

**ESTIMACION DEL ANGULO DE ROTACION ENTRE HUELLAS DACTILARES
DE UN MISMO INDIVIDUO**

**IVAN DARIO HERRERA BETANCOURT
EDWAR ALBERTO DUARTE DUARTE**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE SISTEMAS
BUCARAMANGA**

2011

**ESTIMACION DEL ANGULO DE ROTACION ENTRE HUELLAS DACTILARES
DE UN MISMO INDIVIDUO**

**IVAN DARIO HERRERA BETANCOURT
EDWAR DUARTE DUARTE**

**Proyecto de grado para optar al título de
Ingeniero de Sistemas**

**Director:
MPE. HENRY ARGUELLO FUENTES
Profesor Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
BUCARAMANGA**

2011

Dedicado a.....

A mis padres, hermanos y hermanas, que me brindaron su apoyo incondicional durante mi carrera.

A mi esposa Leticia por su comprensión y apoyo en los momentos más difíciles de nuestras vidas.

Iván Darío Herrera Betancourt

A mis padres, hermanos y hermanas, que me brindaron su apoyo incondicional durante mi carrera.

Edwar Alberto Duarte Duarte

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Henry Arguello Fuentes director en la investigación de este proyecto, quien con su gestión y respaldo se pudo llevar a cabo abriendo espacios de investigación en la Escuela de Ingeniería de Sistemas.

Al Grupo de Investigación en Informática Biomédica (GIIB) y sus integrantes quienes brindaron los espacios necesario para el desarrollo optimo del trabajo investigativo.

A todos los demás profesores, compañeros y compañeras que de una u otra forma colaboraron con el aporte de sus ideas en el desarrollo del trabajo investigativo

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	¡Error! Marcador no definido.
1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO.....	19
1.1 MOTIVACION DEL PROYECTO	19
1.2 RESUMEN DE CONTENIDO	20
2. SISTEMA EXPERIMENTAL DE IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE HUELLAS DACTILARES.....	22
2.1 RECOPIACIÓN DE INVESTIGACIONES	23
2.2 INTRODUCCIÓN AL FUNDAMENTO TEÓRICO DEL SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN.	24
2.3 APROVECHAMIENTO Y MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN	31
3. METODOLOGÍAS DISEÑADAS Y ABORDADAS PARA CALCULAR EL ÁNGULO DE ROTACIÓN ENTRE HUELLAS DACTILARES.....	32
3.1 PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO PARA ABORDAR EL PROBLEMA....	32
3.2 PRUEBAS Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN COMO BASE PARA EL FUNDAMENTO DE LA TÉCNICA A DISEÑAR	37
4. CAMPO DE ORIENTACIÓN DE LA IMAGEN DE UNA HUELLA DACTILAR..	47
4.1 GENERALIDADES	47
4.1.1 Gradiente	47
4.1.2 Operador Sobel.....	48
4.1.3 Filtros Gaussianos.....	50
4.2 INTERPRETACIÓN DEL CAMPO DE ORIENTACIÓN.....	52
5. MÉTODO PARA CALCULAR LA ROTACIÓN ENTRE HUELLAS DACTILARES BASADO EN EL CAMPO DE ORIENTACIÓN RESPECTO AL EJE (X).....	56
5.1 PRUEBAS Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN COMO BASE PARA EL FUNDAMENTO DEL MÉTODO A DISEÑAR.....	57
6. TECNICA PARA ESTIMAR EL ANGULO DE ROTACIÓN ENTRE HUELLAS DACTILARES FUNDAMENTADA EN EL CAMPO CONTINUO DE ORIENTACIÓN DE LA HUELLA.	59
6.1 PRUEBAS Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN COMO BASE PARA LA COMPARACIÓN Y FUNDAMENTO DE LA TECNICA	65

7.	ENTORNO TECNOLÓGICO PARA LA EXPERIMENTACIÓN.....	67
8.	PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
9.1	CONCLUSIONES	74
9.2	RECOMENDACIONES	75
10.	BIBLIOGRAFIA	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Arquitectura de un Sistema biométrico General.	22
Figura 2: Imagen original de la huella dactilar tomada de la base de datos y expuesta en el visor de imágenes de Matlab.	25
Figura 3. Imagen original de la huella dactilar recortada; zona de interés.	25
Figura 4. Imagen de huella dactilar normalizada.	26
Figura 5. Imagen del campo direccional de una huella dactilar.	26
Figura 6. Detección del punto central de una huella dactilar por el método de Poincare.....	27
Figura 7. Imagen de la huella dactilar luego de aplicar el proceso de filtrado de una imagen.	29
Figura 8. Imagen de la huella dactilar Binarizada.	29
Figura 9. Imagen de la huella dactilar esqueletizada.	30
Figura 10. Localización de puntos comunes entre imágenes rotadas con respecto al centro de la imagen de la región nuclear.	33
Figura 11. Localización de puntos comunes entre imágenes rotadas de una huella dactilar con respecto al centro de la imagen de la zona nuclear.....	34
Figura 12. Orientación del eje principal de la elipse con respecto al eje vertical. ...	35
Figura 12. Correlación por sobreposición de imágenes.	36
Figura 14. Grafica comparativa de los ángulos de referencia de rotación a partir de una huella patrón, para los métodos de correlación por sobre posición de imágenes y orientación del eje principal de la elipse respecto a la vertical, para la familia de huellas dos.	39
Figura 15. Comparación de los ángulos de referencia de rotación a partir de una huella patrón, para los métodos de correlación por sobre posición de imágenes y	

orientación del eje principal de la elipse respecto a la vertical, para la familia de huellas tres.....	40
Figura 16. Grafica de la distancia de Hausdorff resultante de la comparación entre imágenes, utilizando la rotación del ángulo de referencia hallado con el método de correlación por sobreposición de imágenes a cuya magnitud se le resta el 3 indicativo de similitud de la comparación.....	43
Figura 17. Grafica de las distancias de Hausdorff resultantes de la comparación entre imágenes utilizando la rotación del ángulo de referencia hallado con el método de orientación del eje principal de la elipse respecto de la vertical a cuya magnitud se le resta el 3 indicativo de similitud de la comparación.....	45
(De izquierda a derecha) Figura 18. Imagen Original en escala de grises, Figura 19. Imagen del gradiente calculado con el operador Sobel.....	49
(De izquierda a derecha). Figura 20. Imagen original. Figura 21. Imagen después de aplicar el filtro Gaussiano.....	51
Figura 22. Características más relevantes de una huella dactilar.....	52
(De izquierda a derecha) Figura 23. Campo direccional de una huella dactilar.	
Figura 24. Coherencia del campo direccional.....	54
Figura 25. Campo de orientación de una huella dactilar.....	56
Figura 26. Gráfica de las distancias de Hausdorff resultantes de la comparación entre imágenes utilizando la rotación del ángulo de referencia hallado con el método basado en el campo de orientación a cuya magnitud se le resta el 3 indicativo de similitud de la comparación.....	58
Figura 27. Tratamiento digital de la imagen de una huella dactilar, empleando operaciones matemáticas sobre la misma.....	60
Figura 28. Aproximación grafica a la orientación de una huella dactilar.....	61
Figura 29. Valores de los pixeles para un filtro Gaussiano.....	62
Figura 30. Variación de intensidad de una imagen.....	63

Figura 31. Imágenes de la huella dactilar y las componentes de su gradiente, imagen binaria y zonas de interés necesarias para el estudio.	64
Figura 32. Grafica de la distancias de Hausdorff resultante de la comparación entre imágenes utilizando la rotación del ángulo de referencia, a cuya magnitud se le resta el 3 indicativo de similitud de la comparación.	66
Figura 33. Rendimiento y estado del equipo de cómputo en el instante inmediatamente anterior a la realización de las pruebas.	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Intervalos de ángulos de referencia de rotación a partir de una huella patrón, con el método de correlación por sobreposición de imágenes.	37
Tabla 2: Ángulos calculados con el método orientación del eje principal de la elipse respecto a la vertical.	38
Tabla 3: Ángulos de referencia de rotación a partir de una huella patrón para el método orientación del eje principal de la elipse respecto a la vertical.	39
Tabla 4. Porcentajes de coincidencia de los ángulos encontrados con el método del eje principal de la elipse dentro de los intervalos de los ángulos encontrados con el método de sobreposición.	41
Tabla 5. Ángulos promedio de referencia de rotación a partir de una huella patrón, con el método correlación por sobreposición de imágenes.	41
Tabla 6: Distancias de Hausdorff resultantes con la rotación del ángulo de referencia, con el método correlación por sobre posición de imágenes.	42
Tabla 7: Porcentajes de similitud entre huellas de acuerdo a la distancia Hausdorff.	44
Tabla 8: Distancias de Hausdorff resultantes con la rotación del ángulo de referencia, con el método orientación del eje principal de la elipse respecto a la vertical.	44
Tabla 9: Porcentajes de grados de similitud entre huellas dactilares de un mismo individuo.	46
Tabla 10: Ángulos de referencia de rotación a partir de una huella patrón.	57
Tabla 11: Distancias de Hausdorff resultantes con la rotación del ángulo de referencia.	57

