
168	076	2/3
169	079	3/3
170	079	3/3
171	079	3/3
172	079	2/3
173	084	2/3
174	093	2/3
175	093	3/3
176	093	2/3

Tabla 13. Paquete 7 de 25 imágenes de prueba analizadas.

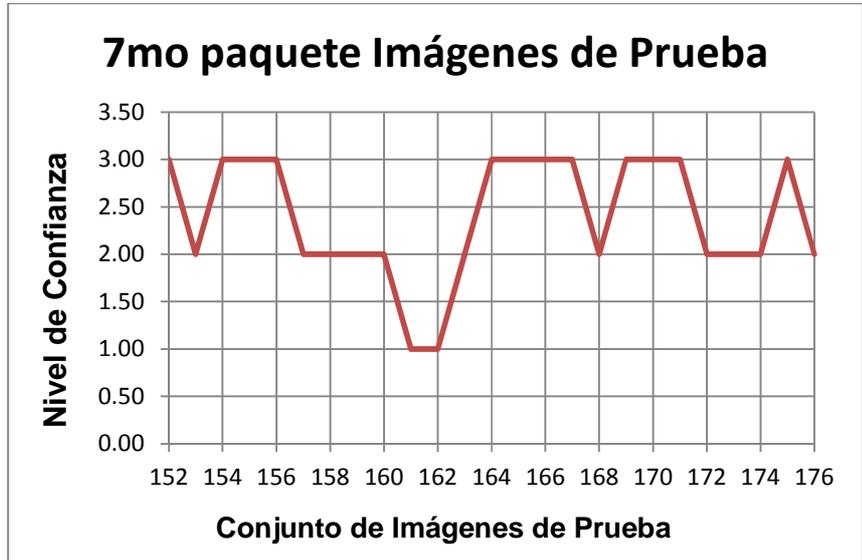


Figura 83. Gráfica del paquete 7 de 25 imágenes de prueba analizadas

IMÁGENES DE PRUEBA	IMÁGENES RESULTADO	CONFIANZA
177	092	3/3
178	094	3/3
179	096	3/3
180	097	3/3
181	098	2/3
182	099	3/3
183	099	3/3
184	100	3/3
185	101	3/3
186	101	2/3
187	102	3/3
188	103,110	No concluyente

189	103	2/3
190	104	2/3
191	104	2/3
192	105	2/3
193	105	3/3
194	107	3/3
195	107	3/3
196	108,078	No concluyente
197	108	1/3
198	108	2/3
199	109	2/3
200	109	3/3
201	109	2/3

Tabla 14. Paquete 8 de 25 imágenes de prueba analizadas.

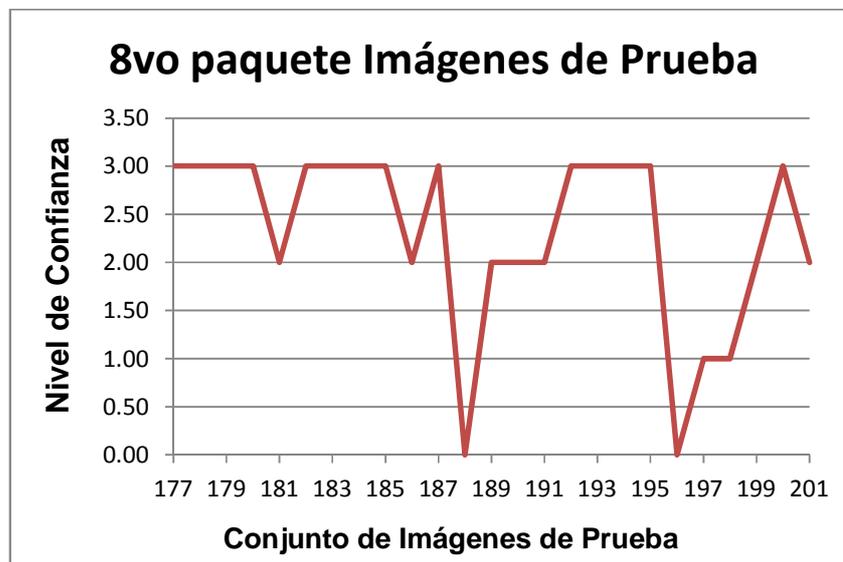


Figura 84. Gráfica del paquete 8 de 25 imágenes de prueba analizadas

IMÁGENES DE PRUEBA	IMÁGENES RESULTADO	CONFIANZA
202	110	3/3
203	110	3/3
204	111	2/3
205	111	3/3
206	111	3/3
207	112	3/3
208	112	3/3
209	112	3/3
210	113	2/3
211	113	3/3
212	116	3/3
213	116	3/3
214	116	3/3
215	117	3/3
216	117	3/3
217	118	3/3
218	118	2/3
219	119	3/3
220	119	3/3
221	120	3/3
222	120	2/3
223	121	3/3
224	073	3/3
225	122,099	No concluyente
226	122	3/3

Tabla 15. Paquete 9 de 25 imágenes de prueba analizadas.

