

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA
MAESTRÍA EN INFORMÁTICA



TESIS

**RECONOCIMIENTO Y DETECCIÓN BIOMÉTRICO BASADO EN
IMÁGENES DE HUELLAS DIGITALES**

PRESENTADA POR:

EDWIN WILBER CHAMBI MAMANI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN INFORMÁTICA

MENCIÓN EN INGENIERÍA DE SOFTWARE

PUNO, PERÚ

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA

MAESTRÍA EN INFORMÁTICA

TESIS

**RECONOCIMIENTO Y DETECCIÓN BIOMÉTRICO BASADO EN
IMÁGENES DE HUELLAS DIGITALES**

PRESENTADA POR:

EDWIN WILBER CHAMBI MAMANI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN INFORMÁTICA

MENCIÓN EN INGENIERÍA DE SOFTWARE

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE


.....
Dr. BERNABÉ CANQUI FLORES

PRIMER MIEMBRO


.....
Dr. REYNALDO SUCARI LEÓN

SEGUNDO MIEMBRO


.....
M.Sc. ERNESTO NAYER TUMI FIGUEROA

ASESOR DE TESIS


.....
Dr. VLADIMIRO IBAÑEZ QUISPE

Puno, 10 de octubre de 2016

ÁREA: Inteligencia artificial

TEMA: Procesamiento digital de maquina

DEDICATORIA

A mi hija Maricielo por quien cada día tiene sentido, para quien ningún sacrificio es suficiente, que con su luz ha iluminado mi vida y hace mi camino más claro, ella es testigo silencioso de mis luchas cotidianas en busca de un mejor futuro, a ella, mi esperanza, mi alegría, mi vida y la culminación de este trabajo y lo que representa.

A mi familia que con su entusiasmo y cariño me dieron el valor y coraje para caminar.

Y

A todos aquellos que son movidos por un gran amor a la vida y a la naturaleza, que están convencidos de que un mundo mejor es posible si se tienen los conocimientos para ayudar y el corazón para vencer.

A todos ustedes dedico el producto de mi esfuerzo

Hija, eres el amor de mi vida y todo lo hago por ti.

Recuerda que siempre cuentas conmigo y siempre te voy a amar.

AGRADECIMIENTOS

- A ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.
- Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE CUADROS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE ANEXOS	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I**PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1.1. Formulación del problema.....	4
1.2. OBJETIVOS	4
1.2.1. Objetivo General	4
1.2.2. Objetivos Específicos.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN	5
1.4. HIPÓTESIS	5
1.4.1. Hipótesis General:	5
1.4.2. Hipótesis Específicas:.....	5

CAPÍTULO II**MARCO TEÓRICO**

2.1. ANTECEDENTES	7
2.2. BASE TEÓRICA.....	10
2.2.1. Biometría.....	10
2.2.2. Huella dactilar:	12
2.2.3. Huellas dactilares en biometría.....	13
2.2.4. Representación de la huella dactilar	15
2.2.5. Características de huella dactilar	16
2.2.6. Puntos Identificables:.....	18
2.2.7. Tipos de deltas de las huellas.....	21

2.2.8. Dispositivo de captura de la huella dactilar	22
---	----

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	24
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	24
3.3. POBLACION Y MUESTRA	24
3.4. RECONOCIMIENTO DE HUELLAS DACTILARES	26
3.4.1. Ecuación de histograma.	26
3.4.2. Mejora de la imagen mediante la transformada de fourier	27
3.4.3. Normalización	28
3.4.4. Binarización de la imagen de la huella.....	30
3.4.5. Segmentación	31
3.4.6. Orientación, filtrado y binarización de la imagen.....	33
3.4.7. Orientación.....	33
3.4.8. Filtrado y binarización	36
3.4.9. Extracción de la región de interés (roi).....	37
3.4.10. Adelgazamiento (thinning)	38
3.4.11. Extracción de características	43
3.4.12. Reconocimiento de la huella	45
3.4.13. Alineación minucias	48
3.4.14. Comparación de minucias.....	49
3.5. ÍNDICE DE EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO	50

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO	52
4.2. EJECUCIÓN DEL SISTEMA DE RECONOCIMIENTO	53
4.3. PRUEBA DE HIPOTESIS	58
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	66

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. RESULTADOS DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA	25
2. MASCARA GX	34
3. MÁSCARA Gx.	34
4. MASCARA DE TRES X TRES	35
5. REPRESENTACIÓN DEL BLOQUE, SU PIXEL CENTRAL Y DEFINICIÓN DE SUS VECINOS.	40
6. REPRESENTACIÓN DEL PESO DE LOS PÍXELES DEL BLOQUE. ...	41
7. MATRIZ DE TRES X TRES.....	42
8. VENTANA USADA PARA LOCALIZAR BIFURCACIONES Y TERMINACIONES.....	44
9. MUESTREO SIMPLE ALEATORIO DE HUELLAS A PROCESAR	67

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. HUELLA DACTILAR.....	13
2. REPRESENTACIÓN DE DETALLES EN TÉRMINOS DE SU POSICIÓN Y DIRECCIÓN.....	16
3. TIPOS DE MINUCIAS	17
4. CARACTERÍSTICAS GLOBALES EN HUELLAS DACTILARES	17
5. MINUCIAS QUE SE DEBEN BUSCAR EN UNA HUELLA.....	19
6. ZONAS DEL DACTILOGRAMA	20
7. LOCALIZACIÓN DE ALGUNOS PUNTOS IMPORTANTES DE UNA HUELLA	20
8. TIPOS DE DELTAS ENCONTRADOS EN UNA HUELLA.....	21
9. LECTOR DE HUELLA FS88 FPIS 201/PIV.....	23
10. HISTOGRAMAS DE LAS IMÁGENES ORIGINAL Y ECUALIZADA	26
11. REPRESENTACIÓN DE LA HUELLA DESPUÉS DE LA ECUALIZACIÓN.....	28
12. REPRESENTACIÓN DE LA HUELLA DESPUÉS DE LA ECUALIZACIÓN DEL HISTOGRAMA	28
13. PROCESO DE NORMALIZACIÓN DE HUELLAS	30
14. IMÁGEN BINARIZADA.....	31
15. SEGMENTACIÓN DE IMÁGEN.	32
16. IMÁGEN DESPUÉS DE EJECUTAR LA ETAPA DE ORIENTACIÓN... 36	36
17. IMÁGEN DESPUÉS DE LA BINARIZACIÓN	37
18. REGIÓN DE EXTRACCIÓN LIMITADA	38
19. PROCESO DE ADELGAZAMIENTO DE LÍNEAS.....	40
20. IMÁGEN ADELGAZADA.	42
21. MINUCIAS LOCALIZADAS	44
22. IMÁGEN FINAL CON EL TOTAL DE MINUCIAS.....	45
23. DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS CORRECTAS E INCORRECTAS 52	52
24. CURVA DE FRR VS FAR.....	53
25. CARGA DE IMAGEN DE LA HUELLA	53
26. ECUALIZACION DE LA IMAGEN	54
27. TRANSFORMADA DE FOURIER EN LA HUELLA	54

28. BINARIZACIÓN DE LA HUELLA.....	55
29. DETECCIÓN DE DIRECCIÓN DE MINUCIAS.....	55
30. EXTRACCIÓN DE LA REGIÓN DE INTERÉS	56
31. ADELGAZAMIENTO	56
32. ELIMINACIÓN DE PICOS	57
33. DETECCIÓN DE MINUCIAS.....	57
34. EXTRACCIÓN DE MINUCIAS Y ALMACENAMIENTO DE LA HUELLA PROCESADA.....	58
35. COMPARACIÓN DE LA HUELLA.....	58
36. EJEMPLOS DE HUELLAS ÓPTIMAMENTE PROCESADAS	68
37. IMÁGENES DE HUELLAS QUE HAN SIDO DESCARTADAS PARA PROCESAR	68

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. SELECCIÓN DE LAS IMÁGENES DE HUELLAS DAIGITALES.....	67
2. MUESTRAS DE IMÁGENES DE HUELLAS DIGITALES UTILIZADAS	68

RESUMEN

Existe una variedad de tipos de medición que pueden utilizarse para la biometría. Los que la mayoría conoce, como la huella dactilar, la geometría de la mano y el análisis de los ojos, son también los que presentan mejor eficiencia hoy en día. En la presente investigación se muestra la implementación de un sistema de reconocimiento y detección biométrico para el reconocimiento de personas mediante la huella dactilar; utilizando Matlab para el procesamiento de imágenes ya adquiridos. Las pruebas del prototipo se implementan con la ayuda del lenguaje de programación matemática en Matlab y se implementa en su parte final en un programa ejecutable mediante el entorno gráfico, debido a que la biometría es una ciencia relativamente en auge cuyo objetivo es lograr que las computadoras sean capaces de reconocer con certeza a cada persona con base a sus características únicas de huellas digitales; se implementa un prototipo biométrico que es capaz de identificar personas a través de la huella dactilar. La metodología utilizada consiste en procesos enlazados; que trabaja sobre la imagen para lograr la adaptabilidad de una forma adecuada de lectura, seguido de esto, se extrae y caracteriza componentes dentro de la misma esto se logra por medio de un programa computacional de rastreo de líneas utilizando conceptos de conectividad entre puntos de imagen. El algoritmo de rastreo se enfatiza en la detección de puntos característicos de líneas. Las líneas delgadas se obtienen mediante un algoritmo de esqueletización obteniendo las minucias sobre las regiones de la cresta de la huella. Los experimentos realizados han demostrado que el sistema implementado proporciona una identificación fiable.

Palabras clave: Huella dactilar, minucia, procesamiento de imágenes, reconocimiento biométrico, sistema biométrico.

ABSTRACT

There are a variety of measurement types that can be used for biometrics. Those that the majority knows, such as the fingerprint, hand geometry and eye analysis, are also the most efficient today. The present research shows the implementation of a biometric recognition and detection system for the recognition of people through the fingerprint; Using Matlab for the processing of images already acquired. The prototype tests are implemented with the help of the mathematical programming language in Matlab and are implemented in its final part in an executable program through the graphical environment, because biometrics is a relatively booming science whose goal is to make computers Are able to recognize each person with certainty based on their unique fingerprint characteristics; Is implemented a biometric prototype that is able to identify people through the fingerprint. The methodology used is linked processes; Which works on the image to achieve the adaptability of an adequate reading, followed by this, it is extracted and characterized components within the same this is achieved by means of a computer program of line tracking using concepts of connectivity between image points . The tracking algorithm is emphasized in the detection of characteristic points of lines. The thin lines are obtained by means of a skeletonization algorithm obtaining the minutiae on the regions of the ridge of the footprint. Experiments have shown that the implemented system provides reliable identification.

Keywords: biometric recognition, biometric system, Fingerprint, image processing, minutiae.

INTRODUCCIÓN

A partir de los años 60 comenzaron a desarrollarse los primeros sistemas automáticos de identificación basados en técnicas biomédicas. En principio estas técnicas de reconocimiento tenían gran interés porque supone una forma segura y sencilla de identificación de personas; lo que hacía posible abandonar los sistemas tradicionales que conllevan riesgos de seguridad importantes (basados en tarjetas bien identificación y/o contraseñas que podrían ser perdidas, olvidadas o incluso sustraídas). Por estas razones los sistemas biomédicos han experimentado un enorme crecimiento y actualmente están presentes en multitud de escenarios: control de pasajeros en aeropuertos, auténtica acción de documentos, control de acceso a zonas restringidas, gestión y control de asistencia laboral en empresas, y otros.

Los sistemas de reconocimiento biométrico usan características filosóficas o de comportamiento propias de cada individuo para identificarlo, es decir, se reconoce al usuario por lo que es en lugar que por lo que tiene o sabe. De esta forma el objetivo de todos ellos, será obtener, a partir de la captura de un rasgo biométrico una representación de cada individuo que resulte lo suficientemente discriminan de respecto a los demás usuarios del sistema; de modo que, mediante técnicas de reconocimiento de patrones, el sistema sea capaz de determinar la identidad del usuario que está intentando acceder al sistema o simplemente si el usuario está registrado o no en él, dependiendo del tipo de aplicaciones para la que se utilice.

Los rasgos genéticos que pueden utilizar estos sistemas se clasifican usualmente en "rasgos fisiológicos" y "rasgos de comportamiento conducta". Los

rasgos fisiológicos presentan una reducida variabilidad a lo largo del tiempo, pese a que su adquisición es más invasiva y requiere de la cooperación de los sujetos. Por contra, los rasgos de comportamiento resultan menos invasivos, aunque la exactitud de la identificación es menor debido a la variabilidad de los patrones del comportamiento.

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existen diversas formas mediante las cuales una persona se puede identificar: rúbrica, DNI, contraseña, código de barras, etc. a pesar de ser particulares, éstos "Passwords" que autentica nuestra individualidad pueden ser falsificados, no garantizando la legitimidad de elemento de identificación.

Todos estos inconvenientes, pueden ser desechado ya que el ser vivo en general, refiriéndonos a plantas, animales y específicamente el ser humano, tiene características que lo hacen único y no hay dos personas que sean iguales, estas características son: las huellas dactilares, la voz, el rostro, e incluso el iris del ojo, entonces por analogía podemos decir que nosotros llevamos nuestras propias palabras claves, tarjetas o números (NIP). ¿Por qué no aprovechar estas características? Es entonces cuando gente dedicada a la investigación se formula esta misma pregunta hace algunos años, dándonos la bienvenida al nuevo mundo de la Biometría.

Entonces, ¿Se puede identificar o verificar la identidad de una persona de forma automática, empleando sus características o reconocimiento biométricos?

El empleo de estas técnicas generalmente tiene un costo muy alto por concepto de equipos biométricos, implementación del sistema, y mantenimiento,

etc., por lo que este tipo de tecnología no se encuentra al alcance de cualquier persona natural o impresa que demande de dicho equipo.

1.1.1. Formulación del problema

¿En qué medida la implementación de un sistema reconocimiento basada en imágenes de huellas digitales puede ayudar a determinar y comparar las imágenes de la huella digital?

¿Los algoritmos de procesamiento de imágenes podrán determinar los patrones que integran las imágenes de las huellas digitales?