Tabla 12: Porcentajes de grados de similitud entre huellas dactilares mediante la distancia Hausdorff encontrados por el método del promedio del campo de orientación.	59
Tabla 13. Ángulos de referencia de rotación a partir de una huella patrón.	65
Tabla 14. Distancias de Hausdorff resultantes con la rotación del ángulo de referencia	65
Tabla 15. Porcentajes del grado de similitud arrojados por la técnica desarrollada.	66
Tabla 16. Especificaciones tecnológicas del equipo de cómputo utilizado para la realización de las pruebas comparativas de desempeño.	67
Tabla 17. Datos arrojados por el sistema biométrico utilizando la técnica original.	69
Tabla 18. Resultados arrojados por la técnica presentada en el capítulo cinco.....	70
Tabla 19. Resultados arrojados por el sistema biométrico utilizando la técnica desarrollada en el presente trabajo.....	70
Tabla 20. Resultados arrojados por la técnica original y la técnica desarrollada..	71
Tabla 21. Resultados sin tomar en cuenta la familia de huellas uno (1).....	72

RESUMEN

TITULO

ESTIMACION DEL ANGULO DE ROTACION ENTRE HUELLAS DACTILARES DE UN MISMO INDIVIDUO*

AUTORES

IVAN DARIO HERRERA BETANCOURT.**
EDWAR ALBERTO DUARTE DUARTE.**

PALABRAS CLAVES

huella dactilar, ángulo de rotación, reconocimiento, campo de orientación, identificación.

DESCRIPCION

Este proyecto presenta los resultados de la investigación referente al título mencionado, cuyo producto final es una técnica de tratamiento digital de imágenes.

En esta investigación se presenta una nueva técnica para estimar el ángulo de rotación entre huellas dactilares, basada en la información ofrecida por el campo continuo de orientación de las imágenes de las mismas. Se explican técnicas de tratamiento digital de imágenes desde el aspecto matemático necesarias en el proceso de obtención del campo de orientación como punto de partida para la aplicación de la técnica desarrollada, se presentan las generalidades de la técnica, se dan a conocer los detalles de la implementación de la misma en un sistema de propósito general, para finalizar se enseñan medidas de comparación de la técnica desarrollada además de algunas conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros.

El algoritmo fue desarrollado en MATLAB y las pruebas se realizaron sobre una base de datos publicada a nivel internacional por la fingerprint verification competition, se realiza la comparación con la técnica original teniendo en cuenta como variable de comparación el desempeño del sistema biométrico con cada una de las técnicas.

Este trabajo se basa en la investigación "Evaluación de la distancia Hausdorff en un Sistema de Reconocimiento de Huellas Dactilares" desarrollada por el profesor Henry Arguello Fuentes**, cuyos resultados sirven como punto de comparación para la técnica desarrollada, detalles que son presentados como resultados positivos del proyecto, teniendo como indicadores la confiabilidad y la eficiencia en el tiempo de comparación.

* Modalidad Investigación

** Facultad de Ingenierías Físico mecánicas, Ingeniería de Sistemas e Informática, MPE. Henry Arguello Fuentes.

SUMMARY

TITLE

ESTIMATING THE ANGLE OF ROTATION BETWEEN FINGERPRINTS OF THE SAME INDIVIDUAL*

AUTOR

IVAN DARIO HERRERA BETANCOURT.**

EDWAR ALBERTO DUARTE DUARTE.**

KEYWORDS

fingerprint, rotation angle, recognition, orientation field, identification.

ABSTRACT

This project presents the results of the investigation concerning the instrument referred to, whose final product is a treatment technique digital images.

In this research presents a new technique to estimate the rotation angle of fingerprints, based on information offered by the continuous field orientation of the images themselves. Treatment techniques are explained digital images from the mathematical aspect necessary in the process of obtaining the orientation field as a starting point for the application of the technique developed, giving details of implementing it in a system general purpose to finish taught comparative measures of technique developed in addition to some conclusions and recommendations for future work.

The algorithm was developed in MATLAB and the tests were conducted on a database of internationally published by the fingerprint verification competition, it makes the comparison comparison with the original technique taking into account the character comparison of the biometric system performance with each of techniques.

This work is based on research, "Evaluation of the Hausdorff distance in a System of Fingerprint Recognition" developed by Professor Henry Arguello Fuentes **, whose results serve as a benchmark for the technique developed, details of which are presented as results positive project, taking as indicators the reliability and efficiency over time for comparison.

* Investigation

** Faculty of Physics Mechanical Engineering, Systems Engineering and Informatics, MPE. Henry Arguello Fuentes.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se inscribe en la línea de investigación perteneciente a la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander y se relaciona con el objeto principal de promover el ámbito científico en los diferentes grupos de investigación pertenecientes a la misma escuela, especialmente en el Grupo de Investigación en Informática Biomédica (GIIB).

Los sistemas biométricos de identificación y autenticación de individuos han cobrado gran relevancia a través de los años en el tema de seguridad, estos están basados en la Biometría la cual es la ciencia dedicada a la identificación de individuos a partir de una característica anatómica o un rasgo de su comportamiento [8].

Es necesario indicar que no todas las características anatómicas son aptas para ser utilizadas con éxito en los sistemas Biométricos, esto es debido a que estas características deben cumplir con 4 aspectos importantes para la confiabilidad de los resultados arrojados por los sistemas. Estos aspectos son Universalidad, Unicidad, Permanencia, Cuantificación [6].

Las Huella Dactilar es uno de los varios indicadores biométricos que cumplen con estos cuatro aspectos. Este indicador Biométrico ha sido utilizado por los seres humanos para la identificación de personal por más de cien años [4]. Se ha demostrado científicamente que la huella dactilar es característica de cada individuo en particular, son perennes, inmutables y diversiformes.

En la actualidad los Sistemas Biométricos basados en huella dactilar han demostrado ser una de las herramientas más maduras y confiables en la identificación de individuos. Pero aunque las tasas de rendimiento y confiabilidad

son altas, es necesaria la exploración de nuevas técnicas que permitan mejorarlas.

Las dificultades que se presentan en el proceso de comparación y que no permiten que estas tasas sean mejores, son causadas principalmente por la presencia de un alto grado de rotación con respecto al patrón de referencia, grandes traslaciones que hacen que no aparezcan las mismas zonas en una toma distinta de la huella dactilar del propio individuo entre otras.

Aportar en el hallazgo de nuevas técnicas de tratamiento digital de imágenes que permitan perfeccionar estos Sistemas Biométricos es la pretensión final de este ejercicio de investigación, en el cual se toma el grado de rotación entre huellas dactilares de un mismo individuo como tema central de análisis, siendo el punto de partida estudios ya realizados como el que presenta el trabajo “Evaluación de la distancia Hausdorff en un sistema automático de reconocimiento de huellas dactilares” desarrollado por el profesor Henry Arguello Fuentes¹ quien muestra una técnica para el reconocimiento de huellas dactilares usando como medida de discriminación la distancia Hausdorff.

¹ Profesor Titular de Tiempo completo de la Universidad Industrial de Santander (Santander (Colombia)).

1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1 MOTIVACION DEL PROYECTO

A pesar de la existencia de herramientas rápidas y robustas para la identificación y autenticación de personas es necesario seguir indagando y generando inquietud en este campo, aportando herramientas para la continua investigación.

Ya que los sistemas de reconocimiento basados en la comparación de la huella dactilar de los diferentes individuos son de un amplio uso en nuestra sociedad, debido a su bajo costo y alto grado de confiabilidad es necesario que los esfuerzos investigativos en el mejoramiento o creación de nuevas técnicas para la estimación del ángulo de rotación entre huellas dactilares y otros temas como la traslación sean mayormente promovidos dentro de los diferentes grupos de investigación y en general en los diferentes centros de formación.