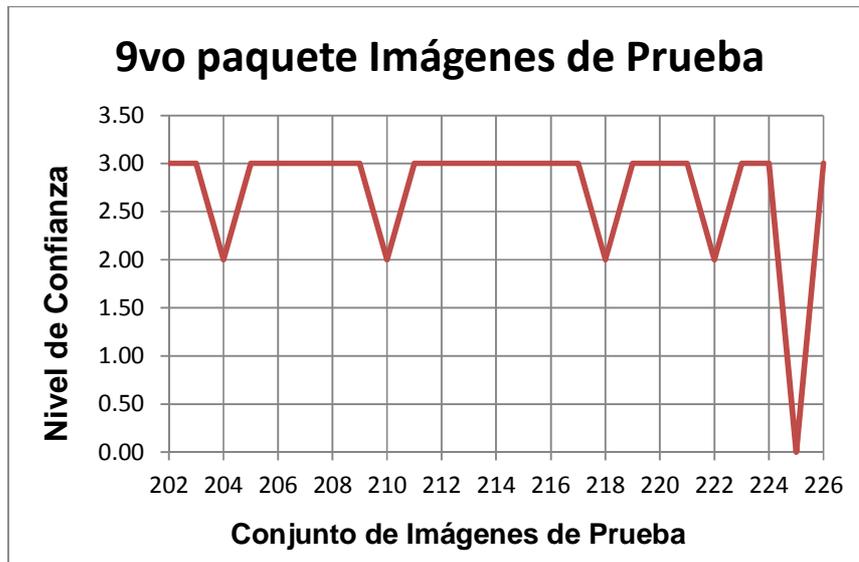


Figura 85. Gráfica del paquete 9 de 25 imágenes de prueba analizadas

IMÁGENES DE PRUEBA	IMÁGENES RESULTADO	CONFIANZA
227	124	3/3
228	124	2/3
229	124	3/3
280	124	3/3
231	125	2/3
232	125	2/3
233	125	3/3
234	126	2/3
235	126,035	No concluyente
236	127	2/3
237	127	2/3
238	089	3/3

Tabla 16. Paquete 10 de 11 imágenes de prueba analizadas.

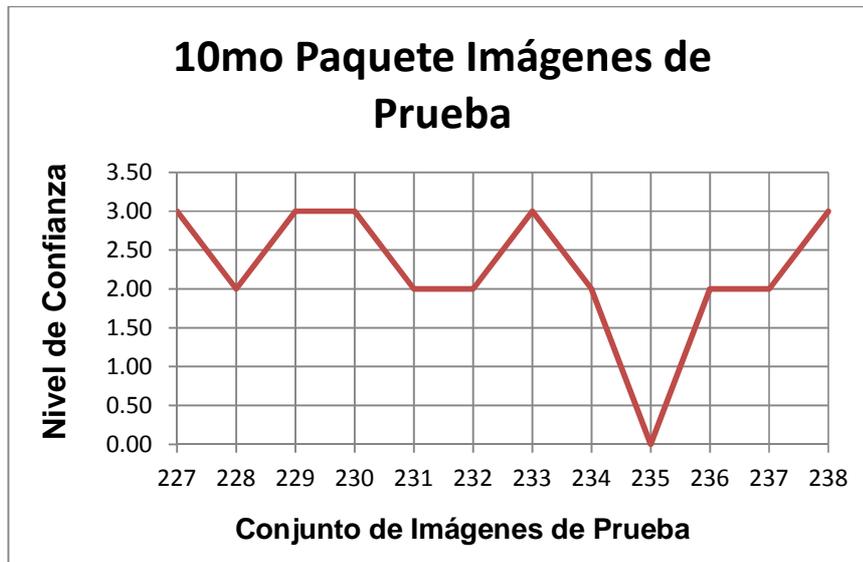


Figura 86. Gráfica del paquete 10 de 25 imágenes de prueba analizadas

Las tablas 7 a la 16 ilustran los resultados para todas las imágenes que fueron adquiridas para realizar las pruebas con las imágenes de la base de datos; cabe resaltar que al momento de realizar la captura de estas imágenes, varias de las personas, no tuvieron una posición correcta de los dedos, es decir muchas de ellas separaron los dedos, o separaron los mismos de la marca señalada en el prototipo, es por ello que en algunos casos la confiabilidad no es concluyente o solo presente una confiabilidad una de tres.

A continuación se presenta la tabla en donde se agrupan los resultados totales, en 4 grupos.