¿De qué manera se puede identificar o verificar la identidad de una persona de forma automática, empleando sus características o reconocimiento biométricos?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

- Determinar un sistema de reconocimiento y detección biométrico a partir de imágenes de huellas digital integrando computación, visualización, y programación en un lenguaje de alto funcionamiento Matlab.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Transformar la imagen de la huella en escala de grises a un formato binario, procesar las crestas y los valles, realizar la búsqueda de las minucias, bifurcaciones, terminaciones y almacenar la imagen de la huella procesada.
- Comparar las minucias en las imágenes procesados y visualizar los resultados obtenidos

1.3. JUSTIFICACIÓN

El método de identificación mediante huella dactilar es uno de los métodos más fiables que actualmente se conocen y en pocos años posiblemente se incorporará en nuestra vida diaria. En estos últimos años la biometría dactilar se ha acercado al público en general y casi no nos resulta extraño ver en algunas instalaciones la utilización de detectores de huella dactilar para el acceso de personas, incluso en los ordenadores portátiles incluyen detectores de huella dactilar para que un usuario previamente registrado pueda iniciar una sesión, pero el algoritmo de reconocimiento de la imagen no está al alcance del usuario final. En tal sentido en la Universidad Nacional del Altiplano en sus procesos de admisión, existe la necesidad de procesar las imágenes de huellas digitales para hacer las comparaciones de estas tomadas en varias oportunidades.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis General:

Es posible implementar un sistema de reconocimiento y detección biométrico a partir de imágenes de huellas dactilares, basado en el procesamiento de imágenes utilizando Matlab.

1.4.2. Hipótesis Específicas:

- Dado que los caracteres dactilares son propios de cada persona es posible obtener características discriminantes y específicas a partir de la región que corresponde al dedo índice, las cuales mediante técnicas de procesamiento digital sirvan como parámetros de identificación.

- Es posible representar los parámetros particulares y sus características principales de las huellas dactilares de cada huella digital a través de métodos computacionales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

El rendimiento de un algoritmo de extracción de minucias que depende en gran medida de la calidad de las imágenes de huellas dactilares obtenidas (Hong, Wan, & Jain, 1998), el fin es asegurar que el rendimiento de un sistema de identificación automática de huellas dactilares y la verificación sea robusto con respecto a la calidad de imágenes de huellas dactilares obtenidas inicialmente. Los resultados experimentales muestran que la incorporación del algoritmo de mejora ayuda a la obtención de las minucias y la exactitud de la verificación óptima.

Los métodos de reconocimiento de huellas dactilares para la identificación de personas utilizando un algoritmo nuevo en la etapa de aclaración basado en una combinación de filtros en el dominio de Fourier y en el dominio espacial (Aguilar, Sánchez, Toscano, Nakano, & Pérez, 2008). Es uno de los mejores algoritmos para la etapa de aclaración de huellas dactilares, los filtros de Gabor cuya característica principal es que entregan una óptima dirección y resolución en la frecuencia, pero no manejan adecuadamente regiones de alta curvatura debido al ancho de los bloques. Los anchos de banda angular y radial son constantes. Los resultados muestran un porcentaje elevado para una aplicación de tamaño

regular. La implementación de un sistema con estas características es muy aceptable debido a que presenta un alto porcentaje de identificación y 0.1% de falsa identificación, el 1,6% sin identificación no es un problema ya que el usuario solamente tendrá que poner nuevamente su huella para que el sistema lo reconozca correctamente.

Un sistema completo para la verificación de huellas digitales a través de la extracción y búsqueda de minucias, con el procesamiento para la mejora de imágenes y la binarización, Desarrollado mediante un algoritmo de coincidencia elástico para el análisis de las minucias es capaz de encontrar las correspondencias entre el patrón de minucias de entrada y el patrón de minucias plantilla almacenada sin recurrir a la búsqueda exhaustiva (Barham & Mousa, 2011).

Las técnicas de comparación de huellas dactilares basadas en correlación son técnicas precisas, pero poco estudiadas y con problemas de rendimiento debido a la alta carga computacional que presentan. El algoritmo para imágenes de alta resolución se ha probado con 120 huellas de tamaño 560x400 píxeles. La tasa de error obtenido fue del 9.865%. El método propuesto para la detección del núcleo ha producido sólo 4 errores en esta base de datos, fallando por tanto en el 3.3% de las huellas. Analizando los errores de comparación obtenidos, se encuentran tres causas básicas para los fallos: la calidad de las huellas, núcleos cercanos al extremo de la imagen y baja curvatura en las huellas (Lindoso, 2009).

Los dispositivos biométricos verifican la identidad de una persona mediante características físicas únicas e inalterables como las dimensiones de la mano, peculiaridades o medidas de los ojos, huellas digitales o voz (Buenaño,

Clavijo, Flores, & Galio, 2009). La utilización del sistema biométrico para el control de acceso vehicular junto con su dispositivo de lectura digital, satisfacen las necesidades. El análisis del mercado ofrece una cifra alta de clientes potenciales para introducir el producto en el mercado, pudiendo ampliarse en el futuro su campo de acción, siendo el principal objetivo los parqueos privados e industrias manufactureras

La eficiencia de un AFAS (Automatic Fingerprint Authentication System), basado en la detección de bifurcaciones y terminaciones dentro de la huella para la verificación de personas se basa en los porcentajes de falsa aceptación (FAR - False Accept Rate) y falso rechazo (FRR - False Reject Rate). En este sistema, el clasificador Euclídeo es suficiente para obtener un porcentaje de aceptación bastante alto, por lo que el FRR es prácticamente cero (Garcia & Espinosa, 2001).

La adquisición de huellas dactilares con sensores capacitivos entregan una imagen de mejor calidad y resolución, comparados con los sensores ópticos y los escáneres, y al mismo tiempo son de menor tamaño y consumen menos energía, lo que permite que puedan ser usados en dispositivos portátiles o autónomos (González, Madrigal, Arbeláez, & Fernández, 2007). El algoritmo de reconocimiento diseñado ha permitido tener unas bajas tasas de error que se muestran al obtener una TFR del 8% (tasa de falso rechazo), que ocurre cuando se niega la identificación de una huella válida, y una TFA del 4% (tasa de falsa aceptación), que ocurre cuando se acepta la identificación de una huella inválida.

La importancia del uso de los sistemas de control biométrico basados en huellas dactilares, es el sistema de acceso más utilizado no solamente en

controles de acceso para ingreso y salida, también como método de control del personal dentro de la organización para hacer un mejor uso del tiempo de la jornada laboral, pago de nómina, voto electrónico, acceso a computadoras, redes y control a zonas restringidas dentro de la misma organización (Maya, 2014).

2.2. BASE TEÓRICA

2.2.1. Biometría

A la biometría se le define como la ciencia dedicada al estudio estadístico de las características cuantitativas de los seres vivos como son: peso, longitud, etc. Este término es utilizado para referir a los métodos automáticos que analizan determinadas características humanas con el fin de identificar y autenticar a las personas (Tapiador & Singüenza, 2005).

La biometría se encuentra vinculada también al área de la criptografía y seguridad informática, así estas tres áreas pueden considerarse como los pilares para la concepción de un sistema de seguridad aplicando tecnologías biométricas en las organizaciones, por ejemplo, algo que una persona en estos tiempos debe saber es su clave secreta si desea acceder a su cuenta bancaria, para realizar una transacción, tiene una tarjeta personal, y a la vez es una persona a quien se le puede identificar biométricamente, por ejemplo mediante su huella dactilar.

En función de las características que se usan en la identificación se distinguen dos áreas:

- **Biometría estática:** Es el estudio de las características físicas del ser humano.
- **Biometría dinámica:** Estudia las características de la conducta del ser humano.

A la biometría dinámica pertenecen las características: manuscrito, firma, voz, tecleo, gestos o movimiento corporal.

Para que las características físicas y conductuales sean utilizadas como elementos de identificación deben cumplir con los siguientes requisitos:

- a) **Universalidad:** Todas las personas tienen o presentan una característica.
- b) **Singularidad:** Dos personas cualesquiera son distinguibles una de la otra en base de sus características.
- c) **Estabilidad:** La característica tiene que ser lo suficientemente estable a lo largo del tiempo y en condiciones ambientales diversas.
- d) **Cuantificable:** La característica tiene que ser medible cuantitativamente.
- e) **Aceptabilidad:** El nivel de aceptación de la característica por parte de las personas debe ser suficiente como para ser considerada parte del sistema de identificación biométrico.
- f) **Rendimiento:** El nivel de exactitud requerido debe ser elevado para que la característica sea aceptable.
- g) **Usurpación:** Permite establecer el nivel al que el sistema es capaz de resistir a técnicas fraudulentas.

- h) A la biometría estática pertenecen las características: huella dactilar, ojo, retina, iris, líneas de la mano, geometría de la mano, geometría facial, características de la cara, poros de la piel, etc.

El objetivo de usar características biométricas es poseer un conjunto de herramientas que permitan obtener la identificación y verificación de la identidad de una persona.

2.2.2. Huella dactilar:

Una huella dactilar cualquiera, es la representación de la morfología superficial de la epidermis de un dedo, ésta posee un conjunto de líneas que, en forma global, aparecen dispuestas en forma paralela (Arrieta et al.). Sin embargo, estas líneas se intersectan y a veces terminan en forma abrupta. Los puntos donde éstas terminan o se bifurcan se conocen técnicamente como puntos característicos. Para concluir si dos huellas dactilares corresponden o no a la misma persona se lleva a cabo un procedimiento que comienza con la clasificación de la huella dactilar y termina con la correspondencia o comparación de los puntos característicos de ambas huellas. La clasificación de huellas corresponde a un análisis a escala "gruesa" de los patrones globales de la huella que permite asignarla a un conjunto predeterminado o clase, lo que se traduce en una partición de la base de datos a ser revisada. Por otro lado, la correspondencia de huellas lleva a cabo una comparación a escala "fina" de las huellas dactilares a partir de los vectores de características resultantes de representar la geometría de cada uno de los puntos característicos. En otras palabras, la correspondencia de huellas dactilares consiste en encontrar el grado

de similitud entre dos vectores de características cuyas componentes representan a los puntos característicos de cada huella.

FIGURA 1
HUELLA DACTILAR



Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Huellas dactilares en biometría.

Las huellas dactilares poseen grandes ventajas sobre otros identificadores biométricos que lo han llevado a ser el identificador biométrico más fiable y aceptado en la actualidad, destacando entre todas estas ventajas las siguientes (Higuchi, 2001):

Perennidad. - La perennidad se basa en el indudable hecho de que las huellas dactilares se forman a partir del sexto mes de vida intra-uterina, siendo perennes desde ese momento y hasta la descomposición del cadáver en que viene la desintegración. Inclusive los dibujos formados por las crestas papilares persisten miles de años en estado de momificación.

Inmutabilidad. - La inmutabilidad se apoya en el hecho de que las crestas papilares no pueden modificarse voluntaria ni patológicamente, pues hasta las lesiones, quemaduras y desgastes profesionales o intencionales que sufra una

persona, se reproducen completamente siempre que no haya sido destruida profundamente la dermis.

Diversidad. - Por la diversidad de formas que tienen estos dibujos papilares, en los que jamás podrán hallarse dos iguales, podemos denominarlos diversiformes, pues aun concentrándose dos o más con mucha semejanza, los puntos característicos que posee cada uno de ellos, hacen imposible tal acontecimiento. Siendo científicamente comprobado que ni cuestión de razas, sexo, gemelismo ni transmisión hereditaria influyen para encontrarse, como antes se dijo, dos huellas dactilares iguales ni en una serie de sesenta y cuatro millones.

Universalidad. - La gran mayoría de la población humana tiene huellas dactilares legibles y pueden además ser fácilmente autenticables.

Fácil colectividad. - El proceso de recolección de huellas dactilares es con la invención de los sensores en línea muy fácil de realizar. Estos sensores tienen la capacidad de capturar imágenes de muy alta resolución en unos cuantos segundos.

Alto desempeño. - Las huellas dactilares poseen la más alta exactitud viable en modalidades biométricas.

Amplia aceptación. - Aunque la minoría de la población usuaria es negativa a permitir el escaneo de sus huellas dactilares, debido a la asociación de estas con criminalidad y bases de datos forenses, es como ya se mencionó el uso de las huellas dactilares la modalidad más utilizada de identificación biométrica.

2.2.4. Representación de la huella dactilar

Una huella dactilar es la representación de la morfología superficial de la epidermis de un dedo (Moenssens, 1971). Posee un conjunto de líneas que, en forma global, aparecen dispuestas en forma paralela (colinas o ridge lines y surcos o furrows). Sin embargo, estas líneas se interceptan y a veces terminan en forma abrupta. Los puntos donde las colinas terminan o se bifurcan se conocen técnicamente como detalles. Otros puntos singulares de una huella dactilar son aquellos donde la curvatura de las colinas es máxima.

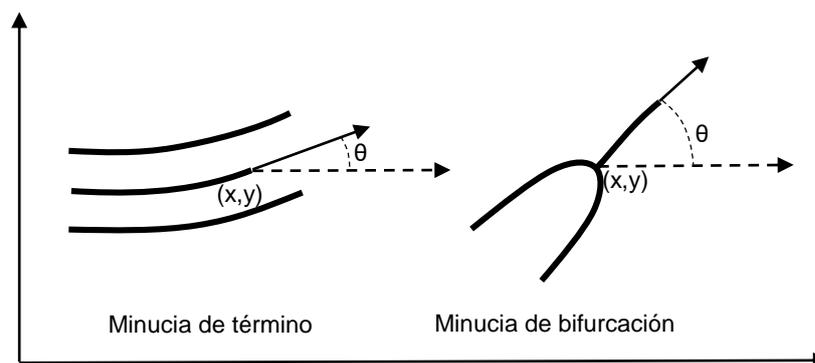
Esos puntos reciben el nombre de centros y deltas. La característica más interesante que presentan tanto las detalles como los puntos singulares centros y deltas son únicos para cada individuo y permanecen inalterados a través de su vida.

A pesar de esta variedad de detalles (18 tipos distintos de detalles han sido enumerados) las más importantes son las terminaciones y bifurcaciones de colinas (Newman, 1995). Esto último se debe a que las terminaciones de colinas representan aproximadamente el 60.6% de todos los detalles en una huella y las bifurcaciones el 17.9%. Además, varias de los detalles menos típicas pueden expresarse en función de las dos señaladas. Naturalmente, para poder identificar a una persona mediante los detalles de su huella es necesario poder representar a estas últimas para poder compararlas.

La representación estándar consiste en asignar a cada minucia su posición espacial (x,y) y su dirección q , que es tomada con respecto al eje x en el sentido contrario a los punteros del reloj. Esta representación se muestra en

la figura 2, para una minucia de término y una de bifurcación de colinas (Lee, Ramotowski, & Gaensslen, 2001).