En la actualidad los métodos utilizados en la autenticación de personas recurren a técnicas poco ágiles en la estimación del ángulo de rotación entre las huellas de los individuos que entran al sistema, además de generar información extra aumentando así el espacio de almacenamiento del sistema en general.

La creación de una técnica que específicamente resuelva el inconveniente del ángulo de rotación entre huellas dactilares, mejorara enormemente la funcionalidad de un sistema biométrico de identificación basado en esta característica.

Este proyecto investigativo avanza en la creación de una técnica de procesamiento digital de imagen que calcula el ángulo de rotación entre huellas dactilares, con el fin de mejorar el funcionamiento de un sistema biométrico de identificación basándonos en los estudios realizados por el profesor Henry

Argüello Fuentes en el trabajo denominado “*Evaluación de la distancia Hausdorff en un sistema automático de reconocimiento de huellas dactilares.*”

1.2 RESUMEN DE CONTENIDO

Este libro, resultado del trabajo investigativo referente al tema “Estimación del ángulo de rotación entre huellas dactilares de un mismo individuo” se encuentra organizado en los siguientes capítulos:

Capitulo 1. En este capítulo se da el preámbulo de los resultados de la investigación realizada, exponiendo la motivación para realizar esta misma y presentando un resumen por capítulos a modo de contextualización.

Capitulo 2. Aquí se muestran las bases investigativas que se tuvieron en cuenta y de las cuales se fundamenta el trabajo. Recopilación de investigaciones, introducción al fundamento teórico del sistema de identificación, aprovechamiento y modificación del sistema de identificación

Capitulo 3. En él se expone el proceso investigativo experimental por el cual se transitó, previo a la formulación de la técnica final.

Capitulo 4. En este se da a conocer parte del fundamento matemático y temas relacionados con el pre procesamiento de la imagen, brindando un marco científico al proceso investigativo.

Capitulo 5. En el capítulo se presenta un método experimental basado en la estimación del promedio de los gradientes que se calculan en el procesado de la imagen de la huella dactilar de entrada.

Capitulo 6. En este apartado se da a conocer la técnica desarrollada para la estimación del ángulo de rotación paso a paso.

Capitulo 7. Se presentan las condiciones en las que se realizaron los experimentos con las diferentes técnicas, como lo son las especificaciones técnicas de los equipos de computo en donde se ejecutaron los códigos desarrollados con el programa MATLAB.

Capitulo 8. Se dan a conocer los resultados y el respectivo análisis, para determinar la validez de la técnica desarrollada.

Capitulo 9. En esta sección los autores muestran las conclusiones del trabajo investigativo y las recomendaciones para estudios futuros.

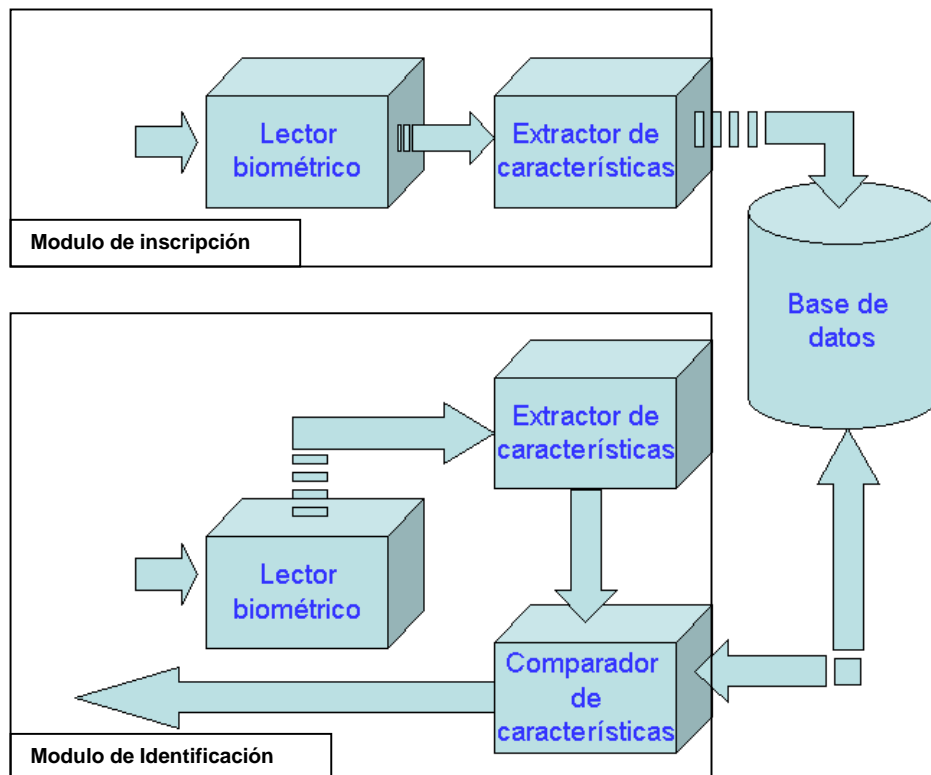
Capitulo 10. Finalmente Se da a conocer la bibliografía utilizada como fundamento del trabajo presentado.

2. SISTEMA EXPERIMENTAL DE IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE HUELLAS DACTILARES

Este trabajo se fundamenta en un sistema de identificación de huellas dactilares desarrollado en Matlab, el cual ha sido el resultado de varias labores de investigación.

El sistema se basa en las características del patrón de crestas o texturas, y utiliza la zona nuclear de la huella para realizar las comparaciones, empleando la distancia de Hausdorff entre imágenes como medida discriminante entre huellas.

Figura 1: Arquitectura de un Sistema biométrico General.



Fuente: Los autores

La distancia de Hausdorff es sensible a la rotación y translación, lo cual la utilización de una técnica no muy adecuada ocasionaría un gran costo computacional a la hora de realizar una pre alineación de las imágenes.

El actual sistema da solución a la pre alineación creando una base de datos de 121 imágenes por cada huella con diferentes grados de rotación entre el intervalo de +/- 30 con pasos de 0.5 grados, en la etapa de inscripción de la huella, para su posterior comparación con la huella entrante en la etapa de identificación, en este momento se presenta el alto costo computacional por el numero de comparaciones a realizar para obtener la mejor correlación.

El sistema fue probado con una base de datos internacionalmente reconocida proporcionada o expuesta públicamente por la Fingerprint Verification Competition y cuyas imágenes fueron tomadas con un sensor óptico "V300" by CrossMatch [5].

2.1 RECOPIACIÓN DE INVESTIGACIONES

Este trabajo toma el aporte de varias investigaciones tanto a nivel teórico como a nivel de software con algoritmos para el tratamiento de imágenes y análisis de huellas dactilares.

Primordialmente se basa en el trabajo investigativo realizado por el profesor Henry Arguello Fuentes cuyo nombre es *“Evaluación de la distancia Hausdorff en un sistema automático de reconocimiento de huellas dactilares.”*[1]

En esta investigación se presenta una nueva técnica para el reconocimiento de huellas dactilares usando como medida de discriminación la distancia Hausdorff. Se realiza la descripción de la etapa de pre procesamiento de la huella dactilar, su posterior almacenamiento, ubicación de la zona de referencia y finalmente el proceso de comparación. Además, se ilustran las características de la utilización

de la distancia Hausdorff para medir el grado de similitud entre dos imágenes. Se realiza la descripción de los detalles de implementación de esta técnica de reconocimiento en un sistema de cómputo de propósito general y por último se muestran diversas medidas de desempeño del sistema usando una base de datos de huellas dactilares internacional [5].

También se basa en el trabajo realizado por el profesor Peter Kovesi PhD de la universidad de Australia Occidental.

Además de los diferentes artículos y libros publicados sobre el tema a los cuales se hacen mención durante todo el libro y que se encuentran referenciados como bibliografía.

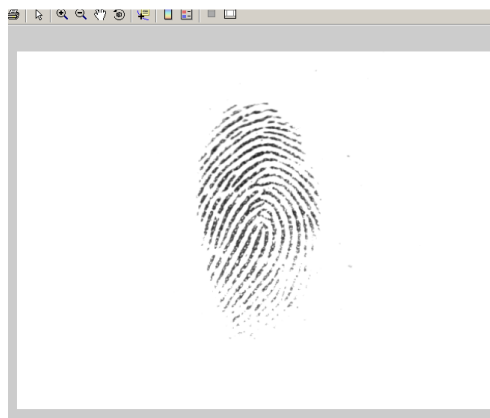
2.2 INTRODUCCIÓN AL FUNDAMENTO TEÓRICO DEL SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN.