Numero de Muestras	Confiabilidad
146	3/3
70	2/3

8	1/3
11	No concluyente
2	Falso Positivo

Tabla 17. Resultados generales.

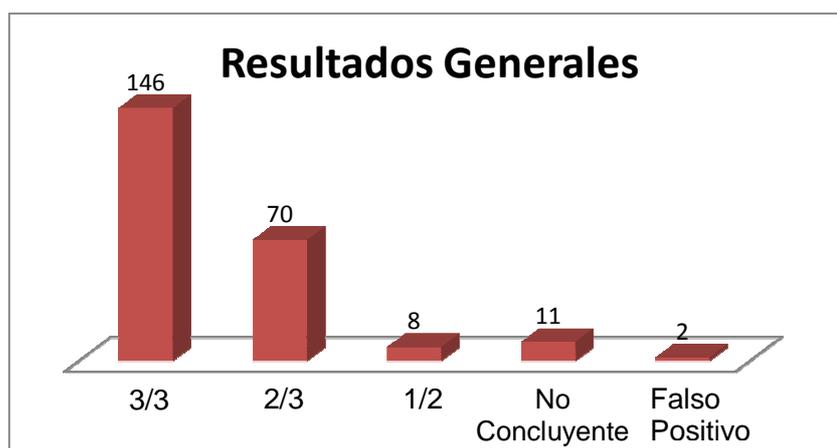


Figura 87. Gráfica de barras de los resultados generales.

En la tabla anterior es posible observar resultados en donde la confiabilidad es no concluyente, para ello se recurre a un segundo análisis de los resultados obtenidos, al estudiarlos se pudo concluir que por repetitividad en la misma imagen y por correlación se puede identificar a la persona que corresponde a la imagen de prueba, a continuación se presenta la tabla 18 en donde se presentan 4 ejemplos del total de los resultados no concluyentes los cuales permiten llegar a la conclusión expresada en el siguiente párrafo.

Imagen prueba	Dedos	Candidatos	Repetitividad	Coefficiente de Correlación
025	Anular	025	3/5	[0.21],[0.23],[0.23]
	Corazón	090	1/5	[0.21]
	Índice	NHE		
048	Anular	048	3/5	[0.27],[0.25],[0.25]

	Corazón	NHE		
	Índice	076	1/5	[0.20]
135	Anular	NHE		
	Corazón	112	1/5	[0.22]
	Índice	106	4/5	[0.27],[0.28],[0.26],[0.21]
196	Anular	NHE		
	Corazón	78	1/5	[0.20]
	Índice	108	1/5	[0.31]

Tabla 18. Estudio de las imágenes que fueron no concluyentes

Tal y como se observa en los ejemplos propuestos en la tabla anterior, en uno de los candidatos se presenta mayor repetitividad, también se puede visualizar que cuando los candidatos presentan la misma repetitividad entonces el siguiente paso es analizar el coeficiente de correlación para poder decidir el resultado final y esto se cumple en todos los casos es por ello que la siguiente tabla se presenta una segunda clasificación para los anteriores resultados no concluyentes.

Imagen Prueba	Imagen Resultado
025	025
048	048
088	056
123	123
135	106
140	115
144	123
188	103
196	108
225	122
235	126

Tabla 19. Resultado final de las imágenes que fueron no concluyentes

De la tabla anterior hay una imagen que entra al grupo de los resultados falsos positivos, para da un total de imágenes que son incorrectas del 1.3% con respecto al total de las imágenes, esto debido a que las tres imágenes tiene una rotación considerable con respecto a la marca, y no queda dentro del rango de tolerancia a la rotación; el resultado final permite concluir que el algoritmo tiene un nivel de confiabilidad alto, y se logra una identificación adecuada para el conjunto de personas que se encuentran en la base de datos.

XI. CONCLUSIONES

Debido al empuje del mercado, el desarrollo de nuevos componentes y sensores capaces de detectar nuevas características fisiológicas así como el desarrollo de nuevos modelos de identificación y clasificación de rasgos del comportamiento permite que el uso de la biometría se presente como una de las mejores opciones para reconocer y autenticar usuarios gracias a que la validación se realiza utilizando características inherentes al mismo.

Los objetivos de este trabajo están encaminados a realizar un aporte a aplicaciones biométricas, las cuales en la actualidad tienen un lugar importante, debido a que resuelven distintos tipos de problemas. Inmigración, control de asistencia, residencia de ancianos, seguridad, centros de atención médica, programas de beneficencia y puntos de venta, son claros ejemplos de estas aplicaciones.