FIGURA 2
REPRESENTACIÓN DE DETALLES EN TÉRMINOS DE SU POSICIÓN Y
DIRECCIÓN



Fuente: Lee, Ramotowski, y Gaensslen, (2001)

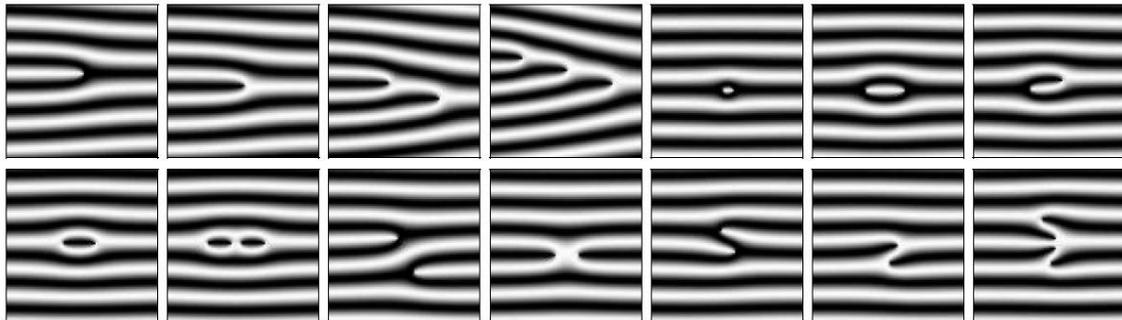
Para reconocer una Huella Dactilar se procede desde una escala gruesa a una fina. En primer lugar, se clasifica a la huella, es decir, se asigna a una clase previamente determinada de acuerdo a la estructura global de las colinas. El objetivo de esta etapa es establecer una partición en la base de datos con huellas (Lee et al., 2001). En general la distribución de las huellas en las distintas clases es no uniforme, esto obliga a subclasificar a la huella en estudio, es decir, generar un nuevo conjunto de clases a partir de las ya definidas. Luego se procede a la comparación a escala fina. Este proceso recibe el nombre de matching. El proceso consiste en comprobar si el conjunto de detalles de una huella coincide con el de otra.

2.2.5. Características de huella dactilar

Las imágenes de las huellas dactilares pueden ser representadas de forma global o bien de manera local, las características globales incluyen la

orientación de la rugosidad, espacio de rugosidades y puntos singulares, los cuales son ampliamente utilizados en la clasificación perspectiva, que se efectúa en base a las diversas clases de huellas dactilares (Kass & Witkin, 1987).

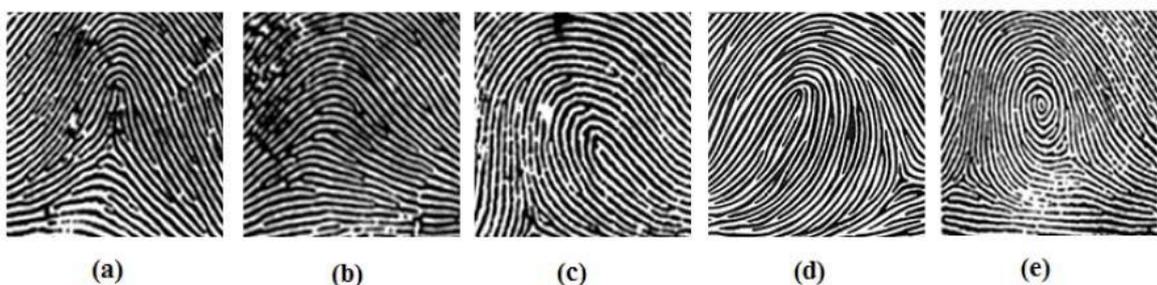
FIGURA 3
TIPOS DE MINUCIAS



Fuente: Kass y Witkin, (1987)

En la figura 3, se muestran los tipos de minucias como son: Línea terminante, bifurcación sencilla, bifurcación doble, bifurcación triple, punto, intervalo, gancho, espiral sencilla, espiral doble, línea cruzada, cruce, contacto de lado, puente sencillo, puente doble.

FIGURA 4
CARACTERÍSTICAS GLOBALES EN HUELLAS DACTILARES



Nota: a) Arco con tendencia, b) Arco, c) Ciclo derecho, d) Ciclo izquierdo, e) Remolino.

Fuente: Bulmer, (2003)

Los puntos característicos necesarios para la asociación de huellas dactilares, estos puntos característicos se encuentran definidos por los puntos donde las líneas terminan o se bifurcan, los cuales se conocen técnicamente como minucias (figura 3) (Bulmer, 2003). Otros puntos singulares de una huella dactilar son aquellos donde la curvatura de las rugosidades es máxima recibiendo el nombre de núcleos y deltas (figura 4). La característica más interesante que presentan tanto las minucias como los puntos singulares, es que son únicos para cada individuo y permanecen inalterados a través de su vida.

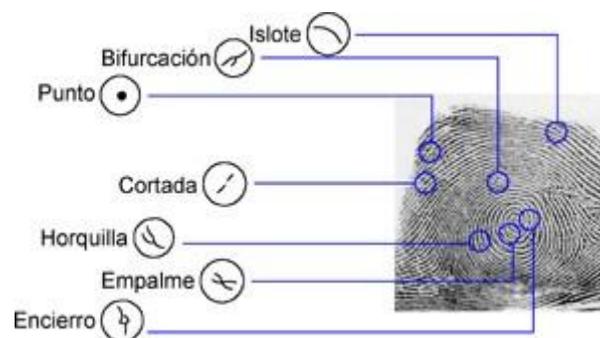
Sin embargo, las características globales no tienen suficiente poder discriminativo en ellas mismas como para implementar un algoritmo de asociación entre huellas dactilares por lo que estas son usadas para clasificación después de la extracción de las características locales.

2.2.6. Puntos Identificables:

“En la figura 5, aparecen los 7 puntos característicos que hay en un dedo, éstos se repiten indistintamente para formar entre 60 y 120 (por ejemplo 10 horquillas 12 empalmes 15 islotes, etc.) A estos puntos también se llaman minutae, o minucias, término utilizado en la medicina forense que significa “punto característico” (Lee et al., 2001). Cada huella digital tiene arcos, ángulos, bucles remolinos etc. (Llamados minucias).

FIGURA 5

MINUCIAS QUE SE DEBEN BUSCAR EN UNA HUELLA



Fuente: Lee et al., (2001)

Como observamos en la imagen anterior existen diferentes figuras que se pueden formar en la huella aquí se mencionan por ejemplo el islote que es una curva, la bifurcación cuando la línea se parte en dos y así sucesivamente pero dentro de cada uno de estas existen una variación para cada una de las formas.

Existe una ciencia encargada de estudiar las huellas dactilares de las personas y esta ciencia se llama dactiloscopia. A continuación, se define:

“La dactiloscopia es la ciencia que se propone identificar a las personas físicamente consideradas por medio de la impresión o reproducción física de los dibujos formados por las crestas capilares en las yemas de los dedos de las manos. Otra definición; Es la ciencia que trata de la identificación de la persona humana por medio de las impresiones digitales de los diez dedos de las manos” (Acinas, Sánchez, & Ungil, 2012).

Esta ciencia bosqueja a la huella por medio de zonas que son notorias las cuales se muestran a continuación:

El dactilograma y su topografía

El dactilograma es la impresión digital tomada directamente sobre el papel, con tinta (litográfica) (Abadi, Abedini, & Rodríguez Migueles, 2013). Ver

anexos que es tinta litográfica y su preparación. Cada dactilograma está compuesto por tres zonas de invasión en la siguiente forma:

A: Zona Marginal, B: Zona Nuclear, C: Zona Basilar

FIGURA 6
ZONAS DEL DACTILOGRAMA

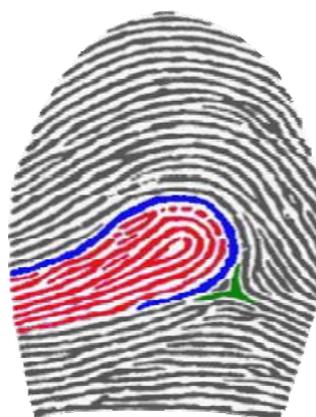


Fuente: (Abadi, Abedini, y Rodríguez Migueles, 2013)

Puntos importantes de la huella dactilar

Existen tres puntos más importantes de la huella dactilar: Delta, línea directriz y Zona nuclear (Abadi et al., 2013).

FIGURA 7
LOCALIZACIÓN DE ALGUNOS PUNTOS IMPORTANTES DE UNA HUELLA



Fuente: Abadi et al., (2013)

DELTA: Se dividen en negros o salientes y blancos o hundidos, los negros se dividen en cortos o largos y los blancos se dividen en cerrados o abiertos, los deltas negros siempre están unidos y los blancos no.

Línea DIRECTRIZ: Es aquella que partiendo del delta encierra o **circunscribe** la zona nuclear.

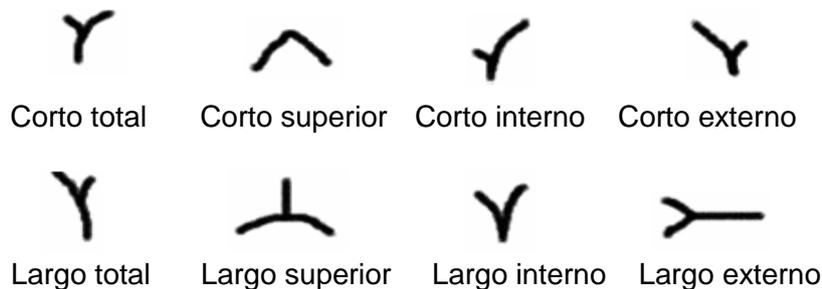
Zona NUCLEAR: Es la región central del dactilograma y la más importante, ya que esta zona es la que determina a los 4 tipos fundamentales del sistema.

2.2.7. Tipos de deltas de las huellas

FIGURA 8

TIPOS DE DELTAS ENCONTRADOS EN UNA HUELLA

Deltas negros



Deltas blancos



Fuente: Babler, (1991)

Dado que la huella tiene muchos patrones para ser identificadas las podemos utilizar en una red neuronal artificial para clasificarlas debido a que éstas pueden diferenciar figuras o formas con la ayuda de patrones únicos.

Debido a estas características únicas que tienen las huellas digitales en las personas, estas nos pueden servir para identificar a la persona sin necesidad de tomarle toda la mano.

(Babler, 1991) La huella dactilar es la representación de la morfología superficial de la epidermis de un dedo. La cual posee un conjunto de líneas que, en forma global, aparecen dispuestas en forma paralela y que se forman alrededor del sexto mes del desarrollo fetal siendo únicas e invariantes a lo largo de la vida del individuo.

2.2.8. Dispositivo de captura de la huella dactilar

Las huellas se obtienen utilizando dispositivos de adquisición directa de la huella dactilar al colocar el dedo sobre la superficie sensible del sensor electrónico. Las formas de reconstrucción de la huella capturada en una imagen digital depende de los principios físicos de funcionamiento del sensor utilizado, este principio físico se puede establecer mediante la siguiente clasificación de sensores:

Sensores ópticos. Entre estos sensores están aquellos que se basan en la reflexión de la luz sobre la yema del dedo (FTIR, Frustrated Total Internal Reflexion), los sensores basados en fibra óptica, los electro-ópticos y los sensores sin contacto.

Sensores de estado sólido. A este grupo pertenecen los sensores capacitivos, térmicos, de campo eléctrico y piezoeléctrico.

Sensores ultrasónicos. Estos dispositivos funcionan proyectando pulsos ultrasónicos.

De manera particular para la adquisición de huellas dactilares se utilizó el dispositivo Futtronic FS88, esto debido a que solo necesitamos las huellas en formato imagen.

FIGURA 9

LECTOR DE HUELLA FS88 FPIS 201/PIV



Fuente: Imágen futtronic

El FS88 FPIS 201/PIV es un escáner de huellas dactilares. Fue certificado por el FBI y homologado por el Registro Nacional de Identificación y Estado Civil (RENIEC) de Perú. Pueden ser usados con el Software de Captura Biométrica del RENIEC, Sistema Identifica del RENIEC, Servicio de Pasarela Biométrica del RENIEC, Web Service Biométrico del RENIEC, Sistema de Notarios del Perú, Plataforma de Servicios Institucionales SUNARP, Banco de la Nación, EsSalud, PNP (patrulleros inteligentes), INPE, MTC (escuelas de conductores, centros de salud), MINSA (cero colas) y otros. Asimismo, diversos modelos tienen lector/grabador de DNI Electrónico (DNle), para ser usados con la firma digital RENIEC ReFirma y en validaciones biométricas Match on Card (MoC).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación corresponde al tipo de investigación experimental por lo que se manipularon las técnicas para lograr los propósitos propuestos.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación corresponde al experimental.

G -----X-----O

Donde:

G: Grupo Experimental imágenes de entrenamiento.

X: Tratamiento: software de comparación de huella

O: Instrumento: patrones de huellas.

3.3. POBLACION Y MUESTRA

La población estudiada está conformada por las huellas dactilares tomadas a los postulantes del proceso de admisión Examen CEPREUNA (centro pre universitario de la Universidad Nacional del Altiplano) julio 2013, utilizada para su procesamiento.