El sistema de identificación se basa en la comparación de imágenes de huellas dactilares por medio de la distancia de Hausdorff, por lo cual este tiene su fundamento en distintas técnicas del tratamiento digital de imágenes a bajo y alto nivel, pre procesamiento y toma de decisiones respectivamente.

El tratamiento digital de imágenes permite hacer un procesamiento de la huella en el cual se realizan diferentes operaciones enmarcadas dentro de este, las operaciones utilizadas en este sistema permiten disminuir componentes tales como el ruido, las imperfecciones o las variaciones de iluminación, mejorando y detallando los atributos naturales de la apariencia visual de la imagen, en este sistema se utiliza las siguientes operaciones para realizar el pre procesamiento de las imágenes de las huellas, para la posterior toma de decisiones.

Recorte de la imagen: las imágenes correspondientes a la base de datos tienen una resolución y un tamaño de 72 ppp y 640x480 pixeles respectivamente, de esta imagen total la parte de interés para el sistema es la que enmarca a la huella, por esto se hace necesario recortar la imagen.

Figura 2: Imagen original de la huella dactilar tomada de la base de datos y expuesta en el visor de imágenes de Matlab.



Fuente: Los autores

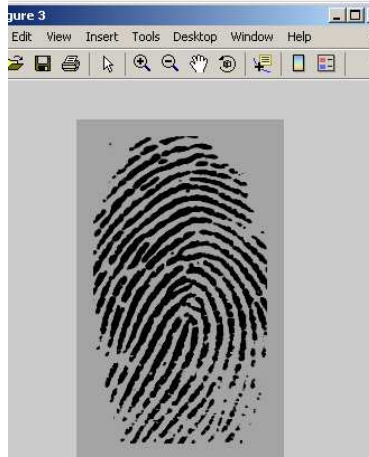
Figura 3. Imagen original de la huella dactilar recortada; zona de interés.



Fuente: Los autores

Normalización: El sistema realiza una normalización, buscando que la iluminación sea uniforme a través de toda la imagen de la huella dactilar.

Figura 4. Imagen de huella dactilar normalizada.



Fuente: Los autores

Calculo del campo de direcciones: El campo direccional de una huella se define como la dirección de las crestas de la huella tomadas con respecto al eje x y al eje y. [1].

Figura 5. Imagen del campo direccional de una huella dactilar.

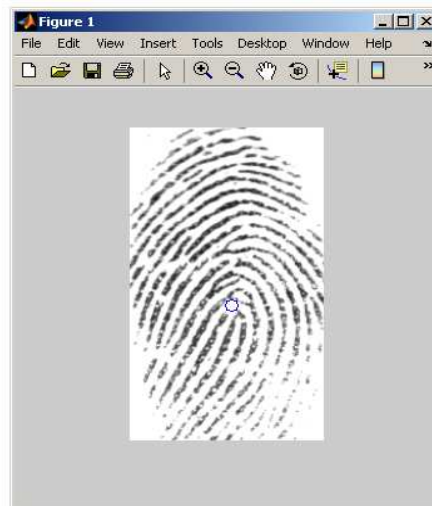


Fuente: Los autores

El sistema halla el campo direccional calculando primero su gradiente y realizando un promediado sobre el mismo en las vecindades de cada punto. [1]

Detección del punto central por el método de Poincare: Los puntos singulares de una huella dactilar se pueden encontrar en aquellas zonas en la que el campo direccional presenta las mayores variaciones.

Figura 6. Detección del punto central de una huella dactilar por el método de Poincare.



Fuente: Los autores

El sistema utiliza el método de Poincare propuesto originalmente por Kawagoe y Tojo en 1984. El cálculo de este índice puede ser resumido de la siguiente manera:

- a. Se selecciona una curva C de un tamaño determinado, esta curva está formada por una sucesión de puntos del campo direccional de la huella dactilar. Además se supone que el punto $[i, j]$ está dentro de la curva delimitada por C .

- b. El índice de Poincare del punto $[i, j]$ denotado por $P [i, j]$ se calcula como la suma de las diferencias entre los puntos adyacentes descritos por la curva.
- c. Para calcular este índice debe aleatoriamente asignársele una dirección al primer elemento de la curva C y asumir que la dirección de los elementos adyacentes es la misma dirección.
- d. Después de calcular los valores de $P [i, j]$ se pueden presentar cuatro posibilidades:

$$P[i, j] = \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ si } [i, j] \text{ no pertenece a ningun punto singular} \\ 2\pi, \text{ si } [i, j] \text{ pertenece a una region singular tipo circular} \\ \pi, \text{ si } [i, j] \text{ pertenece a una region singular tipo bucle} \\ -\pi, \text{ si } [i, j] \text{ pertenece a region singular tipo delta} \end{array} \right\} \quad (1)$$

El método de Poincare en las huellas tipo arco y tendiente hacia arco tiende a fallar por la no existencia de singularidades, sin embargo, estos tipos de huellas tiene una baja probabilidad de presentarse en situaciones reales [1] [7] [10].

Estadísticamente se ha encontrado que en promedio existe el 65.5% de probabilidad de que un individuo posea un huella tipo bucle derecho o izquierdo, un 27.9% de que sea tipo circular y solo un 6.6% de que sea arco o tendiente hacia arco. [1]

Filtrado: Las imágenes contienen alguna información que no son de interés, pero que si intervienen en las operaciones finales del procesado de estas, para mejorar la calidad de las crestas de la huella dactilar el sistema realiza un proceso de filtrado. El filtro es implementado teniendo en cuenta la dirección de las crestas, dentro de una división por bloques que se le hace a la huella dactilar.

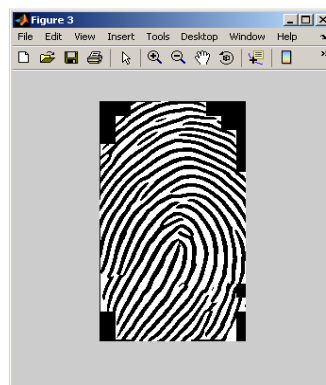
Figura 7. Imagen de la huella dactilar luego de aplicar el proceso de filtrado de una imagen.



Fuente: Los autores

Binarización: Mejoradas las crestas el sistema realiza la operación de binarización que consiste en obtener una imagen compuesta en su representación por solo valores binarios.

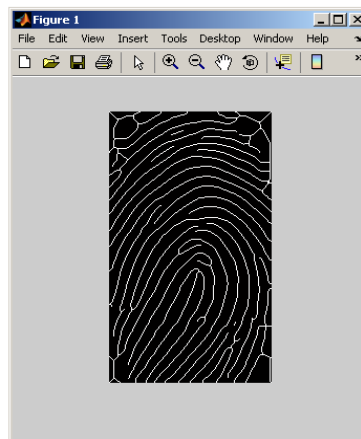
Figura 8. Imagen de la huella dactilar Binarizada.



Fuente: Los autores

Esqueletización: El sistema termina esta etapa de pre procesamiento realizando la operación de esqueletización para obtener la imagen con la cual se realizará el proceso de identificación.

Figura 9. Imagen de la huella dactilar esqueletizada.



Fuente: Los autores

Caracterización de las huellas dactilares, identificación de la zona de referencia.

Almacenamiento

En la etapa de inscripción se adquiere la imagen de la huella, de la cual se obtiene por medio del pre procesamiento información de alta importancia para el sistema, como son: su imagen binaria y el punto central, este último por medio del método de Poincare.

Con el punto central se obtiene el núcleo de la huella, esta información se almacena además de versiones rotadas del núcleo, la superficie de Voronoi tanto del núcleo como de sus versiones rotadas y la imagen binaria de la huella, el

conjunto de esta información forma una base de datos utilizada para calcular la distancia Hausdorff.

Proceso de comparación

En la etapa de inscripción el sistema de identificación localiza la zona nuclear punto de partida para realizar la comparación en la etapa de identificación.

En esta etapa la imagen de una huella se adquiere para ser identificada por medio de información obtenida de la aplicación del pre procesamiento, esta información se compara en este sistema por medio de la distancia de Hausdorff con un patrón de referencia previamente almacenado en una base de datos.

2.3 APROVECHAMIENTO Y MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN

La etapa de pre procesamiento del sistema original se modificó en cuanto a código, para realizar unas pruebas iniciales que condujeran a la obtención de información acerca de las posibles rotaciones entre las huellas pertenecientes a la base de datos utilizada en el trabajo.