Dentro de los resultados de este trabajo, se logró obtener una base de datos propia, con resolución VGA donde se obtiene típicamente regiones de líneas de 110 x 90 píxeles, lo cual es un tamaño suficiente para la comparación; es importante resaltar este logro, debido a que en la actualidad no hay una base de datos propia disponible para seguir estudiando sobre este tema, el cual desde hace poco se ha venido abordando.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron técnicas de procesamiento digital de imágenes que permitieron cumplir con éxito la identificación de personas por medio de un algoritmo que presenta mayor confianza con respecto a los demás debido a que se tienen en cuenta las características de tres dedos.

Debido a que la iluminación no es uniforme por el disparo del flash, se tuvieron varios inconvenientes al momento de realizar el procesamiento de la imagen, en algún momento se hizo necesario dividir la imagen en bloques para tratar de uniformar la imagen y así poder extraer las características de la misma.

Los resultados de la tabla 17 permiten concluir que el programa tiene un alto nivel de confianza, pero es posible visualizar que dentro de los resultados hubieron algunos que no fueron concluyentes, para ello se realizó un estudio de estos resultados logrando obtener la tabla 19, en donde fue posible clasificar los resultados de los no concluyentes obteniendo la imagen correcta en la mayoría de los casos.

La detección por medio de las huellas dactilares es una de las formas más comunes en el mercado pero a pesar de ello las personas que se encuentran en trabajos en donde se pueden desgastar esta forma biométrica haciendo

que los instrumentos de detección no puedan detectar a las personas; en este trabajo se presenta un algoritmo que propone redundancia en la identificación lo cual lo hace tolerante a fallas, y debido a que es multi-homogéneo lo hace menos propenso a una falsificación.

Debido a que el método que se utiliza para la extracción de características está basado en la obtención de los píxeles más oscuros, es necesario resaltar que para las personas que poseen bellos muy gruesos en los dedos, y adicional, los segmentos de curva no son lo suficientemente notorios o muy superficiales, el nivel de confianza siempre será bajo o en dado caso nulo.

Se construyó un prototipo de adquisición de imágenes, el cual es posible utilizarlo en cualquier parte sin problemas de electricidad siempre y cuando la cámara tenga la carga completa, a demás debido a que el material es metal esto ayuda a que no vaya a tener una malformación y así pierda las características; Adicional este diseño permite limpiarlo en llegado caso de que se ensucie, permitiendo de esta forma una higiene propia.

Este trabajo de tesis aporta en el avance del uso de los nudillos como elemento de identificación por reconocimiento; se propuso como elemento característico las líneas del nudillo, debido a que éstas tienden a ser la parte más oscura de la zona, es por ello que para la extracción de los mismos, se implementó un algoritmo que está enfocado en la obtención de los más oscuros, permitiendo mediante esta técnica la representación de cada línea para los tres dedos índice, corazón y anular.

Se logró una clasificación basada en la similitud que presentan las características de cada imagen, siendo éstas los segmentos de curva de los nudillos, esta comparación se hizo para cada dedo por separado logrando

un porcentaje del 98.7% para la identificación de un conjunto de 128 personas.

El programa se diseñó teniendo claro que en el prototipo de adquisición de imágenes se tiene una marca para que la persona tenga los dedos en una misma orientación, pero en repetidas ocasiones las personas no tuvieron el cuidado de acatar esta orden y separaron los dedos de la marca y les dieron una orientación diferente, este tipo de casos provoca errores puesto que el algoritmo no es tolerante a rotaciones de hasta aproximadamente 10 grados.

La base de datos incluye variedad en nudillos con líneas tenues hasta muy definidas, diferentes tonalidades de piel con anillos, entre otras características.

XII. TRABAJO FUTURO

Como trabajo futuro se propone un prototipo para la adquisición de imágenes, el cual no presente deterioro de pintura, adicional se puede mejorar el mismo teniendo una mejor iluminación de la zona en donde se va a realizar la captura de imágenes.

Con relación al algoritmo, se podría trabajar un algoritmo que sea en línea, para tener mayor aplicabilidad, al momento de implementar en un hardware si el cliente así lo requiere.

Debido a que este trabajo lo que pretendía era realizar un aporte en cuanto a las características para la identificación por nudillos, la base de datos, y la cantidad de muestras no es muy grande, es por ello que sería de gran utilidad ampliar la base de datos y la cantidad de muestras de cada persona.

Sería de gran interés probar con imágenes de mayor calidad como por ejemplo de 800x600.

XIII. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.