Cantidad de postulantes del proceso de admisión

N = 2742 Huellas digitales

Utilizando software Epidat Versión 4.1 (Epidat, Ayçaguer, Fernández, & Mujica, 2014) se determinó n = 226

$$n = \frac{Z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}^2 * N * p * q}{e^2(N - 1) + \left(Z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}^2 * p * q\right)}$$

Donde:

n : Tamaño de muestra

$Z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$: Confiabilidad al 95%

p : Proporción de huellas 80%

q : Proporción desfavorable 20%

e : Error permitido o desfavorable 0.05

N : tamaño de población

Resultados:

CUADRO 1

RESULTADOS DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

Precisión (%)	Tamaño de la muestra
5,000	226

[2] Muestreo simple aleatorio:

Datos:

Tamaño de la población: 2742

Tamaño de la muestra: 226

Número de los sujetos seleccionados:

Probabilidad de selección: 8,2422%

3.4. RECONOCIMIENTO DE HUELLAS DACTILARES

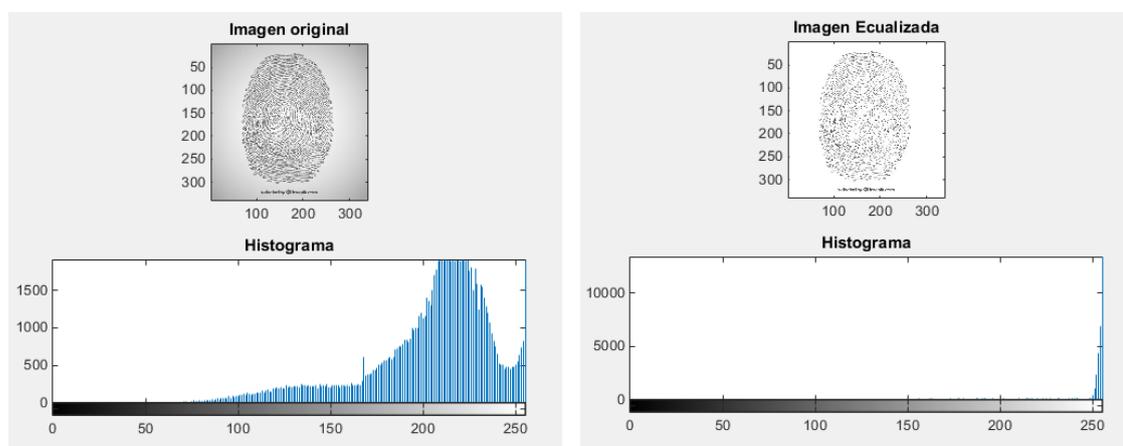
La captura y el tamaño de las imágenes pueden ser muy diversas dependiendo del dispositivo que se utilice para capturar dichas. En esta investigación las pruebas o las huellas a utilizar se han tomado de la base de datos de uno de los procesos de admisión de la Universidad Nacional del Altiplano, capturados en los procesos de admisión. El programa consiste en las siguientes etapas:

3.4.1. Ecuación de Histograma.

El proceso de ecualizado mejora el contraste de una imagen y tiene por objetivo obtener un nuevo histograma, a partir del histograma original, con una distribución uniforme de los diferentes niveles de intensidad. Además, mejora la calidad visual de las imágenes saturadas (Elizondo & Maestre, 2002). El ecualizado está implementado con el comando `histeq` en Matlab (MathWorks, 2016).

FIGURA 10

HISTOGRAMAS DE LAS IMÁGENES ORIGINAL Y ECUALIZADA



Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Mejora de la imagen mediante la Transformada de Fourier

El proceso de mejora utilizando la Transformada de Fourier divide la imagen en pequeños bloques de procesamiento de 32 por 32 píxeles y luego realizar la transformada de Fourier de cada bloque en función de:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) * \exp \left\{ -2j\pi * \left(\frac{u_x}{M} + \frac{v_y}{N} \right) \right\} \quad \text{ec. (1)}$$

Con: $u = 0, 1, 2, \dots, 31$ y $v = 0, 1, 2, \dots, 31$

Con el fin de mejorar cada bloque por sus frecuencias dominantes, cada bloque después de la FFT se multiplica por su magnitud una serie de veces. Y esta magnitud se puede representar como: $abs(F_{(u,v)}) = |F_{(u,v)}|$

El bloque mejorado se representa por la siguiente expresión:

$$g(x, y) = F^{-1} \left\{ F_{(u,v)} * |F_{(u,v)}|^k \right\} \quad \text{ec. (2)}$$

Donde: $F^{-1}(F_{(u,v)})$ esta dado por:

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} F_{(u,v)} * \exp \left\{ j2\pi * \left(\frac{u_x}{M} + \frac{v_y}{N} \right) \right\} \quad \text{ec. (3)}$$

Con $x = 0, 1, 2, \dots, 31$ e $y = 0, 1, 2, \dots, 31$

K es una constante que se determina experimentalmente, aquí vamos a elegir el valor de $k = 0,45$ por algunos experimentos realizados con huellas dactilares. Suponiendo que, si tenemos "k" un mayor, entonces las crestas se mejorarán, pero si tienen un "k" muy alto, entonces puede dar a lugar a una falsa unión de las crestas. Por lo tanto, las minucias podrían convertirse en bifurcaciones. La figura 12 representa la imagen después de la mejora de FFT en la figura 11 se muestra la imagen después de la ecualización del histograma.

FIGURA 11

REPRESENTACIÓN DE LA HUELLA DESPUÉS DE LA ECUALIZACIÓN



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 12

REPRESENTACIÓN DE LA HUELLA DESPUÉS DE LA ECUALIZACIÓN DEL
HISTOGRAMA

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Normalización

Uno de los problemas fundamentales en el procesamiento de imágenes es provocado por los cambios de iluminación; las variaciones en la dirección y la intensidad de la iluminación, son factores que modifican significativamente la apariencia de los objetos en una imagen digital (Rivas, 2014).

Las huellas dactilares dependen de diversos factores para la caracterización de su media y la varianza, así como son las características particulares del sensor, grado de humedad o sequedad de la piel de la yema del dedo, el grado de presión que ejerce el usuario sobre la superficie del sensor, ubicación del dedo sobre la superficie del sensor, etc. Varios de los procesos o etapas que intervienen en el análisis de la huella dactilar acaban finalmente comparando el resultado con un umbral cuyo valor depende en gran medida del nivel medio de la intensidad de la imagen. El objetivo de la etapa de normalización es fijar la media y la varianza de la imagen a un valor fijo y determinado previamente por el usuario, de forma que el resultado de las etapas posteriores no dependa de los valores umbrales que intervienen en el procesado.

Se define la varianza calculada V_c de una imagen de $n \times m$ pixeles como:

$$V_c = \frac{1}{n.m} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (I_{(i,j)} - \bar{X})^2 \quad \text{ec. (4)}$$

Donde:

$I_{(i,j)}$: intensidad asociada con el pixel (i,j)

\bar{X} : Media de la intensidad de la imagen

Seguidamente se calcula para cada pixel la intensidad calculada (I_c) teniendo en cuenta que se toma una media de 125 y una varianza deseada de 100.

De donde:

$$I_c = \sqrt{\frac{V_d(1-md)^2}{V_c}} \quad \text{ec. (5)}$$

Donde:

V_d : Varianza deseada

V_c : Varianza calculada

En esta etapa se determina el nuevo valor de intensidad de cada píxel en la imagen tal como se muestra a continuación:

$$I(i, j) = \begin{cases} \bar{X} - \sqrt{\frac{V_d(I-md)}{V_c}} & \text{si } I < \bar{X} \\ \bar{X} + \sqrt{\frac{V_d(I-md)}{V_c}} & \text{si } I > \bar{X} \end{cases} \quad \text{ec. (6)}$$

Con este último proceso de normalización se mejora notoriamente la imagen de las huellas dactilares modificando la intensidad de los píxeles para fijar los nuevos valores de la media y varianza.

FIGURA 13

PROCESO DE NORMALIZACIÓN DE HUELLAS



a) *Imagen original.*



b) *Imagen normalizada.*

Fuente: Elaboración propia

3.4.4. Binarización de la imagen de la huella

La binarización de la imagen de la huella se hace para transformar una imagen de grises de 8 bits a una imagen binarizada de 1 bit, en valor 0 si es para

las crestas y valor 1 para los surcos. Y después de la binarización se resaltan en color negro las crestas y surcos se resaltan en color blanco.

En la investigación se utiliza el método de binarización adaptativa llamado como "umbral adaptativo" para binarizar la imagen de la huella dactilar. Este método transforma el nivel de gris a 0 si está por debajo del umbral y en el valor de 1 si está por encima valor umbral. El valor umbral es la media tomada del nivel de gris del bloque actual ($16 * 16$) a la que pertenece el píxel.

FIGURA 14

IMÁGEN BINARIZADA



Fuente: Elaboración propia

3.4.5. Segmentación

Se utiliza la segmentación para subdividir la imagen con el fin de separar las partes de interés del resto de la imagen. En este proceso se identifican los bordes de la imagen, o se segmenta ésta en regiones, líneas o curvas y se clasifican los puntos de la imagen (píxeles), indicando las clases a la que pertenecen los diferentes píxeles. Los atributos básicos de segmentación de una

imagen son: la luminancia en imágenes monocromáticas, los componentes de color en imágenes en color, textura, forma, etc.

Matlab utiliza los algoritmos de segmentación de imágenes monocromáticas que generalmente se basan en una de las dos propiedades básicas de los valores del nivel de gris: discontinuidad y similitud (Palomino & Concha, 2009). En la discontinuidad el método consiste en dividir una imagen basándose en los cambios bruscos del nivel de gris. Los temas más importantes en la discontinuidad son: a) detección de puntos aislados, y b) detección de líneas y c) detección de bordes de una imagen. En la similitud, se presenta la regularidad en los valores del nivel de gris, los principales métodos están basados en a) umbralización, b) crecimiento de región, y c) división y fusión de regiones.

La segmentación de una imagen basada en la discontinuidad o en la similitud de los valores del nivel de gris de sus píxeles es aplicable tanto a las imágenes estáticas como a las dinámicas (variantes en el tiempo). En la Figura 15, se muestra un ejemplo de segmentación de imagen.

FIGURA 15

SEGMENTACIÓN DE IMÁGEN.



Fuente: Elaborado propia

Si bien hay diferentes métodos para hallar un umbral, la mayoría de ellos no dan buenos resultados cuando se trabaja con imágenes del mundo real, debido a la presencia de ruido, histogramas planos o una iluminación inadecuada. Por el contrario, el método de Otsu fue uno de los mejores métodos de selección de umbral para imágenes del mundo real, sin embargo, necesita mucho más tiempo para seleccionar el umbral óptimo. La importancia del método de Otsu radica en que es automático, es decir, no necesita supervisión humana ni información previa de la imagen antes de su procesamiento.

Matlab posee la función `graythresh`, que calcula el umbral de la imagen global utilizando el método de Otsu. Siendo su sintaxis:

```
T = graythresh(I);
```

Dónde:

I: Es la imagen original

T: es el umbral devuelto y está en el rango [0 1].

3.4.6. Orientación, filtrado y binarización de la imagen.

Para determinar la orientación, el filtrado y binarización se ha utilizado las subrutinas para cada caso, cuyo propósito es determinar si los pixeles de la imagen forman parte de las crestas (valor "1") o valles (valor "0").

3.4.7. Orientación

Este proceso se ejecuta después de la segmentación y su objetivo es determinar la orientación de las crestas (ridges) dentro de la imagen de la huella dactilar. Es muy importante conocer la orientación de las crestas porque en la

etapa de filtrado se utilizarán filtros que serán selectivos en cuanto a orientación y frecuencia (la frecuencia se fija en 1/6 Hz).

La orientación o direccionalidad se calculará dividiendo la imagen por bloques de tamaño $k \times z$, calculando la orientación del pixel central y aplicando esta orientación a todo el bloque.

Antes de calcular la orientación del pixel central se calcula para todos los gradientes en x e y, aplicando las máscaras Gx (cuadro 2) e Gy (cuadro 3). Para ello se realiza la convolución de cada pixel con una máscara de 3 x 3, conocida en procesamiento de señal como operador de Sobel:

CUADRO 2

MASCARA GX

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

CUADRO 3

MÁSCARA Gy.

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

Para calcular la orientación del pixel central (i, j), se aplica la siguiente expresión.

$$\theta(i, j) = 0.5 \arctg \left[\frac{V_x(i, j)}{V_y(i, j)} \right] \quad \text{ec. (7)}$$

Donde:

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{N}{2}}^{i+\frac{N}{2}} \sum_{v=j-\frac{N}{2}}^{j+\frac{N}{2}} 2G_x(u, v)G_y(u, v) \quad \text{ec. (8)}$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{N}{2}}^{i+\frac{N}{2}} \sum_{v=j-\frac{N}{2}}^{j+\frac{N}{2}} (G_x^2(u, v)G_y^2(u, v)) \quad \text{ec. (9)}$$

La orientación calculada según la ec. (7) resulta bastante aceptable teniendo en cuenta que existen algunos bloques en el que el cálculo de la orientación no es correcto. Conocida la estructura particular de los patrones de huella, es sabido que la direccionalidad de los pixeles no experimenta cambios bruscos entre un bloque y sus vecinos, de modo que el mapa de orientación suele ser a nivel local bastante homogéneo.

La eliminación de errores consiste básicamente en realizar un filtro paso bajo sobre el resultado obtenido. Para ello se calculan dos matrices que corresponden con $\text{sen}2\theta$ y otra con $\text{cos}2\theta$. A cada una de estas matrices se les aplica un filtro pasa bajo con una máscara 3x3 (cuadro 4), obteniendo dos nuevas matrices $\overline{\text{sen}2\theta}$ y $\overline{\text{cos}2\theta}$. Finalmente, se calcula el valor de la orientación según la siguiente expresión.

$$\theta = 0.5 \arctg \left[\frac{\text{sen}2\theta}{\text{cos}2\theta} \right] \quad \text{ec. (10)}$$

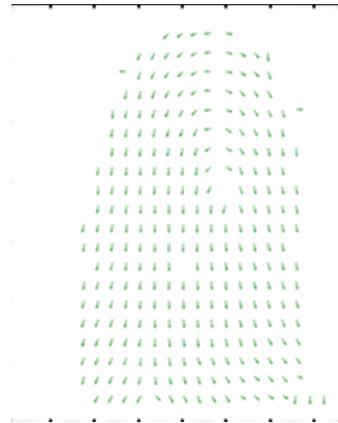
CUADRO 4

MASCARA DE TRES X TRES

1	1	1
1	2	1
1	1	1

FIGURA 16

IMÁGEN DESPUÉS DE EJECUTAR LA ETAPA DE ORIENTACIÓN



Fuente: Elaborado Propia

En la figura 17 puede apreciarse el resultado de la etapa de orientación a nivel de bloque (muestra la dirección principal de cada bloque).

3.4.8. Filtrado y binarización

Muchos métodos de binarización han sido propuestos, particularmente para datos de imágenes médicas (Rodríguez & Sosa). Desafortunadamente, la binarización usando técnicas tradicionales de procesamiento de bajo nivel, tales como: uso del umbral, a través de la media y otras operaciones clásicas requieren de una considerable cantidad de iteraciones guiadas por el observador para lograr un resultado satisfactorio. La automatización de esos modelos libres de aproximaciones es difícil debido a la complejidad, sombras y variabilidad dentro y a través de los objetos individuales.