En los algoritmos desarrollados se partió de una imagen de la huella esqueletizada resultado final del pre procesamiento. Para la comparación se utilizó la distancia de hausdorff como medida discriminante.

Se realizaron pruebas de rendimiento con el sistema original, cuyos resultados se emplearon como base de comparación para los resultados encontrados en las pruebas realizadas al sistema modificado con la técnica desarrollada en este trabajo.

3. METODOLOGÍAS DISEÑADAS Y ABORDADAS PARA CALCULAR EL ÁNGULO DE ROTACIÓN ENTRE HUELLAS DACTILARES.

La utilización de diferentes metodologías para el cálculo de la rotación entre huellas dactilares ayudaron en la búsqueda y constitución de una base de información de aproximaciones a la orientación de las huellas, para su posterior utilización en la comprobación de los resultados de la técnica desarrollada en el presente trabajo. Los diferentes métodos abordados consistían en metodologías manuales apoyadas en herramientas automáticas, como en un método totalmente automático.

Los diferentes métodos partieron de la identificación de la región nuclear de la huella, las operaciones y análisis que se realizaron en cada método fueron sobre la imagen que representa esta región.

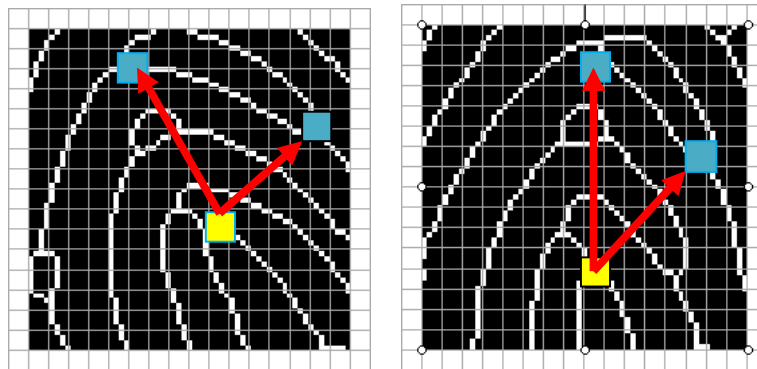
La verificación de la validez de los datos obtenidos con estos métodos se hicieron con el cálculo de la distancia de Hausdorff y el ángulo obtenido de la rotación entre las huellas ya que la característica de los métodos no permitían obtener una orientación similar, por estar estos basados en sectores específicos y diferentes de la imagen de la región nuclear.

3.1 PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO PARA ABORDAR EL PROBLEMA

Localización manual de puntos comunes entre imágenes con respecto al centro de la imagen de la región nuclear:

Metodología manual que parte de la identificación y localización de puntos comunes en la imagen, para calcular por medio de estos y de operaciones de trigonometría la orientación, y con esta la rotación entre las huellas.

Figura 10. Localización de puntos comunes entre imágenes rotadas con respecto al centro de la imagen de la región nuclear.



Fuente: Los autores

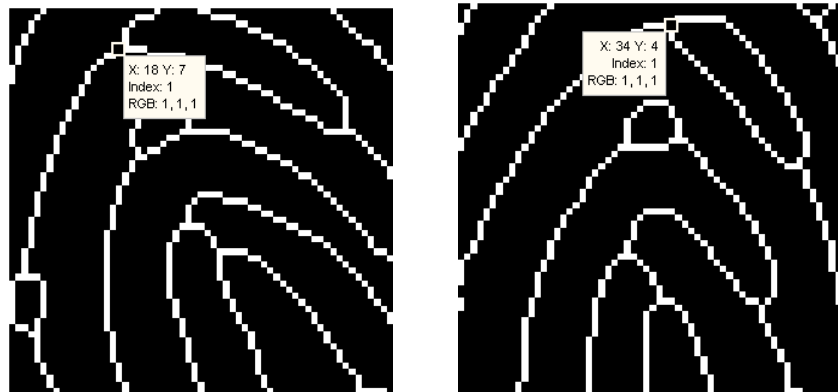
Este método se ayuda de una cuadrícula que divide la imagen que nos permite localizar un punto específico dentro de esta con respecto al centro de la imagen. Al localizar los puntos dentro de la cuadrícula se está asignando a una vecindad de píxeles de la imagen la misma posición, lo cual ocasiona pérdida de información de la posición de los píxeles de la imagen.

Localización manual de puntos comunes entre imágenes con respecto al centro de la imagen de la región nuclear con ayuda del visor gráfico de Matlab:

Metodología manual que se apoya en el visor gráfico de Matlab para identificar y localizar puntos comunes de las imágenes con más exactitud, ya que este visor mapea la posición de cada píxel dentro de la imagen, permitiendo utilizar

coordenadas mas exactas en los cálculos trigonométricos utilizados para hallar la orientación y posteriormente el ángulo de rotación entre las huellas.

Figura 11. Localización de puntos comunes entre imágenes rotadas de una huella dactilar con respecto al centro de la imagen de la zona nuclear.



Fuente: Los autores

En este método como en el anterior se calcula la orientación por medio de la inversa de la tangente, para las coordenadas de los puntos comunes hallados en las imágenes y luego se promedian para obtener una orientación de la huella, la escogencia de varios puntos ayuda a reducir el posible error introducido por el sujeto que realiza las pruebas.

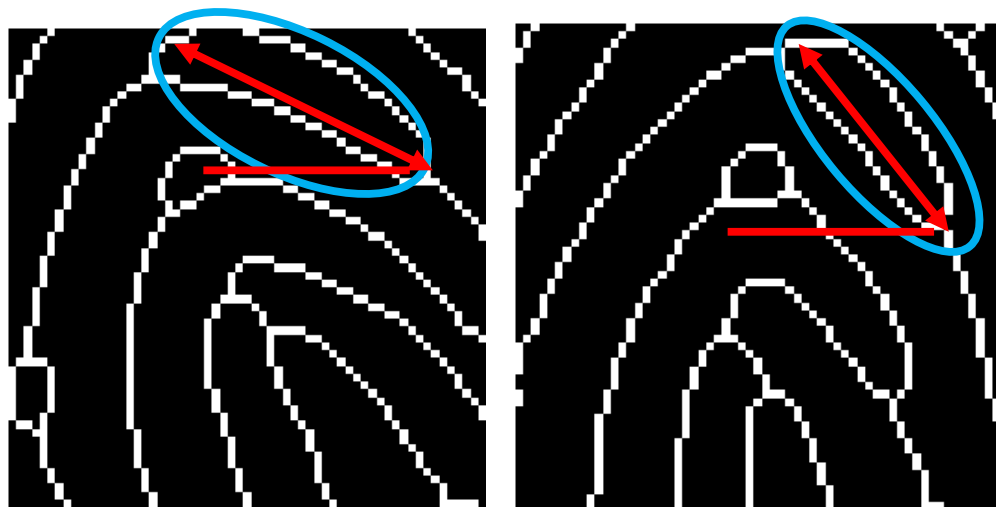
X	Y
a1	b1
a2	b2
a3	b3
...	...

$$\Phi = \text{Tan}^{-1}(Y/X)$$

Orientación del eje principal de la elipse respecto a la vertical:

Método manual en el cual se localiza dentro de la textura de la imagen una forma común en las huellas, para luego calcular la orientación de esta.

Figura 12. Orientación del eje principal de la elipse con respecto al eje vertical.



Fuente: Los autores

La orientación de la forma se calcula por un método automático provisto por Matlab, que consiste en calcular la orientación del eje principal de la elipse que contiene a la forma respecto a la vertical.

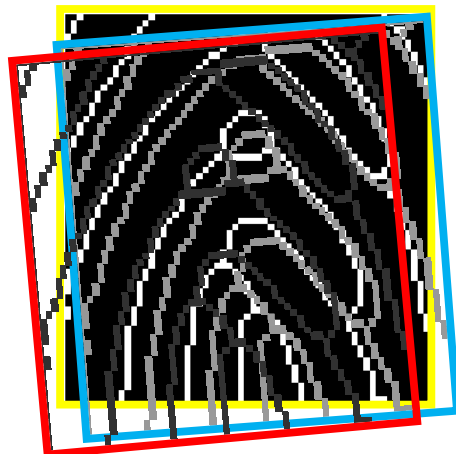
Correlación por sobreposición de imágenes:

Este método se basa en la correlación de imágenes por sobre posición. Buscando minimizar la distancia de Hausdorff como medida que indica el grado de similitud.