XIII.1 Figuras

<i>Figura 1. Un solo nudillo.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2. Nudillos traseros.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3. Multinudillos.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4. Multimodal.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 5. La mano humana apariencia exterior, extraída de [20]......</i>	<i>17</i>
<i>Figura 6. Huesos de las manos (mano izquierda), basada en referencia [20]......</i>	<i>18</i>
<i>Figura 7. Mapa conceptual de la división de los huesos de la mano.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 8. Clasificación de los dedos de la mano derecha. Basada en la referencia [22]......</i>	<i>20</i>
<i>Figura 9. Articulaciones de a palma y de los dedos. Basada en la referencia [23]......</i>	<i>22</i>
<i>Figura 10. Articulaciones Interfalángicas. Basada en la referencia [24]......</i>	<i>23</i>
<i>Figura 11. Distribución del mercado biométrico. Basado en [25]......</i>	<i>26</i>
<i>Figura 12. Encuesta sobre el crecimiento del mercado biométrico. Basado en [25]......</i>	<i>27</i>
<i>Figura 13. Pasos en un sistema de análisis de imágenes. Esta figura ha sido adaptada de [29]......</i>	<i>31</i>
<i>Figura 14. Prototipo de adquisición de imágenes; A) Parte superior B) Zona lateral derecha C) zona lateral izquierda, D) zona interna y E) Puerta deslizable.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 15. Comparación de unidades pixeles y centímetros.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 16. Comparación de unidades pixeles y centímetros del ancho de los tres dedos para la imagen de prueba.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 17. Comparación de unidades pixeles y centímetros del ancho promedio de un nudillo.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 18. Cámara para capturar las imágenes a procesar.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 19. Segmentación en el proceso de análisis de escena.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 20. Imagen inicial.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 21. Bloques para el recorte de la sección de los nudillos.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 22. Estableciendo los valles y crestas en la mano.</i>	<i>48</i>

Figura 23. Mitad de la imagen.....	49
Figura 24. Intersección entre el dedo índice y dedo del corazón.....	50
Figura 25. El valle 1 localizado en la imagen original.....	51
Figura 26. El valle 1 localizado en la imagen original.....	52
Figura 27. Señalando la altura a la cual se producirá el recorte.....	52
Figura 28. Imagen original binarizada y erosionada.....	53
Figura 29. Imagen para explicación de la relación matemática. Basado en [38].....	54
Figura 30. Señalización la Cresta 2 y el Valle 1.....	55
Figura 31. Señalización de la Cresta 2, el valle 1, y uno de los límites del ancho ($L1$).....	56
Figura 32. Señalización de la Cresta 2, el valle 1, y la proyección de los límites ($L1$ y $L2$) a la altura a la cual se va a hacer el recorte.....	57
Figura 33. Recorte de la imagen original a la altura y ancho encontrados.....	57
Figura 34. Visualización de la imagen en el canal Rojo.....	58
Figura 35. Binarizador guardando en rojo.....	59
Figura 36. El punto inferior para realizar el recorte.....	59
Figura 37. El ROI de la imagen de entrada.....	60
Figura 38. Bloques para el recorte de los dedos por separado.....	61
Figura 39. Filtro pasa bajos de [8x8].....	61
Figura 40. Imagen adelgazada de la binarización en el canal azul.....	62
Figura 41. Bordes canny en orientación horizontal.....	63
Figura 42. Separación entre los dedos.....	63
Figura 43. Dedos separados.....	64
Figura 44. Bloques para el recorte de los nudillos de los dedos por separado.....	65
Figura 45. a) Imagen Original del dedo anular – b) Mejorando las líneas del nudillo de la imagen.....	66
Figura 46. a) Histograma Acumulativo y b) Imagen tratada y binarizada en el canal verde..	67
Figura 47. Zona media del dedo.....	68
Figura 48. Nudillo anular de la articulación interfalángica proximal.....	69
Figura 49. Bloques para la extracción de características de los nudillos para cada dedo por separado.....	70
Figura 50. Etapas para el recorte superior de la imagen del nudillo anular.....	72
Figura 51. Etapas para el recorte inferior de la imagen del nudillo anular.....	72
Figura 52. Etapas para el recorte de laterales de la imagen del nudillo anular.....	73