La forma más usual y sencilla para llevar a cabo el proceso de binarización ha sido a través de la selección de un umbral, la cual puede ser de manera manual o automática. Una definición que conceptualiza el proceso de binarización es la siguiente:

Dado un conjunto N de números naturales, sean (x,y) las coordenadas espaciales de una imagen digitalizada, y sea $G = \{0,1, \dots, 2^B\}$ un conjunto de números positivos que representan los niveles de grises, donde B es el número de bits por píxeles. Entonces se puede definir una función de imagen como, $f : N \times N \rightarrow G$. La brillantez (nivel de gris) de un píxel con coordenadas (x,y) se denota como $f(x,y)$. Sea $\tau \in G$ un umbral y sea $C = \{c_0, c_1\}$ un par de niveles de gris binarios $C = (c_0, c_1 \in G)$. El resultado de segmentar una función de imagen $f(x,y)$ respecto al umbral τ es la función binaria $f_\tau : N \times N \rightarrow C$, tal que:

$$g(x,y) = \begin{cases} c_0 & \text{si } f(x,y) < \tau \\ c_1 & \text{si } f(x,y) > \tau \end{cases} \quad \text{ec. (11)}$$

Así los píxeles marcados con c_0 corresponden al fondo mientras que los marcados con c_1 son los objetos. En este caso se dice que la imagen ha quedado binarizada.

FIGURA 17

IMÁGEN DESPUÉS DE LA BINARIZACIÓN



Fuente: Elaboración propia

3.4.9. Extracción de la región de interés (ROI)

Para la extracción de la región de interés se utilizan dos operaciones morfológicas "ABIERTO" y "CERRADO". La operación ABIERTO expande la

imagen y eliminar picos que generalmente se introducen por el ruido de fondo. La operación "CERRADO" por lo general reduce la imagen y elimina las pequeñas cavidades.

La región de interés se obtiene después de la sustracción de área cerrada de la zona abierta, para este caso utilizamos los siguientes comandos en Matlab.

```
bwmorph(x,"close")
```

```
bwmorph(y,"open")
```

FIGURA 18

REGIÓN DE EXTRACCIÓN LIMITADA



Fuente: Elaboración propia

3.4.10. Adelgazamiento (Thinning)

Este método consta de dos sub iteraciones en cada una de las cuales se eliminan aquellos píxeles que cumplan con todas las reglas definidas para la iteración (De Giusti, Vila, & Villarreal, 2005).

Un píxel es un **punto final** si tiene un único vecino de color negro, siendo todos los demás blancos.

La **conectividad** de un píxel se define como el número de objetos que podría conectar en la imagen original y se calcula girando alrededor de un píxel

en el sentido de las agujas del reloj y contando cuántos cambios de color se producen. El número de cambios será la conectividad, es decir, el número de regiones que une.

Como primer paso del algoritmo, se aplica un suavizado de la imagen, se borran todos los píxeles que tengan dos o menos vecinos negros y conectividad menor a dos.

Luego se realizan las dos iteraciones para eliminar un píxel.

En la primera iteración, el mismo debe cumplir con las siguientes propiedades:

- Tener conectividad 1
- Cantidad de vecinos negros entre 2 y 6 (incluidos)
- Al menos uno de los siguientes píxeles blanco: $[x-1,y]$, $[x,y+1]$, $[x,y-1]$
- Al menos uno de los siguientes píxeles blanco: $[x-1,y]$, $[x+1,y]$, $[x,y-1]$

En la segunda iteración se eliminarán los píxeles que cumplan las siguientes reglas:

- Tener conectividad 1
- Cantidad de vecinos negros entre 2 y 6 (incluidos)
- Al menos uno de los siguientes píxeles blanco: $[x-1,y]$, $[x,y+1]$, $[x+1,y]$
- Al menos uno de los siguientes píxeles blanco: $[x,y+1]$, $[x+1,y]$, $[x,y-1]$

Las iteraciones continuarán mientras se eliminen puntos. Si no se realiza el preprocesamiento de la imagen, los resultados no son tan buenos.

FIGURA 19

PROCESO DE ADELGAZAMIENTO DE LÍNEAS



Fuente: Elaborado por (De Giusti, Vila, y Villarreal, 2005)

Aquí se puede observar en detalle cómo se generan las líneas en ambos métodos, se aprecia un grosor superior en el caso del método de Zhang-Suen.

En el proceso se utiliza el algoritmo propuesto por “Zhang-Suen” en donde se define a los ocho vecinos de un pixel así como se muestra en el cuadro 5:

CUADRO 5

REPRESENTACIÓN DEL BLOQUE, SU PIXEL CENTRAL Y DEFINICIÓN DE SUS VECINOS.

P8	P1	P2
P7	PC	P3
P6	P5	P4

Se aplican de forma iterativa dos conjuntos de condiciones. Aquellas que cumplen todas las condiciones de la etapa A se cambiarán y se pondrán de color blanco:

Etapa A

- Si se cumple que el número de vecinos distintos de “0” es mayor o igual que dos y menor o igual que seis. (se asegura que los puntos finales se preservan).
- Que solamente una vez se pasa de valor “0” a valor “1” si se recorre el borde, (se preservan los puntos que se encuentran entre ellos).
- Que alguno de “P1”, “P3” y “P5” es un “0”.
- Que alguno de “P3”, “P5” ó “P7” es un “0”.

Una vez cambiados los pixeles que cumplan las condiciones de la “Etapa A”, se cambiarán aquellos que cumplan las cuatro condiciones siguientes de la “Etapa B”.

Etapa B

- Si se cumple que el número de vecinos distinto de “0” es mayor o igual a dos y menor o igual a seis.
- Que solamente una vez se pasa del valor “0” a “1”, si se recorre el borde. Que alguno de “P1”, “P3” y “P7” es un “0”.
- Que alguno de “P1”, “P5” ó “P7” es un “0”.
- Este algoritmo se realizará de forma iterativa hasta que ningún pixel cambie su color de negro a blanco.

Una manera de realizar este algoritmo de una manera mucho más eficiente y rápida es haciendo la convolución de la imagen con un filtro, con los siguientes valores.

CUADRO 6

REPRESENTACIÓN DEL PESO DE LOS PÍXELES DEL BLOQUE.

Los ocho vecinos quedan entre “0” y “255”. Pueden valores numéricos que darían las antes, por ello deben eliminarse los puntos que cumplan:

128	1	2
64		4
32	16	8

codificados en un número calcularse de antemano los condiciones expresadas

S1=(3, 6, 7, 12, 14, 15, 24, 28, 30, 48, 56, 60, 62, 96, 112, 120, 129, 131, 135, 143, 192, 193, 195, 199, 207, 224, 225, 227, 231, 240, 241, 243, 248, 249).

S2=(3, 6, 7, 12, 14, 15, 24, 28, 30, 31, 48, 56, 60, 62, 63, 96, 112, 120, 124, 126, 129, 131, 135, 143, 159, 192, 193, 195, 224, 225, 227, 240, 248, 252).

Representando S1, los posibles casos que cumplen el primer conjunto de condiciones de la Etapa A y S2 los de la Etapa B. Así por ejemplo el valor “207” corresponde la convolución con una imagen como la de la cuadro 7.

CUADRO 7
MATRIZ DE TRES X TRES.

1	1	1
1		1
0	0	1

Si hacemos la convolución del cuadro 5 con el cuadro 6 se tiene como resultado de esta convolución “207”.

FIGURA 20
IMÁGEN ADELGAZADA.



Fuente: Elaboración propia

Haciendo la comparación entre la imagen de la figura 17 y la imagen de la figura 20, podemos apreciar con claridad como el grosor de las líneas se ha reducido considerablemente después de ejecutar el algoritmo de adelgazamiento.

3.4.11. Extracción de características

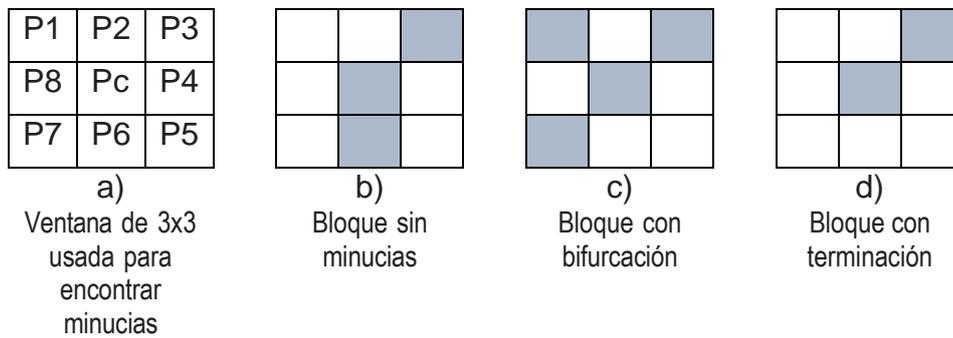
Después del proceso de adelgazamiento, la imagen está lista para aplicarle el algoritmo de detección de minucias (Aguilar et al., 2008). El algoritmo consiste en calcular el número de píxeles que cruzan el píxel central (P_c), esto se calcula con la ecuación siguiente:

$$P_c = \sum_{i=1}^8 p(i) \quad \text{si} \quad \begin{cases} P_c = 7 & \text{Bloque con terminación} \\ P_c = 6 & \text{Bloque sin minucia} \\ P_c \leq 5 & \text{Bloque con bifurcación} \end{cases} \quad \text{ec. (12)}$$

Observando que p_1 a p_8 es una secuencia ordenada de píxeles que definen el bloque de 8 vecinos del píxel central. En el cuadro 8a se puede observar la configuración de la ventana usada para localizar bifurcaciones y terminaciones. Los cuadros 8b, 8c y 8d son las configuraciones posibles que podemos encontrar.

CUADRO 8

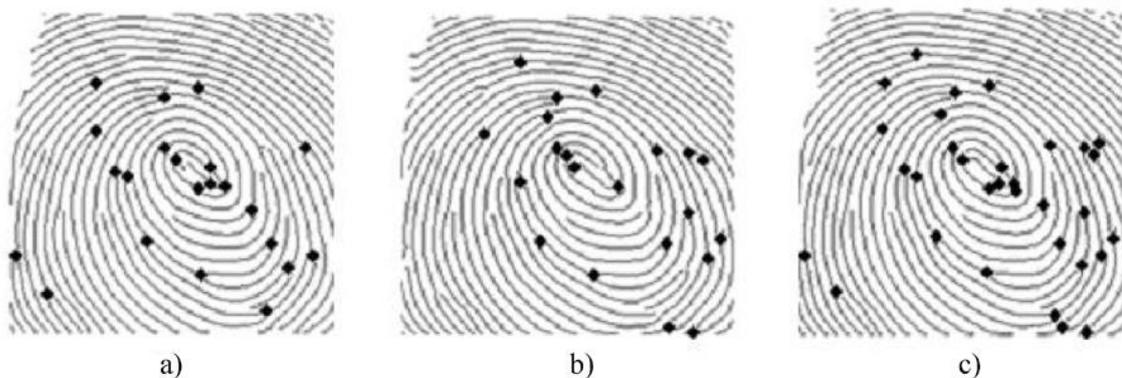
VENTANA USADA PARA LOCALIZAR BIFURCACIONES Y TERMINACIONES



Si $P_c = 7$ significa que estamos en una ventana con una terminación. Si $P_c=6$ significa que no existe bifurcación ni terminación. Y un $P_c \leq 5$ significa que hemos encontrado una bifurcación. Este proceso se realiza sobre toda la imagen binaria aplicando ventanas de 3x3. La figura 21 muestra las minucias localizadas.

FIGURA 21

MINUCIAS LOCALIZADAS



a) Imagen final con filtros de Gabor, b) Imagen final con FFT, c) Imagen final con combinación

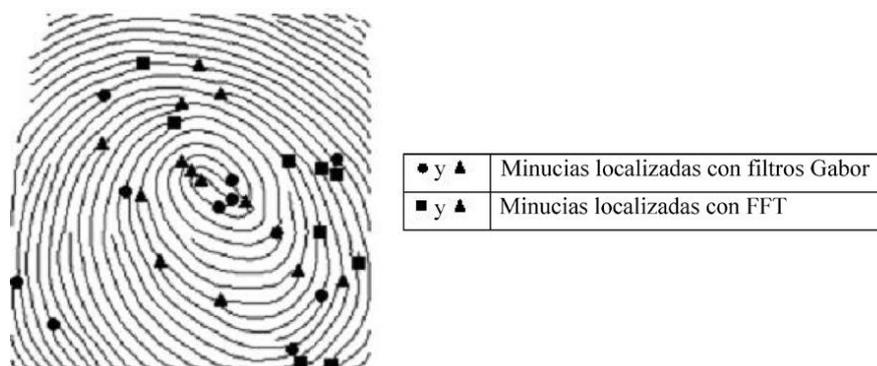
Fuente: Aguilar et al., 2008

En esta figura se puede observar que cuando se aplica solamente filtros de Gabor para aclarar la imagen, 22 minucias (bifurcaciones) fueron encontradas. Cuando aplicamos solamente FFT a la imagen, 21 minucias fueron encontradas. Pero cuando se aplicó la combinación, 32 minucias fueron

localizadas. En la figura 22 se puede observar también que la combinación de Filtros de Gabor con FFT nos ayuda a detectar una mayor cantidad de minucias.

FIGURA 22

IMÁGEN FINAL CON EL TOTAL DE MINUCIAS



Fuente: Aguilar et al., 2008

Esta es la razón por la cual se ha propuesto combinar dos etapas de aclaración y de esta forma evitar que algunas minucias sean eliminadas durante el proceso.

3.4.12. Reconocimiento de la huella

Luego de los procesos de segmentación, extracción de características y descripción, cada objeto queda representado por una colección (posiblemente ordenada y estructurada) de descriptores denominada **patrón**.

En los problemas de reconocimiento, cada patrón se supone que pertenece a una categoría o clase. El sistema de reconocimiento debe asignar cada objeto (de interés) a su categoría correspondiente.

Los métodos que permiten determinar, de manera automática, en qué clase se encuentra un objeto de un universo de trabajo se conocen como **clasificadores**.

Los algoritmos de clasificación tienen la misión de distinguir entre objetos diferentes de un conjunto predefinido llamado universo de trabajo (colección de clases), perteneciendo los diferentes tipos de objetos a algunas de estas clases.

Un clasificador toma un conjunto de características como entrada al proceso y produce como salida una clase etiquetada. En este caso, distinguir entre tipos de huellas.

Características discriminantes

Las características discriminantes o rasgos son las componentes o etiquetas que permiten discriminar a qué clases puede pertenecer un objeto del universo de trabajo, los comandos ***bwlabel*** y ***regionprops*** en Matlab, proporciona estas características discriminantes.