Los resultados que se muestran en el sistema de identificación original en el cual se emplea este, son más exactos al aumentar la cantidad de sobre posiciones entre las dos imágenes a comparar. De esta forma se encuentran intervalos de ángulos para los cuales la medida de Hausdorff indica un alto grado de similitud, sin embargo el alto número de sobre posiciones que se emplean en la comparación hacen que este método no sea optimo por su alto costo en tiempo.

Empleando este método se puede obtener una base de información que pueda servir como un parámetro de alta valides en la comparación de los resultados que se encuentren con la técnica que se diseñará e implementará.

Figura 12. Correlación por sobreposición de imágenes.



Fuente: Los autores

3.2 PRUEBAS Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN COMO BASE PARA EL FUNDAMENTO DE LA TÉCNICA A DISEÑAR

Como medio de referencia principal se tomo el promedio del intervalo de los ángulos para los cuales el Hausdorff resultaba mayor en el método de correlación por sobre posición de imágenes, que como se dijo anteriormente tiene una gran efectividad utilizando una gran cantidad de sobre posiciones. Se encontraron los siguientes resultados:

Tabla 1. Intervalos de ángulos de referencia de rotación a partir de una huella patrón, con el método de correlación por sobreposición de imágenes.

HUELLAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Huella Patrón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Huella 2	[0,27]	[-6,1]	[-5,1]	[5,13]	[5,10]	[-2,5]	[-9,0]	[7,11]	[11,16]	[0,16]
Huella 3	[0,6] [27,30]	[-29,-12] [-6,6]	[-5,0]	[2,6] [12]	[5,11]	[-12,-7]	[-11,-2]	[9,17]	[23]	[-13]
Huella 4	[-7,-2] [2,23]	[-5,0]	[9,16]	[1,9]	[23,30]	[3,11]	[-12,-3]	[8,10]	[9,24] [-10,-6]	[14,15]
Huella 5	[10,13] [17,18]	[21,22]	[4,5]	[0,4]	[4,13]	[30]	[-11,-3]	[-19,-15]	[18,21]	[-9,-3]
Huella 6	[-8,29]	[-5,0]	[2,6]	[3,7]	[-10,9]	[-1,4]	[10,19]	[2,6]	[6,10]	[-5,30] [-21,-15]
Huella 7	[-8,17]	[0,1]	[-1,4]	[-4,-2]	[8,17]	[1]	[-10,0]	[-1,3]	[10,13]	[2,30] [-25,-12]
Huella 8	[-9,-4] [1,30]	[-2,3]	[5,7]	[0,5]	[4,13]	[-2,3]	[-12,-4]	[5,14]	[4,12]	[2,29]

Fuente: Los autores

Se tomaron también los siguientes resultados, hallados con el método de orientación del eje principal de la elipse respecto a la vertical, para comparar y analizar la información con el método anterior.

Tabla 2: Ángulos calculados con el método orientación del eje principal de la elipse respecto a la vertical.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Huella Patrón	-41.86	-53.70	47.72	54.01	72.82	- 60.54	67.39	64.31	-42.64	-33.92
Huella 2	-42.09	-45.00	52.61	69.61	67.66	- 58.55	68.26	57.63	-69.73	-43.86
Huella 3	-34.31	-58.28	52.41	66.34	68.68	- 52.78	69.28	53.56	-58.44	-22.61
Huella 4	-42.19	-45.00	38.13	48.73	47.53	- 61.80	75.34	54.92	-42.93	-56.89
Huella 5	-60.66	-70.34	45.00	50.27	65.30	85.54	73.03	85.06	-50.92	-28.58
Huella 6	-43.13	-45.00	44.78	50.51	70.77	- 59.70	51.49	65.36	-45.64	-46.93
Huella 7	-40.81	-54.46	47.45	54.84	62.19	- 63.40	76.81	66.60	-68.53	-56.31
Huella 8	-50.89	-49.14	44.46	70.19	64.26	- 59.59	76.51	58.03	-47.23	-58.47

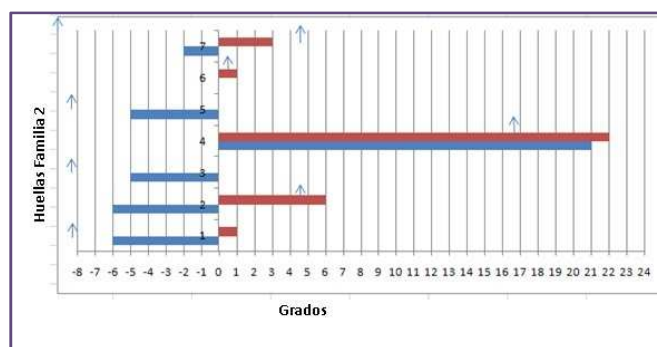
Fuente: Los autores.

Tabla 3: Ángulos de referencia de rotación a partir de una huella patrón para el método orientación del eje principal de la elipse respecto a la vertical.

Individuo Imagen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Huella Patrón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Huella 2	0,23	-8,7	-4,89	15,6	5,16	1,99	-0,87	6,68	27,09	9,94
Huella 3	7,55	4,58	-4,69	12,33	4,14	-7,76	-1,89	10,75	-15,8	11,31
Huella 4	0,33	-8,7	9,59	5,28	-25,29	1,26	-7,95	9,39	0,29	22,97
Huella 5	-18,8	16,64	2,72	3,74	7,52	146,08	-5,64	-20,75	8,28	-5,34
Huella 6	1,27	-8,7	2,94	3,5	2,05	0,84	15,9	1,05	3	13,01
Huella 7	1,05	0,76	0,27	-0,83	-10,63	2,86	-9,42	2,29	25,89	22,39
Huella 8	9,03	4,56	3,26	16,18	8,56	0,95	-9,12	6,28	4,59	24,55

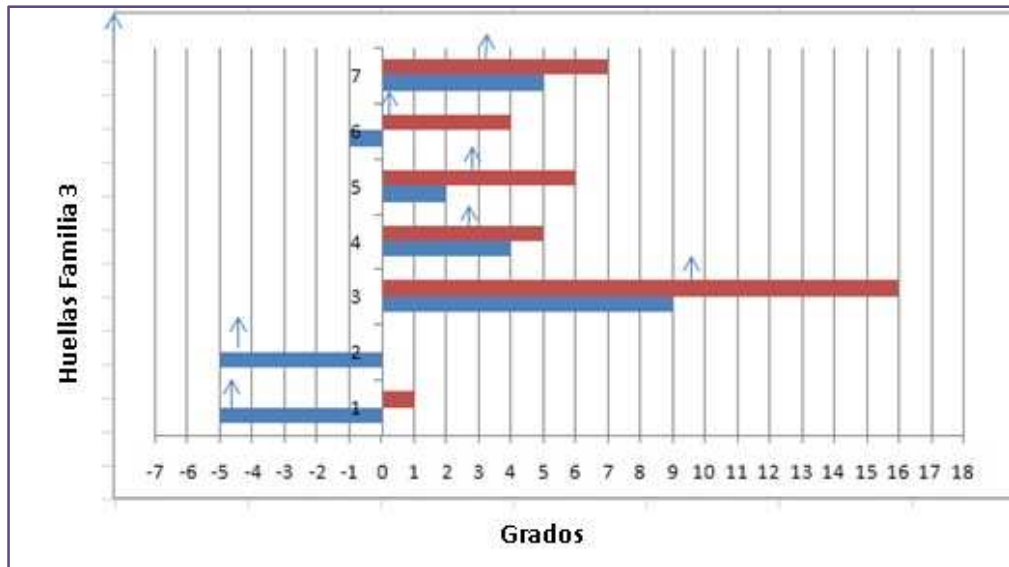
Fuente: Los autores.

Figura 14. Grafica comparativa de los ángulos de referencia de rotación a partir de una huella patrón, para los métodos de correlación por sobre posición de imágenes y orientación del eje principal de la elipse respecto a la vertical, para la familia de huellas dos.



Fuente: Los autores

Figura 15. Comparación de los ángulos de referencia de rotación a partir de una huella patrón, para los métodos de correlación por sobre posición de imágenes y orientación del eje principal de la elipse respecto a la vertical, para la familia de huellas tres.



Fuente: Los autores

En las graficas anteriores se muestra la ubicación del ángulo de referencia de rotación a partir de una huella patrón hallado con el método de la orientación del eje principal de la elipse respecto a la vertical, representados por una flecha en sentido vertical, dentro de un intervalo de ángulos hallados con el método de correlación por sobre posición de imágenes donde las barras azules representan una distancia negativa y las rojas una positiva que al ser sumadas representan el intervalo hallado.