<i>Figura 53. Representación del espacio de color RGB como cubo unitario. Tomado de [42] Basado en [43].....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 54. Resultado del espacio de color en el canal de luminancia.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 55. Imagen en el canal rojo y su respectiva ecualización del histograma.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 56. Respuesta ante el impulso de la corteza visual y la función Gabor. Tomada de la referencia [46]......</i>	<i>80</i>
<i>Figura 57. Conformación del Filtro Gabor y su representación en el dominio del espacio.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 58. Resultado de la implementación del Filtro Gabor bidimensional en la imagen ecualizada.</i>	<i>84</i>
<i>Figura 59. Resultado de aplicar el rango dinámico y el multiumbral por bloques.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 60. Proceso de limpieza de la imagen binarizada.</i>	<i>86</i>
<i>Figura 61. Imagen de entrada para obtener los puntos más oscuros y el respectiva separación de objetos por las regiones de cada línea.</i>	<i>87</i>
<i>Figura 62. Puntos de inicio para la extracción de los más oscuros.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 63. Procedimiento para la extracción del pixel más oscuro.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 64. Resultado de la extracción del pixel más oscuro y superposición con la imagen ecualizada.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 65. Sin puntos sueltos.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 66. Imagen sin derivaciones.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 67. Imagen sin derivaciones.</i>	<i>91</i>
<i>Figura 68. a) Imagen de la base de datos señalando el orden de las líneas b-f) Las regiones de cada línea seleccionadas para la comparación.</i>	<i>92</i>
<i>Figura 69. Imagen de prueba </i>	<i>93</i>
<i>Figura 70. Imagen de prueba erosionada.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 71. Mitad de la imagen de prueba erosionada.</i>	<i>94</i>
<i>Figura 72. Procedimiento para obtener la matriz de correlación </i>	<i>95</i>
<i>Figura 73. Obtención de la matriz de correlación.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 74. Acoplamiento de las imágenes según las coordenadas de la tabla.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 75. Mejor acoplamiento.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 76. Procesado de la imagen de prueba hasta la identificación de la misma.</i>	<i>97</i>
<i>Figura 77. Gráfica del paquete 1 de 25 imágenes de prueba analizadas.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 78. Gráfica del paquete 2 de 25 imágenes de prueba analizadas.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 79. Gráfica del paquete 1 de 25 imágenes de prueba analizadas.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 80. Gráfica del paquete 3 de 25 imágenes de prueba analizadas.....</i>	<i>103</i>

<i>Figura 81. Gráfica del paquete 5 de 25 imágenes de prueba analizadas</i>	<i>105</i>
<i>Figura 82. Gráfica del paquete 6 de 25 imágenes de prueba analizadas</i>	<i>106</i>
<i>Figura 83. Gráfica del paquete 7 de 25 imágenes de prueba analizadas</i>	<i>108</i>
<i>Figura 84. Gráfica del paquete 8 de 25 imágenes de prueba analizadas</i>	<i>109</i>
<i>Figura 85. Gráfica del paquete 9 de 25 imágenes de prueba analizadas</i>	<i>111</i>
<i>Figura 86. Gráfica del paquete 10 de 25 imágenes de prueba analizadas</i>	<i>112</i>
<i>Figura 87. Gráfica de barras de los resultados generales.</i>	<i>113</i>

XIII.2 Tablas

<i>Tabla 1. Correlación máxima por renglón, para las 5 líneas de base de datos.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 2. Correlación amplificada con las respectivas coordenadas donde se dio esa correlación.</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 3. Un valor por columna,.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 4. Correlación de la imagen total amplificada en 100.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 5. Resultados para la extracción de candidatos.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 6. Resultados para la extracción de candidatos.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 7. Paquete 1 de 25 imágenes de prueba analizadas.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 8. Paquete 2 de 25 imágenes de prueba analizadas.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 9. Paquete 3 de 25 imágenes de prueba analizadas.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 10. Paquete 4 de 25 imágenes de prueba analizadas.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 11. Paquete 5 de 25 imágenes de prueba analizadas.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 12. Paquete 6 de 25 imágenes de prueba analizadas.</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 13. Paquete 7 de 25 imágenes de prueba analizadas.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 14. Paquete 8 de 25 imágenes de prueba analizadas.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 15. Paquete 9 de 25 imágenes de prueba analizadas.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 16. Paquete 10 de 11 imágenes de prueba analizadas.</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 17. Resultados generales.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 18. Estudio de las imágenes que fueron no concluyentes.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 19. Resultado final de las imágenes que fueron no concluyentes.....</i>	<i>115</i>