Criterios para la selección de características discriminantes

En general, se busca el conjunto mínimo de características que permiten determinar de manera unívoca a qué clase pertenecen todos los objetos del universo de trabajo. Una mala elección puede hacer que el sistema sea caro y lento.

Algunas propiedades que deben poseer las características discriminantes para el reconocimiento automático son:

Economía.- El mecanismo adecuado para el cálculo o la obtención de las características (sensores, dispositivos, etc.) debe tener un coste razonable.

Velocidad.- El tiempo de cálculo debe ser adecuado.

Independencia.- Las características no deben estar correlacionadas entre ellas.

Fiabilidad.- Implica que objetos de la misma clase deben tener vectores de características con valores numéricos similares.

Capacidad discriminante.- Los vectores de características de clases distintas tienen que tener valores numéricos distintos.

Métodos de clasificación de patrones

Existen varios métodos de los clasificadores de patrones, estos se pueden ordenar atendiendo a diferentes criterios como: la forma de construirse, el tipo de muestra, la información disponible. A continuación, se muestra una posible división de los algoritmos de clasificación:

Adaptación (Pattern Matching)

Representan cada clase mediante un patrón prototipo. Algunos métodos de este tipo son:

- Clasificador de mínima distancia
- Adaptación por correlación

Clasificadores estadísticamente óptimos

Se fundamentan en la Teoría de la decisión estadística. En este método tenemos:

- Clasificador Bayesiano para clases gaussianas.

Redes neuronales

Engloba a un conjunto de técnicas que proporcionan soluciones flexibles, adaptables a cada problema. Se fundamentan en la teoría

del aprendizaje estadístico.

Cada uno de estos métodos proporciona diferentes ventajas e inconvenientes. La elección de uno depende del problema que se vaya a resolver y de los resultados esperados del mismo. En esta investigación se utiliza los métodos de clasificación basados en la *Adaptación por Correlación*.

La Adaptación por Correlación se basa en la comparación de la imagen a clasificar con una o varias imágenes patrón que caracterizan a cada clase. Utilizan medidas de similitud basadas en correlaciones

3.4.13. Alineación minucias

Paso 1.- I_1 e I_2 representan dos conjuntos de puntos característicos dadas por:

$$I_1 = \{m_1, m_2, m_3, \dots, m_n\} \text{ donde } m_i = \{x_i, y_i, \theta_i\} \quad \text{ec. (13)}$$

$$I_2 = \{m'_1, m'_2, m'_3, \dots, m'_N\} \text{ donde } m'_i = \{x'_i, y'_i, \theta'_i\} \quad \text{ec. (14)}$$

Elegimos el factor de correlación para determinar las minucias similares existentes entre dos huellas. Las crestas asociados con cada punto característico están representados por una serie de coordenadas x ($x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$) de los puntos de las crestas. El muestreo se realiza determinando la longitud L de cresta a cresta, donde L es la longitud media entre crestas y n se establece 10 veces menos que la longitud total de cresta y debe ser menor que $10L$.

La similitud entre las dos crestas se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=0}^m x_i * X_i}}{\sqrt{\sum_{i=0}^m x_i^2 * X_i^2}} \quad \text{ec. (15)}$$

Dónde: $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ y $(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ representa dos conjuntos de coordenadas de x para 2 minucias elegidos y m es un valor mínimo de n y N . Si el resultado de similitud está por encima de 0,8 entonces se debe continuar con el paso 2, de lo contrario se debe continuar con el proceso hasta hacer coincidir las 2 minucias.

Paso 2.- En este caso cada conjunto de puntos característicos se transforma con respecto a las minucias de referencia y luego ayuda a obtener un sistema unificado (x,y) de coordenadas.

Suponemos que $M_{(x, y, \theta)}$ es el punto característico de referencia derivada de la etapa 1 (digamos de l_1) para cada punto característico. La composición y la rotación de todas las demás minucias se eliminan y solo se permanecen los de la referencia M de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$\begin{pmatrix} x_{i\text{nuevo}} \\ y_{i\text{nuevo}} \\ \theta_{i\text{nuevo}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\text{sen}\theta & 0 \\ \text{sen}\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i - x \\ y_i - y \\ \theta_i - \theta \end{pmatrix} \quad \text{ec. (16)}$$

Ahora, el nuevo sistema de coordenadas tiene su origen en la referencia M y el nuevo eje x coincide con la dirección de las minucias. El efecto de escala no se toma en cuenta debido a que las dos huellas dactilares han sido tomadas del mismo dedo y tienen casi el mismo tamaño. Finalmente se obtienen conjuntos transformadas de minucias (l'_1 e l'_2).

3.4.14. Comparación de minucias

El algoritmo de comparación de minucias se utiliza para encontrar el número de pares emparejados presentes en l'_1 e l'_2 .

De acuerdo con el algoritmo existe un punto de partida característico en l'_1 (es decir m_i) y un punto característico en l'_2 (es decir m_j), se dice que son

"coincidencia" si la diferencia espacial (sd) entre ellos es más pequeño que el valor de tolerancia dado r_0 y su diferencia de dirección (dd) es más pequeña que la tolerancia angular θ_0 , es decir su dirección es casi coincidente.

$$sd = \sqrt{((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)} \leq r_0 \quad \text{ec. (17)}$$

$$dd = \min(|\theta_i - \theta_j|, 360 - |\theta_i - \theta_j|) \leq \theta_0 \quad \text{ec. (18)}$$

La función indicadora $mm(m_i, m_j)$ devuelve 1 en caso de que se cumpla lo anterior, por lo que se obtiene:

$$mm(m_i, m_j) = \begin{cases} 1, & \text{si } sd(m_i, m_j) \leq r_0 \text{ y } dd(m_i, m_j) \leq \theta_0 \\ 0, & \text{si es diferente} \end{cases} \quad \text{ec. (19)}$$

Ahora, el número total de par minucias emparejado está dada por:

$$num(\text{minucia emparejado}) = \sum mm(m_i, m_j) \quad \text{ec. (20)}$$

Y el resultado final se calcula mediante la fórmula:

$$\text{resultado de emparejamiento} = \frac{num(\text{minucias emparejadas})}{\max(\text{numero de minucias en } I_1 \text{ e } I_2)} \quad \text{ec. (21)}$$

3.5. ÍNDICE DE EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO

Dos índices son bien aceptados para la determinación del rendimiento de un sistema de reconocimiento de huellas dactilares:

- Tasa de Falso Rechazo (FRR): - Para una base de datos de imagen, cada muestra de minucias se compara con las muestras restantes de un dedo particular, para calcular el sistema FRR básicamente determinamos mediante la siguiente fórmula.

$$(\%)FFR = \left(\frac{FR}{N}\right) * 100$$

Donde:

FR: Número de casos de falsas rechazo y N: Número de ejemplos

- Tasa de falsa aceptación (FAR): - Estas tasas son calculadas dividiendo el número de aceptaciones falsas por el número de intentos, es por ello, que se hace importante saber que produce una aceptación o coincidencia falsa. Los falsos positivos, con frecuencia, son atribuidos a fallas en los dispositivos o en sus programas, lo que es común en sensores baratos en los dispositivos o en códigos escritos de manera defectuosa. Una falsa coincidencia no es un problema tan grave, puesto es muy difícil que se presente una de ellas, sin embargo, siempre hay una posibilidad, por más remota que sea. No hay que ser un especialista para inferir que las personas, que buscan dispositivos biométricos, quieren que la tasa de falsa aceptación o de falsa coincidencia, se acerque lo más posible al cero absoluto. Una tasa de falsa coincidencia de 1% es de hecho aceptable.

$$(\%)FAR = \left(\frac{FA}{N}\right) * 100$$

Donde:

FR: Número de casos de falsas aceptaciones

N: Número de ejemplos

CAPITULO IV

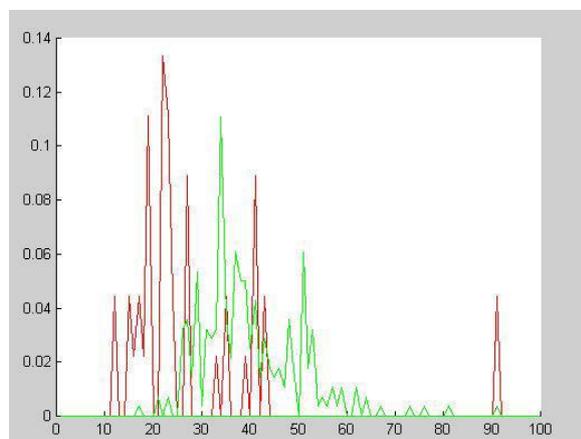
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

En el experimento se obtiene la curva de distribución que da una puntuación media correcta alrededor de 33 puntos de correspondencia incorrecta promedio, de alrededor de 25 puntos en la base a huella procesada.

FIGURA 23

DISTRIBUCIÓN DE RESULTADOS CORRECTAS E INCORRECTAS

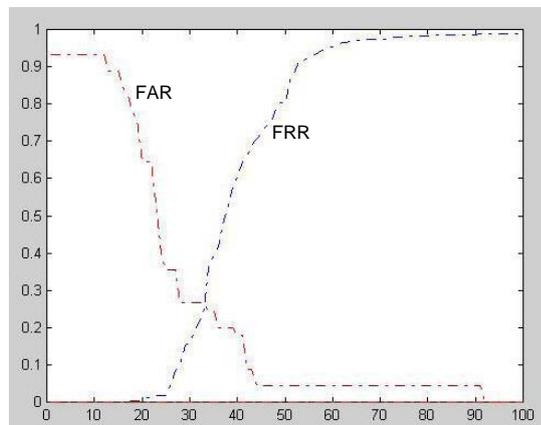


Fuente: Elaboración propia

En el experimento, el valor de FAR obtenido varía de 25 a 30% aproximadamente. Así, en un umbral de puntuación de 33 la tasa de verificación del algoritmo es de alrededor de 70 a 75%.