Se pudo observar para el análisis de todas las familias que:

Tabla 4. Porcentajes de coincidencia de los ángulos encontrados con el método del eje principal de la elipse dentro de los intervalos de los ángulos encontrados con el método de superposición.

%	Ubicación
65	Dentro del intervalo
18.75	Cerca al intervalo
16.25	A una distancia considerable del intervalo

Fuente: Los autores.

Se utilizó la distancia de Hausdorff para hallar el grado de similitud entre las huellas al ser rotadas con los ángulos hallados en los métodos anteriores para tal fin se promediaron los intervalos en el caso del método de correlación por superposición de imágenes.

Tabla 5. Ángulos promedio de referencia de rotación a partir de una huella patrón, con el método correlación por superposición de imágenes.

Individuo Imagen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Huella Patrón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Huella 2	13.37	-2.5	-2	9'	7,5	1.5	-4.5	9	13,5	13,04
Huella 3	12.75	-12,17	-2,5	5.6	8	-9.5	-7.5	13	23	-13
Huella 4	9.78	-2.5	12.5	5	26,43	7	-8.5	9	8,17	14,5
Huella 5	13.5	21.5	4,5	2	8.5	30	-7	-17	19,5	-6
Huella 6	10.5	-2.5	4	5	0,07	1.5	15	4	8	8,08
Huella 7	4	0.5	1.5	-3	13	1	-5	1	11,5	5,33
Huella 8	11.83	0.5	6	2.5	9.5	0.5	-8	9,5	8	14,28

Fuente: Los autores.

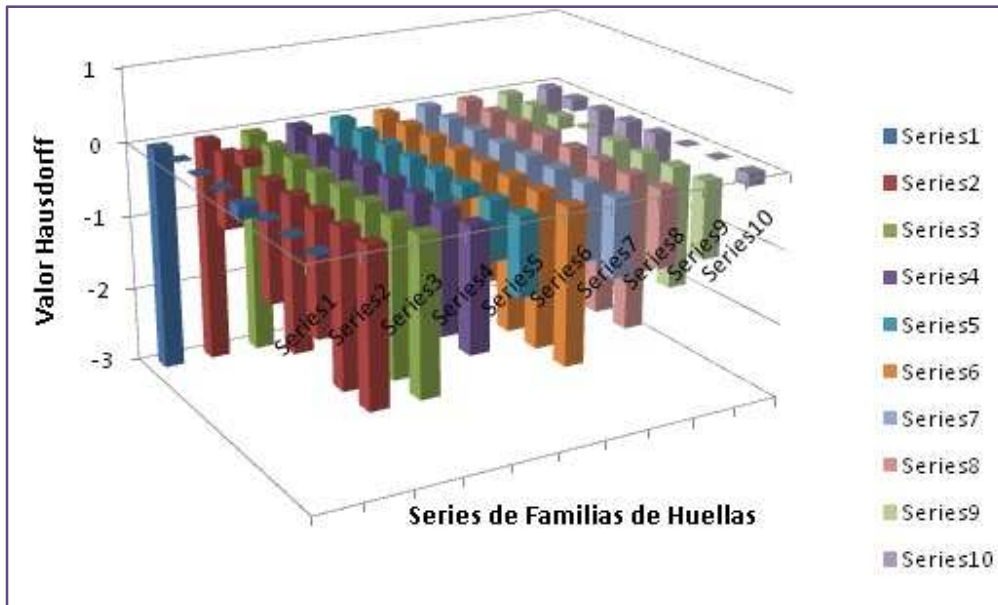
Estas últimas tablas presentan la distancia de Hausdorff, que como se menciona en el trabajo de investigación Evaluación de la distancia Hausdorff en un sistema automático de reconocimiento de huellas dactilares[1], una magnitud menor o igual a 3 es un buen indicativo de la similitud de las imágenes que se comparan.

Tabla 6: Distancias de Hausdorff resultantes con la rotación del ángulo de referencia, con el método correlación por sobre posición de imágenes.

Individuo Imagen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Huella Patrón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Huella 2	3	2	1	2	2,24	2	1	1	1,42	2,83
Huella 3	3	3,17	1,42	2,24	2	2,24	2	2	2,83	2,24
Huella 4	3	1,42	2	2	1,42	1,42	2	1,42	3	2,24
Huella 5	2,83	1	1,42	1	2	1,42	1,42	1	1	2,24
Huella 6	3	1,42	1	1	2,83	1	1	1	1,42	3
Huella 7	3	1	1	1,42	2,24	1	2	1	1,42	3
Huella 8	3	1	1	1,42	2	1	2	2	2	2,83

Fuente: Los autores.

Figura 16. Grafica de la distancia de Hausdorff resultante de la comparación entre imágenes, utilizando la rotación del ángulo de referencia hallado con el método de correlación por sobre posición de imágenes a cuya magnitud se le resta el 3 indicativo de similitud de la comparación.



Fuente: Los autores

En los datos anteriores se muestra la magnitud de la distancia de Hausdorff halladas al comparar las huellas de las diez familias, las cuales fueron rotadas el ángulo hallado por el método de correlación por sobre posición de imágenes respectivo. A estas magnitudes se les resta el indicativo de alto grado de similitud 3, para hacer más visible el número de huellas que tienen igual o menor magnitud que este indicativo.

Al observar la grafica se tiene que:

Tabla 7: Porcentajes de similitud entre huellas de acuerdo a la distancia Hausdorff.

%	Huellas para las cuales la distancia de Hausdorff es
1.25	Distancia mayor a 3, huellas diferentes
98.75	Distancia menor a 3, huellas con un alto grado de similitud

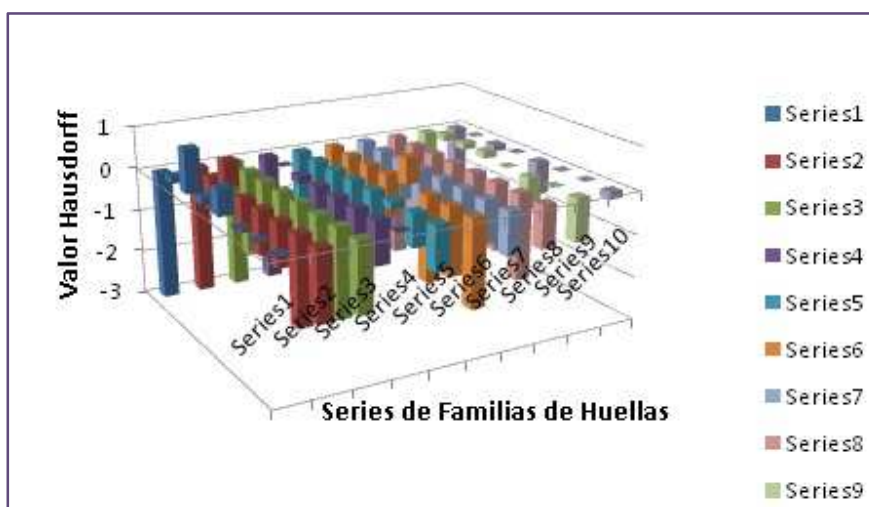
Fuente: Los autores

Tabla 8: Distancias de Hausdorff resultantes con la rotación del ángulo de referencia, con el método orientación del eje principal de la elipse respecto a la vertical.

Individuo Imagen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Huella Patrón	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Huella 2	3,16	2,24	1,00	3,00	2,24	2,00	1,00	1,00	3,16	3,00
Huella 3	4,00	3,61	1,41	2,83	2,24	2,24	2,00	2,00	3,16	2,83
Huella 4	3,16	2,24	2,00	2,00	1,41	2,00	2,00	1,41	3,16	3,00
Huella 5	3,61	2,00	2,00	1,00	2,00	3,61	1,41	1,41	3,00	2,24
Huella 6	3,00	2,00	1,00	1,00	2,83	1,00	1,00	1,41	2,24	3,00
Huella 7	3,00	1,00	1,00	2,00	2,24	1,41	2,00	1,00	3,00	3,00
Huella 8	3,00	1,41	1,41	3,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,83

Fuente: los autores.

Figura 17. Grafica de las distancias de Hausdorff resultantes de la comparación entre imágenes utilizando la rotación del ángulo de referencia hallado con el método de orientación del eje principal de la elipse respecto de la vertical a cuya magnitud se le resta el 3 indicativo de similitud de la comparación.