XIV. REFERENCIAS.

- [1] E. Gonzales, A. Morales y M. A. Ferrer, «Base de Datos Interoperable para Biometría de la Mano».
- [2] « Merriam-Webster's Collegiate Dictionary,» 1995. [En línea]. Available: <http://www.merriam-webster.com/info/index.htm>. [Último acceso: 11 09 2104].
- [3] [En línea]. Available: <http://www.umanick.com/index.php/tecnologia/que-es-la-biometria>.
- [4] Mazo 2013. [En línea]. Available: <http://www.youtube.com/watch?v=23dprcLlxVU>.
- [5] J. C. Magallanes, Agosto 2012. [En línea]. Available: <http://www.noticiasmvs.com/#!/noticias/detienen-a-servidor-publico-del-imss-por-falsificar-huellas-digitales-para-chechar-asistencias-535.html>.
- [6] Octubre 2011. [En línea]. Available: <http://noticias.terra.cl/nacional/policial/pdi-detiene-a-ejecutivo-de-empresa-celular-por-falsificacion-y-uso-malicioso-de-documento-privado,e6e2ef8a7d7e2310VgnVCM10000098f154d0RCRD.html>.
- [7] Julio 2011. [En línea]. Available: <http://www.biobiochile.cl/2011/07/23/presto-afectado-denuncia-repactacion-unilateral-acusando-falsificacion-de-firma-y-huella-dactilar.shtml>.
- [8] M. A. Ferrer, C. M. Travieso y J. B. Alonso, «Using Hand Knucle Texture for Biometric Identifications,» *International Carnahan Conference*, pp. 74-78, OCTUBRE 2005.
- [9] K. Usha y M. Ezhilarasan, «Hybrid Detection of Convex Curves for Biometric Authentication using Tangents and Secants,» *Advance Computing Conference (IACC)*, pp. 763 - 768, Febrero 2013.
- [10] A. Kumar y Y. Zhou, «Personal identification using finger knuckle orientation features,» *Electronics Letters*, vol. 45, nº 20, pp. 1023,1025, Septiembre 2009.
- [11] M. Choraś y R. Kozik, «Knuckle Biometrics Based on Texture Features,» *Emerging Techniques and Challenges for Hand-Based Biometrics (ETCHB)*, pp. 1 - 5, Agosto 2010.
- [12] A. Antonio, A. S. Vázquez, F. Molina y G. Bueno, «PROTOTIPO BIOMÉTRICO DE MANOS BASADO EN SU DISPOSICIÓN NATURAL,» España.
- [13] A. Morale Moreno, «Estrategias para la Identificación de Personas mediante Biometria de la mano sin Contacto,» Universidad de las Palmas de Gran Canaria, 2011.
- [14] A. Morales, C. M. Travieso, M. A. Ferrer y J. B. Alonso, «Improved finger-knuckle-print authentication based on orientation enhancement,» *Electronics Letters*, vol. 47, nº 6, pp. 380-381, Marzo 2011.

- [15] Z. S. Shariatmadar y F. Karim, «A Novel Approach for Finger-Knuckle-Print Recognition Based on Gabor Feature Fusion,» *Image and Signal Processing (CISP)*, vol. 3, pp. 15-17, Octubre 2011.
- [16] A. Tharwat, A. F. Ibrahim y H. A. Ali, «Multimodal Biometric Authentication Algorithm Using Ear and Finger Knuckle Images,» *Computer Engineering & Systems (ICCES)*, pp. 27-29, Noviembre 2012.
- [17] A. Hernández Briones. [En línea]. Available: <http://redyseguridad.fi-p.unam.mx/proyectos/biometria/index.html>.
- [18] J. W. Rohen, C. Yokochi y E. Lutjen-Recoll, *Atlas de anatomía humana*, Madrid-España: MEDITERRANEO, 2003.
- [19] P. G. Quiñonez, *Cirugía de la Mano*, Maracay: FUNDACITE, 2005.
- [20] «mcgra.hill.es,» [En línea]. Available: <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448180747.pdf>. [Último acceso: 15 Abril 2014].
- [21] A. Ruiz Liard y M. Ltarjet, *Anatomía Humana*, China: Editorial Medica Panamericana, 2009.
- [22] O. e. Mexico y D. Bernard, «El Diccionario Visual,» 2005-2011. [En línea]. Available: http://www.infovisual.info/03/027_es.html. [Último acceso: 15 Abril 2014].
- [23] L. R. Barone, C. E. Rodriguez, M. L. Ginglioni, C. D. Gonzales y C. A. Cuevas, *Atlas visual del cuerpo humano*, Santa fé de Bogotá- Colombia: Arquetipo Grupo Editorial, 2003.
- [24] «Taringa,» [En línea]. Available: <http://www.taringa.net/posts/salud-bienestar/16543572/Que-pasa-al-hacer-crujir-los-nudillos.html>. [Último acceso: 16 Abril 2014].
- [25] C. M. Travieso González, M. Del Pozo Baños y J. R. Ticay Rivas, «Sistemas Biométricos,» de *Cátedra Telefónica de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*, Gran Canaria , 2011.
- [26] A. Jain, R. Bolle y S. Pankanti, *Biometrics: Personal Identification in Networked Society*, Springer-Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [27] A. Kumar y C. Ravikanth, «Personal authentication using finger knuckle surface,» *IEEE Trans. Inf Forensics Secur*, vol. 4, pp. 98-110, 2009.
- [28] R. Rodriguez Morales y J. H. Sossa Azuela, *Procesamiento y Análisis Digital de Imágenes*, México: Alfaomega Ra-Ma, 2012.