FIGURA 24

CURVA DE FRR VS FAR

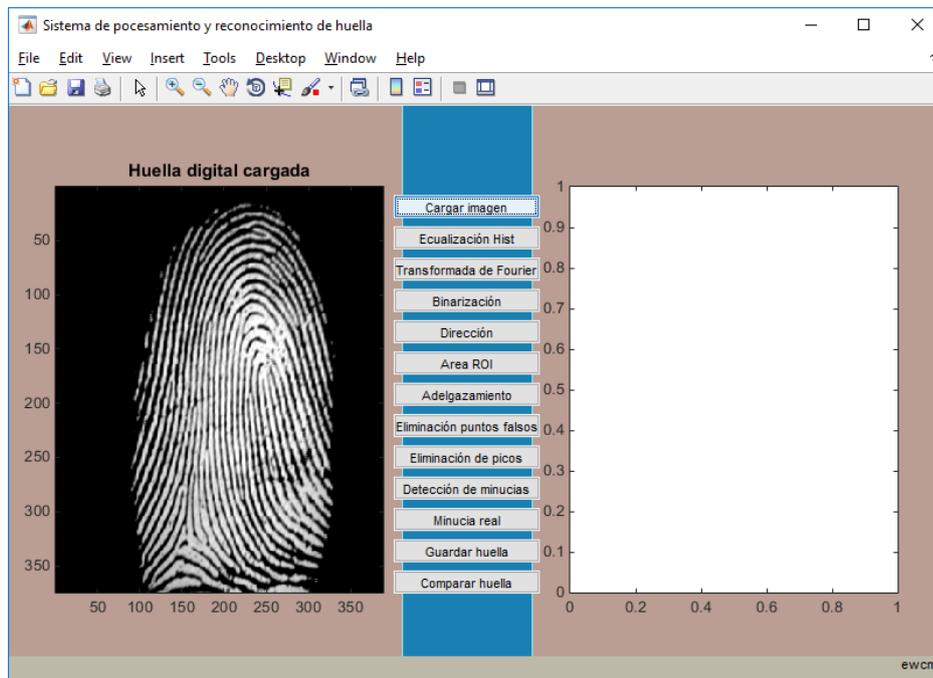


Fuente: Elaboración propia

4.2. EJECUCIÓN DEL SISTEMA DE RECONOCIMIENTO

FIGURA 25

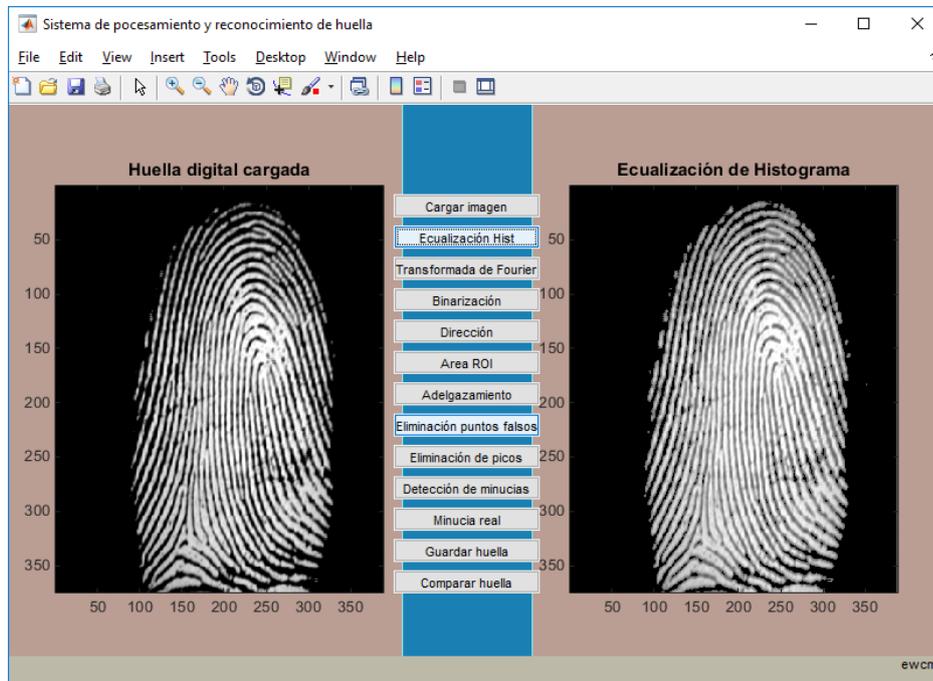
CARGA DE IMAGEN DE LA HUELLA



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 26

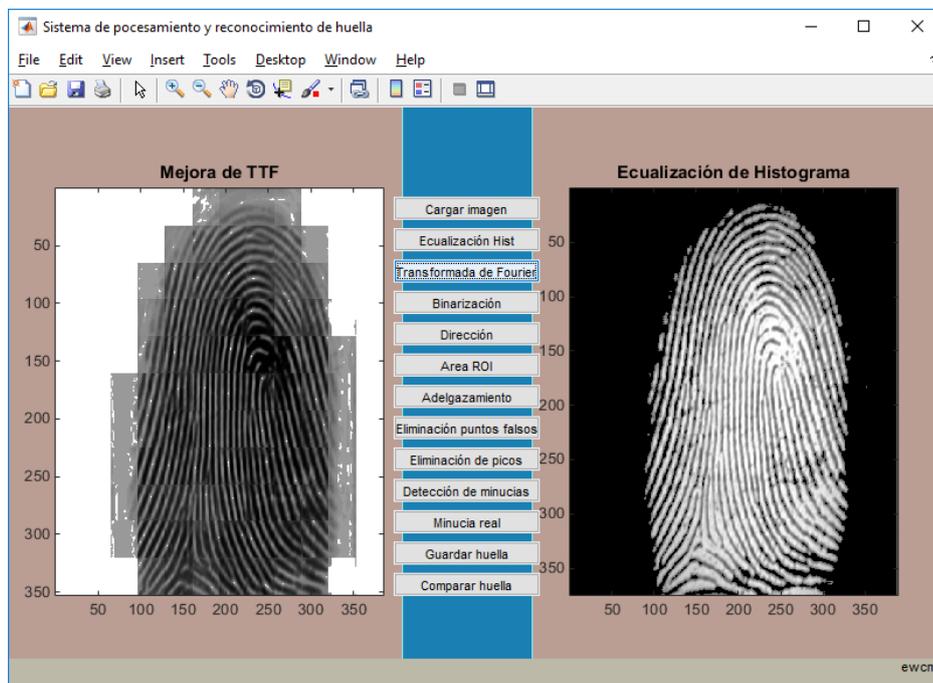
ECUALIZACION DE LA IMAGEN



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 27

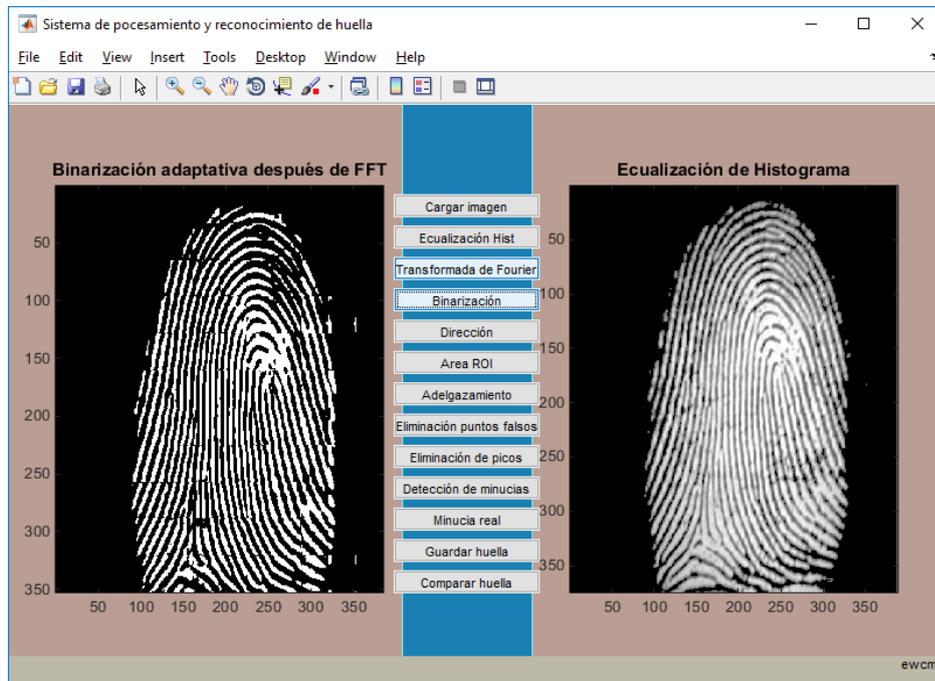
TRANSFORMADA DE FOURIER EN LA HUELLA



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 28

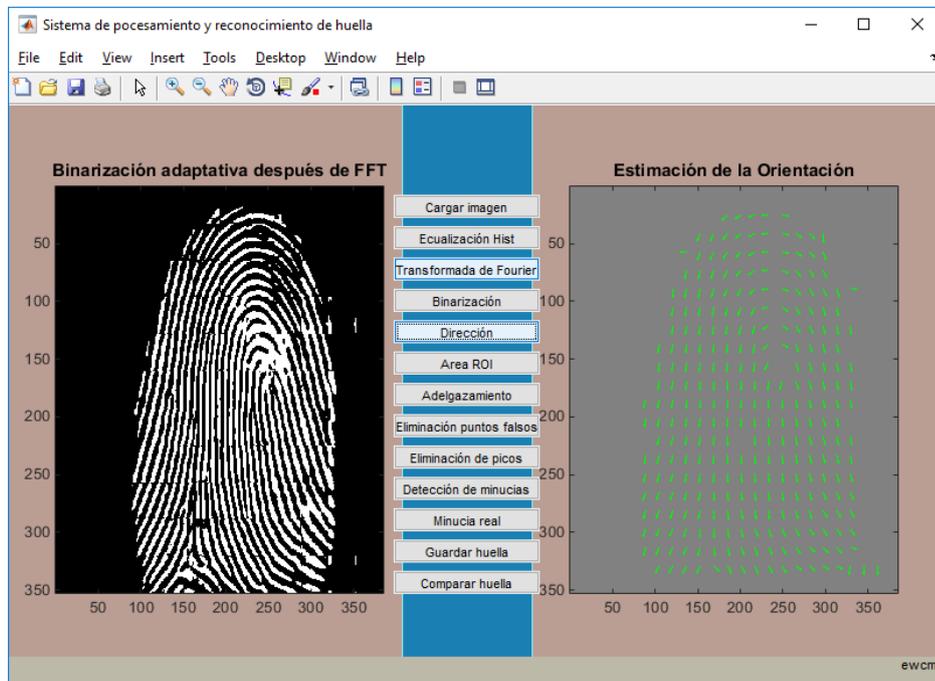
BINARIZACIÓN DE LA HUELLA



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 29

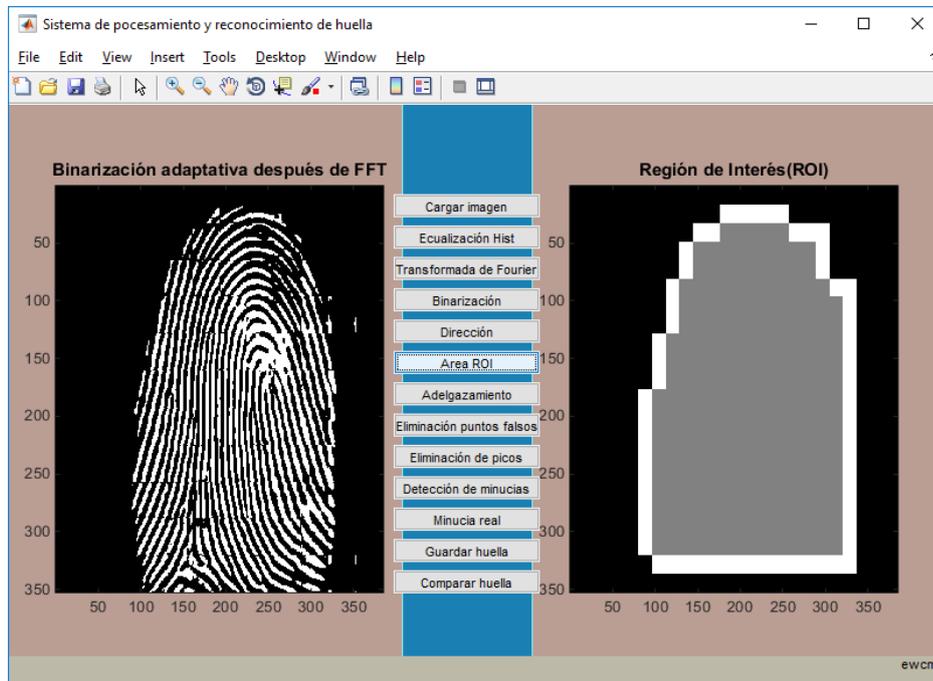
DETECCIÓN DE DIRECCIÓN DE MINUCIAS



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 30

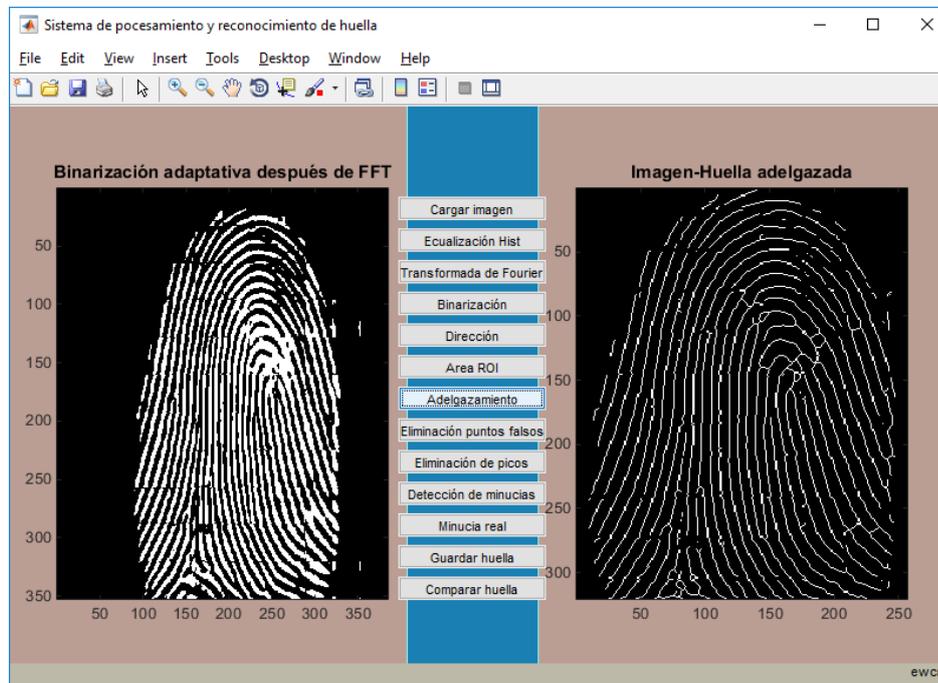
EXTRACCIÓN DE LA REGIÓN DE INTERÉS



Fuente: Elaboración propia

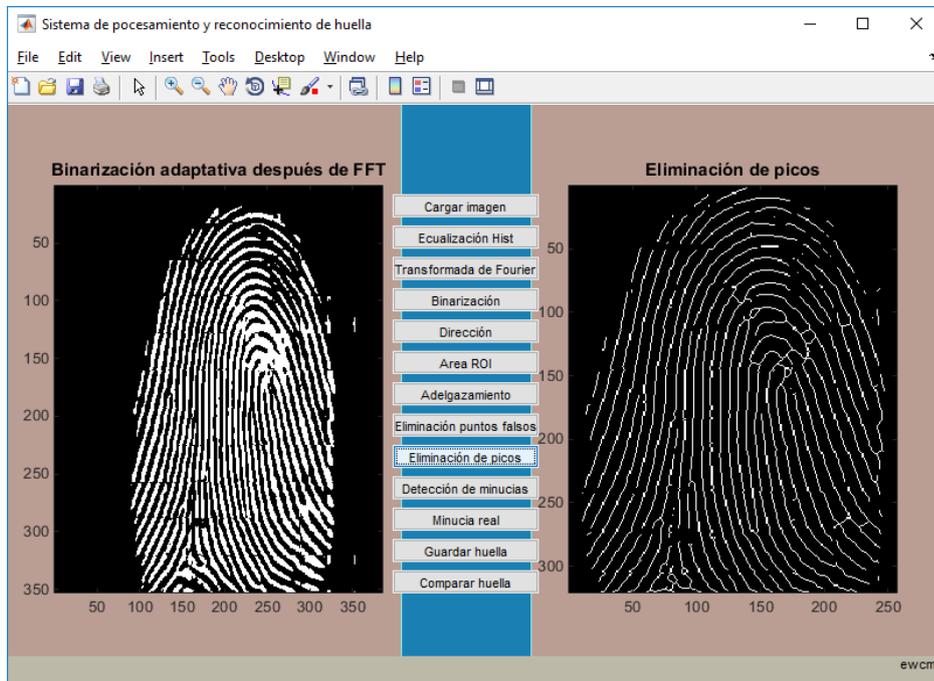
FIGURA 31

ADELGAZAMIENTO



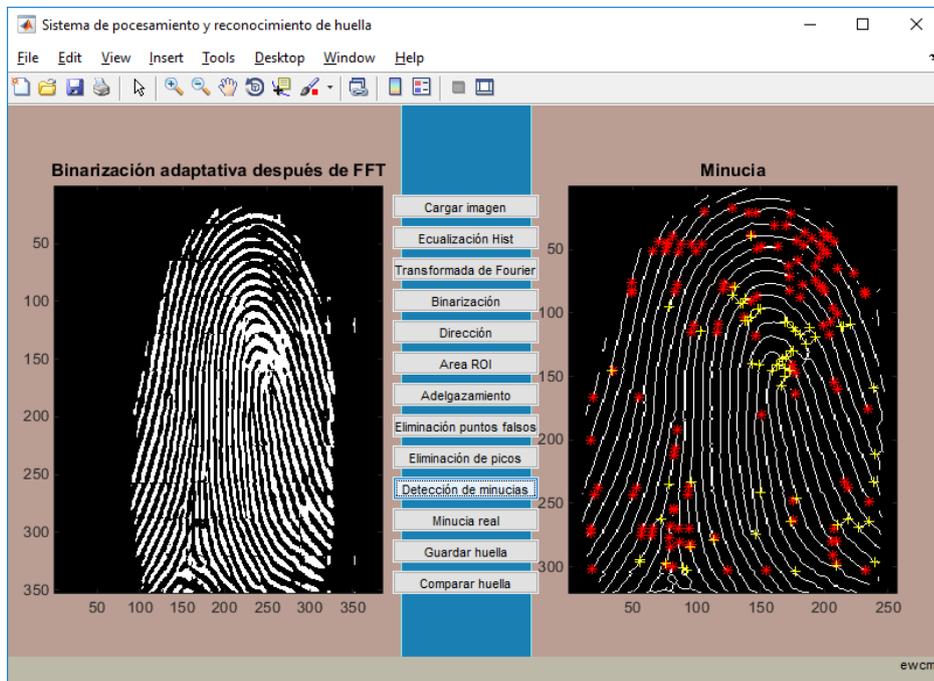
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 32
ELIMINACIÓN DE PICOS