- [29] R. C. González y R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing company , Abril 1992.
- [30] A. Kumar y D. Zhanf, «Personal recognition using hand shape and texture,» *IEEE Trans. Image Process*, vol. 15, nº 8, pp. 2454-2461, Aug.2006.
- [31] S. Ribaric y I. Fratric, «Personal recognition using hand shape and texture eigenpalm and eigenfinger features,» *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 27, nº 11, p. 1698–1709, Nov. 2005..
- [32] H. J. Sanchez Paper, R. Sanchez Reillo, C. Sanchez-Avila y A. Gonzalez- Macros, «Biometric identification through hand geometry measurements,» *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 22, nº 10, p. 1168–1171, Oct. 2000..
- [33] E. Laorden Fiter, «Descripción, Comparación y Ejemplos de Uso de las Funciones de la Toolbox de Procesado Digital de Imágenes de MATLAB,» Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicación Universidad Politécnica de Madrid, España, Septiembre 2012.
- [34] M. I. Chacón M., *PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES*, México: Trillas, 2008.
- [35] S. Hervella Azouzi, «Editor de Imágenes Basado en Regiones. Aplicacion en Entorno Matlab,» Escola Universitària d'Enginyeria ènica industrial de Terrassa, España , 2005-2006.
- [36] S. Ullman, *High-Level Vision: Object Recognition and Visual Cognition*, England: Reviews, 1997.
- [37] A. Rosenfeld, *Analysis and Computer Vision*, USA: Avinash, Mayo 1994.
- [38] I. Irún, «El patinete,» 2009-2015. [En línea]. Available: <http://www.elpatinete.com/dibujos-colorear/dibujos-partes-del-cuerpo-para-colorear-y-pintar.html>. [Último acceso: 25 Abril 2014].
- [39] «Biblioteca de Ingeniería,» Universidad de Sevilla, [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11875/fichero/Proyecto+Fin+de+Carrera%252F3.Espacios+de+color.pdf>. [Último acceso: 10 Agosto 2014].
- [40] S. Paracchini, G. Cannaos, A. Rivella, A. Roncallo y V. Benigno, «Scientific,» Fauser edu, Fondazione CRT, 22 Octubre 2002. [En línea]. Available: <http://www.scientific.fauser.edu/luce/scientific/young/tricromatrica.htm>. [Último acceso: 10 Agosto 2014].
- [41] E. Cuevas, D. Zaldívar y M. Pérez, «Procesamiento digital de imágenes con MATLAB y SIMULINK,» Alfaomega Ra-Ma, Mexico, 2010.

- [42] «Peter Stone,» 2006. [En línea]. Available: <http://www.peterstone.name/Maplepgs/colours.html>. [Último acceso: 10 Agosto 2014].
- [43] J. PILLOU, C. VILLAGÓMEZ ALFARO, I. AYALA, C. VILLAGÓMEZ ALFARO, Á. ORTEGA SOLOGUREN, S. SUÁREZ, M. MARTINEZ y M. GOMEZ, «Kioskea. net,» 2013. [En línea]. Available: <http://es.kioskea.net/contents/733-codigo-rgb>. [Último acceso: 10 Agosto 2014].
- [44] R. C. Gonzalez y R. E. Woods, Tratamiento Digital de Imágenes, Diaz de Santos, S.A., 1996.
- [45] G. WYSZECKI y W. S. STILES, Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, vol. 2da edición, John Wiley & Sons, 2000.
- [46] A. M. Lazarini, «Funciones Gabor Bidimensionales para el Análisis y Clasificación de Texturas,» Instituto Politécnico Nacional , Mexico D.F, 2007.
- [47] R. E. Abreu Manzanilla y S. A. Bullones, «Implementación de un Filtro de Gabor Modificado para el Mejoramiento de la Imagen de Huellas Dactilares en un Sistema Verificador Biométrico,» de *5TO CONGRESO IBEROAMERICANO DE ESTUDIANTES DE INGENIERÍA ELÉCTRICA*, Barquisimeto, estado Lara.Venezuela, 2012.
- [48] R. S. Montero, J. M. López Márquez y M. Ornelas Rodríguez, «Aplicando filtros de Gabor a segmentación de caracteres alfanuméricos en placas vehiculares,» de *IX Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico*, Cuernavaca Morelos, México, 2011.
- [49] 2004. [En línea]. Available: http://www.homini.com/new_page_5.htm.
- [50] Y. Pengfei, X. Dan, L. Haiyan y Z. Hao, «Fingerprint Image Preprocessing based on Whole Hand Image Captured by Digital Camera,» *Computational Intelligence and Software Engineering*, pp. 1-4, Diciembre 2009.
- [51] «Anatomía y Biomecánica».
- [52] D. C. Maroco, «Detector Automático de Rasgos Oculares Mediante Filtros de Gabor,» Escuela técnica superior de ingeniería Informática, 2010.
- [53] S. García y C. González, «SGCG,» Creative Commons Reconocimiento-Compartir Igual 3.0 España., [En línea]. Available: <http://sgcg.es/articulos/2011/09/25/ondas-planas-y-relaciones-de-dispersion/>. [Último acceso: 13 Agosto 2014].