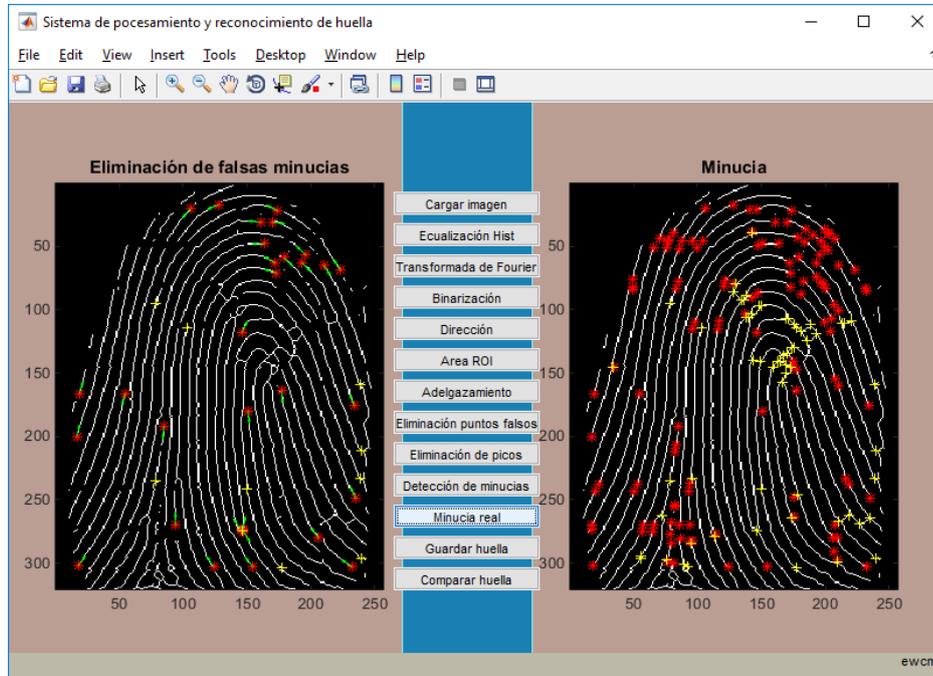
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 33
DETECCIÓN DE MINUCIAS



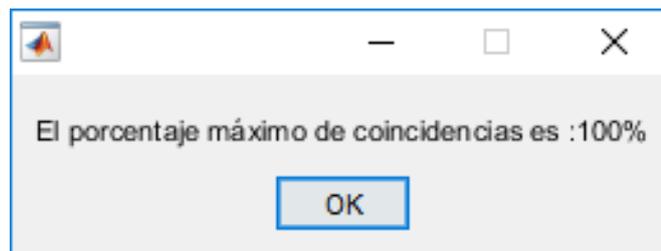
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 34
EXTRACCIÓN DE MINUCIAS Y ALMACENAMIENTO DE LA HUELLA PROCESADA



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 35
COMPARACIÓN DE LA HUELLA



Fuente: Elaboración propia

4.3. PRUEBA DE HIPOTESIS

Para contrastar la hipótesis se utilizó el estadístico de prueba z teniendo en cuenta que la cantidad de procesos realizados es superior a 30 muestras. Para lo que se formularon las siguientes hipótesis:

Ho: El sistema de reconocimiento desarrollado no tiene una eficiencia aceptable para el procesamiento y comparación de huellas dactilares.

Ha: El sistema de reconocimiento desarrollado tiene una eficiencia aceptable para el procesamiento y comparación de huellas dactilares.

Teniendo en cuenta los siguientes datos:

N : Tamaño de población con $N = 2884$

n : Tamaño de muestra con $n = 226$

$Z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$: Confiabilidad al 95%

P : Proporción estándar 80%

p : Proporción de éxitos en la muestra

α : Probabilidad de significancia

q : Proporción de error

x : Número de éxitos en la muestra $x = 223$

La proporción de éxitos en la muestra resulta:

$$p = \frac{\text{número de éxitos en la muestra}}{\text{tamaño de la muestra}} = \frac{x}{n}$$

$$p = \frac{223}{226} = 0.987$$

Proporción de error:

$$q = 1 - p$$

$$q = 1 - 0.987 = 0.013$$

La probabilidad de significancia utilizada es $\alpha = 0.05$. Como n es mayor que 30, entonces se utiliza la distribución normal Z, con $Z_t = 1.96$.

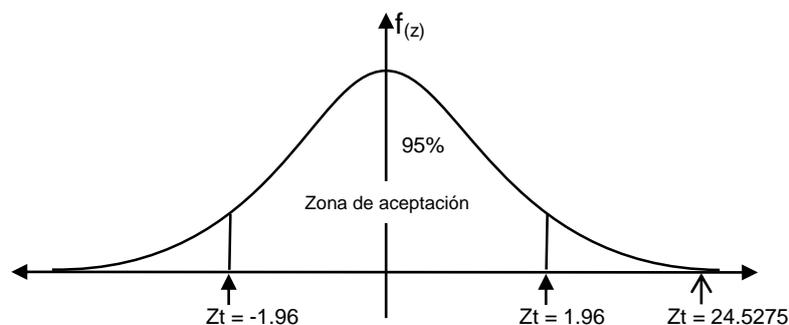
Prueba estadística:

$$Z_c = \frac{p - P}{\sqrt{\frac{p * q}{n}}} = \frac{0.987 - 0.8}{\sqrt{\frac{0.987 * 0.013}{226}}}$$

$$Z_c = 24.5275$$

Nivel de decisión:

Como $Z_c = 24.52$ es mayor a 1.96, entonces se acepta la hipótesis alternativa.

**Conclusión:**

En efecto, el procesamiento de las huellas digitales de los postulantes de la Universidad Nacional Altiplano – Puno, del proceso de admisión Examen CEPREUNA Julio 2013, es efectivo con una probabilidad de significancia del 5%.

CONCLUSIONES

- La extracción de minucias y coincidencias de puntos característicos, se ha logrado gracias al estudio de una amplia gama de investigaciones y recopilación de estudios realizados que cumple un papel importante y vital para obtener finalmente un sistema de reconocimiento eficiente con una confiabilidad al 95%.
- El tratamiento de las imágenes de huella dactilar al procesar se han caracterizar con mucho cuidado debido a que estos puntos de la geometría determinan el número de minucias obtenidas que se utilizan posteriormente para hacer la comparación con las otras huellas dactilares.
- La parte de hardware no se ilustra aquí, pero el algoritmo y el concepto básico detrás de cada paso se da con un concepto de un estudio de prioridades. Y todo el algoritmo se codifican utilizando MATLAB que finalmente da una "interfaz gráfica de usuario" en la que podemos ver a los procesos que suceden las cuales pueden ser fácilmente adaptados a un sistema de base de datos.

RECOMENDACIONES

- Las imágenes de huellas dactilares deben ser de buena calidad para que el procesamiento de la misma sea eficiente. Así mismo, se debe tener en cuenta que las imágenes de huellas dactilares no hayan sido procesadas o hayan sufrido algún tipo de compresión.
- Para evitar una falsa aceptación es necesario tener muy en cuenta la cantidad de coincidencias que posee cada par de huellas analizadas, porque puede ocurrir, que existan dos pares de huellas con la misma cantidad de coincidencias en las minucias extraídas.
- Con conocimientos más avanzados y disponibilidad de tiempo, este proyecto puede mejorarse acondicionando un sistema de base datos, a tal punto que se le pueda dar una utilidad mucho más seria y de gran importancia como en Instituciones o cualquier lugar con acceso restringido.

BIBLIOGRAFÍA

- Abadi, A., Abedini, J., & Rodríguez Migueles, V. (2013). Data de la huella dactilar.
- Acinas, M. d. M. R., Sánchez, J. A. S., & Ungil, R. A. (2012). Estudio de las frecuencias de los Tipos Dactilares y de los Puntos Característicos en Dactilogramas de Población Española. *Quadernos de criminología: revista de criminología y ciencias forenses*(17), 44-54.
- Aguilar, G., Sánchez, G., Toscano, K., Nakano, M., & Pérez, H. (2008). Reconocimiento de Huellas Dactilares Usando Características Locales. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(46), 101-109.
- Arrieta, A., Marín, J., Sánchez, L., Romero, L., Sánchez, L., & Batista, V. (2003). Gestión y Reconocimiento Óptico de los Puntos Característicos de Imágenes de Huellas Dactilares. *Universidad de Salamanca*.
- Babler, W. J. (1991). Embryologic development of epidermal ridges and their configurations. *Birth Defects Orig Artic Ser*, 27(2), 95-112.
- Barham, Z. S., & Mousa, A. (2011). Fingerprint Recognition using MATLAB: Graduation Project.
- Buenaño, G., Clavijo, S., Flores, H., & Galio, G. (2009). Desarrollo de un sistema biometrico de control de acceso de entrada y salida vehicular.

- Bulmer, M. G. (2003). *Francis Galton: pioneer of heredity and biometry*. JHU Press.
- De Giusti, M. R., Vila, M. M., & Villarreal, G. L. (2005). *Digitalización y reconocimiento de documentos manuscritos para la preservación de patrimonio cultural*. Paper presented at the III Simposio Internacional de Bibliotecas Digitales (San Pablo, Brasil).
- Elizondo, J., & Maestre, L. (2002). Fundamentos de Procesamiento de Imágenes. *Documentación Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Tijuana*.
- Epidat, G., Ayçaguer, L. C. S., Fernández, E. V., & Mujica, Ó. (2014). Epidat 4.1: una herramienta para la enseñanza de la Estadística.
- García, V., & Espinosa, O. (2001). *Sistema de Reconocimiento de Huellas Dactilares para el Control de Acceso a Recintos*. Paper presented at the Congreso Internacional CIC-INDI, México DF.
- González, C. A. M., Madrigal, J. L. R., Arbeláez, J. C. H., & Fernández, D. S. (2007). Diseño de un sistema biométrico de identificación usando sensores capacitivos para huellas dactilares. *Revista Facultad de Ingeniería*(39), 21-32.
- Higuchi, T. (2001). Digital Reaction-Diffusion System A Foundation of Bio Inspired Texture Image Processing. *IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, 84(8), 1909-1918.
- Hong, L., Wan, Y., & Jain, A. (1998). Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 20(8), 777-789.

- Kass, M., & Witkin, A. (1987). Analyzing oriented patterns. *Computer vision, graphics, and image processing*, 37(3), 362-385.
- Lee, H. C., Ramotowski, R., & Gaensslen, R. (2001). *Advances in fingerprint technology*: CRC press.
- Lindoso, M. A. (2009). Contribución al reconocimiento de huellas dactilares mediante técnicas de correlación y arquitecturas hardware para el aumento de prestaciones.
- MathWorks. (2016). Descargue productos para su área de interés - Pruebe MATLAB durante 30 días. Recuperado en:
https://es.mathworks.com/programs/trials/trial_request.html?ref=ggl
- Maya, V. A. (2014). Sistema biométrico de reconocimiento de huella dactilar en control de acceso de entrada y salida.
- Moenssens, A. (1971). *Fingerprint techniques*: Chilton Book Company London.
- Newman, E. (1995). The Biometric Report. *SJB Services, UK*.
- Palomino, N. L. S., & Concha, U. N. R. (2009). Técnicas de segmentación en procesamiento digital de imágenes. *Revista de investigación de Sistemas e Informática*, 6(2), 9-16.
- Rivas, A. E. A. (2014). *Análisis multiescala morfológico y compensación en iluminación en imágenes digitales*.
- Rodríguez, R., & Sosa, J. (2012). Importancia del uso del logaritmo paramétrico en una estrategia no-supervisada para la binarización de imágenes. *International Journal of Imaging and Robotics*.
- Tapiador, M., & Singüenza, J. (2005). Tecnologías biométricas aplicadas a la seguridad. *México, DF: Alfaomega*.



ANEXOS

ANEXO 1

SELECCIÓN DE LAS IMÁGENES DE HUELLAS DAIGITALES

Las huellas digitales han sido seleccionadas por muestreo simple aleatorio utilizando el Epidat Versión 4.1 como se muestra a continuación:

CUADRO 9

MUESTREO SIMPLE ALEATORIO DE HUELLAS A PROCESAR

Selección de imágenes de huellas digitales a utilizar					
11	469	947	1399	1967	2279
18	481	956	1405	1979	2284
38	485	965	1423	1984	2289
57	488	1020	1425	2004	2304
66	500	1026	1430	2006	2313
68	507	1034	1449	2019	2314
97	517	1036	1450	2025	2335
107	519	1038	1464	2033	2368
108	526	1056	1479	2036	2373
117	540	1062	1481	2040	2374
173	573	1072	1534	2046	2401
175	577	1117	1538	2048	2408
181	578	1125	1540	2060	2409
185	585	1163	1544	2064	2415
213	589	1177	1557	2085	2422
218	607	1200	1569	2092	2488
220	614	1202	1575	2108	2507
221	662	1235	1579	2113	2513
229	687	1247	1581	2117	2534
235	698	1250	1592	2127	2537
255	715	1255	1607	2132	2557
259	719	1259	1608	2141	2568
283	733	1264	1616	2148	2608
288	743	1267	1617	2149	2611
297	752	1274	1654	2171	2633
307	754	1277	1715	2172	2636
326	759	1285	1755	2173	2643
338	773	1287	1763	2177	2644
347	774	1288	1774	2207	2647
363	785	1313	1815	2211	2651
393	823	1318	1819	2212	2654
398	829	1333	1851	2217	2659
401	837	1343	1864	2232	2687
426	843	1347	1870	2237	2695
427	849	1361	1891	2240	2716
444	852	1363	1892	2248	2734
445	853	1375	1932	2253	
462	856	1394	1949	2264	

ANEXO 2

MUESTRAS DE IMÁGENES DE HUELLAS DIGITALES UTILIZADAS

FIGURA 36

EJEMPLOS DE HUELLAS ÓPTIMAMENTE PROCESADAS



Fuente: Huellas del proceso de admisión Examen CEPREUNA Julio 2013

FIGURA 37

IMÁGENES DE HUELLAS QUE HAN SIDO DESCARTADAS PARA
PROCESAR



Fuente: Huellas del proceso de admisión Examen CEPREUNA Julio 2013