Fuente: Los autores

En los datos anteriores se muestra la magnitud de la distancia de Hausdorff halladas al comparar las huellas de las diez familias, las cuales fueron rotadas el ángulo hallado por el método de orientación del eje principal de la elipse respecto a la vertical. A estas magnitudes se les resta el indicativo de alto grado de similitud 3, para hacer más visible el número de huellas que tienen igual o menor magnitud que este indicativo.

Al observar la grafica se tiene que:

Tabla 9: Porcentajes de grados de similitud entre huellas dactilares de un mismo individuo.

%	Huellas para las cuales la distancia de Hausdorff es
11,25	Distancia mayor a 3, huellas diferentes
88,75	Distancia menor a 3, huellas con un alto grado de similitud

Fuente: Los autores

4. CAMPO DE ORIENTACIÓN DE LA IMAGEN DE UNA HUELLA DACTILAR

El campo direccional de una huella se define como la dirección de las crestas de la huella tomadas con respecto al eje x y al eje y. [1].

4.1 GENERALIDADES

En este trabajo se explica la técnica de obtener el campo direccional calculando primero su gradiente y realizando un promediado sobre el mismo en las vecindades de cada punto. Esta técnica es la que utilizan en el sistema biométrico sobre el cual se trabaja en la presente investigación. Además este método es uno de los que tiene mayor aceptación ya que origina resultados con un alto grado de coherencia [1].

4.1.1 Gradiente

De forma geométrica el gradiente es un vector que se encuentra normal a una superficie o curva en el espacio en un punto cualquiera (x, y) , (x, y, z) .

El vector gradiente de una función es el vector cuyas componentes son las derivadas parciales de dicha función.

Sea $f(x)$ una función cualquiera, el gradiente de $f(x)$ se denota por:

$$\mathbf{G} f(x) = (\partial f(x) / \partial x) (i) + (\partial f(x) / \partial y) (j) \quad (2)$$

G_x

G_y

Matemáticamente, el gradiente de una función de dos variables (para este caso la función de intensidad de una imagen) para cada punto es un vector bidimensional cuyos componentes están dados por las primeras derivadas de las direcciones verticales y horizontales.

Estas derivadas se consiguen haciendo uso del operador Sobel el cual se utiliza en procesamiento de imágenes, especialmente en algoritmos de detección de bordes.

4.1.2 Operador Sobel

Técnicamente es un operador diferencial discreto que calcula una aproximación al gradiente de la función de intensidad de una imagen.

Para cada punto de la imagen a procesar, el resultado del operador Sobel es tanto el vector gradiente correspondiente como la norma de éste vector.

El Operador Sobel aplicado sobre una imagen digital en escala de grises, calcula el gradiente de la intensidad de brillo de cada punto (píxel) dando la dirección del mayor incremento posible (de negro a blanco) además calcula la cantidad de cambio en esa dirección, es decir, devuelve un vector. [9].

El resultado muestra qué tan abruptamente o suavemente cambia una imagen en cada punto analizado, y a su vez que tanto un punto determinado representa un borde en la imagen y también la orientación a la que tiende ese borde.

Matemáticamente, el operador utiliza dos kernels de 3x3 elementos para aplicar convolución a la imagen original para calcular aproximaciones a las derivadas, un kernel para los cambios horizontales y otro para las verticales. Si definimos **A** como la imagen original y G_x y G_y son los dos kernels que representan para cada punto las aproximaciones horizontal y vertical de las derivadas de intensidad, el resultado es calculado como:

$$G_x = \begin{bmatrix} +1 & 0 & -1 \\ +2 & 0 & -2 \\ +1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * A \qquad G_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * A \quad (3)$$

En cada punto de la imagen, los resultados de las aproximaciones de los gradientes horizontal y vertical pueden ser combinados para obtener la magnitud del gradiente, mediante:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4)$$

Con esta información, se puede calcular también la dirección del gradiente:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (5)$$

Un ejemplo de aplicar el operador Sobel en una imagen en escala de grises es el siguiente:

(De izquierda a derecha) Figura 18. Imagen Original en escala de grises, Figura 19. Imagen del gradiente calculado con el operador Sobel.



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Operador_Sobel

4.1.3 Filtros Gaussianos

Las técnicas de filtrado son métodos para resaltar o suprimir, de forma selectiva, información contenida en una imagen a diferentes escalas espaciales, para destacar algunos elementos de la imagen, o también para ocultar valores anómalos.

Su objetivo es suavizar la imagen, son útiles cuando se supone que la imagen tiene gran cantidad de ruido y se quiere eliminar. También pueden utilizarse para resaltar la información correspondiente a una determinada escala (tamaño de la matriz de filtrado); por ejemplo en el caso de que se quiera eliminar la variabilidad asociada a los tipos de cubierta presentes en la imagen uniformizando de esta manera su respuesta.

Como explicación general y superficial el filtro gaussiano consiste en la mezcla de los colores de una imagen para conseguir un efecto de desenfoque.

En primer lugar, se considera la imagen como una matriz de puntos (píxeles), con unos valores determinados de grises. A partir de aquí, los valores de cada punto de la nueva imagen, serán una combinación de los puntos cercanos.

Pero para determinar cuáles son los píxeles que son cercanos, y los que no se deben especificar al filtro un radio de acción. Con esto, si por ejemplo se indica un radio de 10 píxeles, cada píxel de la nueva imagen se verá modificado por todos los píxeles a menos de 10 unidades de distancia. Pero no todos los píxeles modifican con la misma "fuerza", cuanto más cerca estén del píxel que se está modificando, más valor tendrán en el cálculo del nuevo color siendo la función de distribución de Gauss la que nos indica cuanto aporta cada píxel dependiendo de lo cerca o lo lejos que se encuentre.

Esta función de distribución para este caso está representada por la siguiente expresión matemática:

$$h(u, v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi w}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{u^2}{w^2} + \frac{v^2}{w^2}\right)} \quad (6)$$

Filtro Gaussiano de ancho w .

Un ejemplo de la aplicación de los filtros Gaussianos se puede ver en las siguientes imágenes:

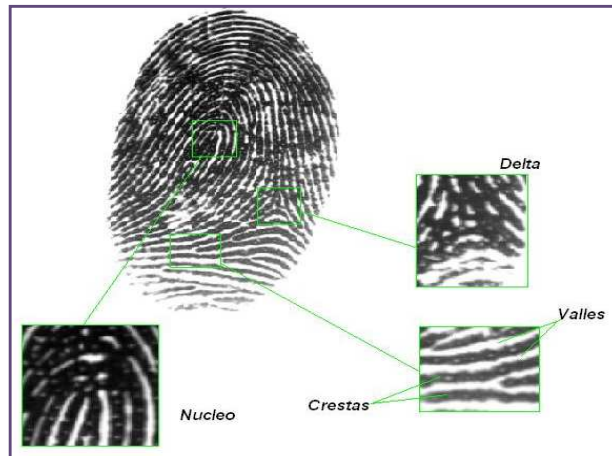
(De izquierda a derecha). Figura 20. Imagen original. Figura 21. Imagen después de aplicar el filtro Gaussiano.



Fuente: <http://boozox.net/php/desenfoque-gaussiano-como-funciona-filtro-para-imaset/>.

4.2 INTERPRETACIÓN DEL CAMPO DE ORIENTACIÓN

Figura 22. Características más relevantes de una huella dactilar.



Fuente: Los autores

En la figura 22 se puede observar la imagen de una huella dactilar que hace parte de una base de datos [5]. En ella se detallan algunas de las características más relevantes de una huella dactilar y que serán de utilidad para la explicación del tema.

En el proyecto se asume la forma como se calcula el campo direccional de una huella dactilar en el sistema biométrico en el cual se basa y que se expresa de la siguiente forma:

Si se denota $I(x, y)$ como la imagen en escala de grises de la huella dactilar entonces su campo direccional se calcula mediante el siguiente procedimiento [1]:

- a. Se divide la Imagen en $w * w$ bloques que no se traslapen unos a otros.
- b. Se calculan los gradientes verticales y horizontales usando por ejemplo un operador Sobel:

$$G_x(x, y) = \partial I(x, y) / \partial x \quad (7)$$

$$G_y(x, y) = \partial I(x, y) / \partial y \quad (8)$$

c. Se estima la orientación del centro de cada bloque (x, y) promediando los gradientes cuadrados previamente calculados:

$$A(x, y) = \sum_{k=-w/2}^{w/2} \sum_{l=-w/2}^{w/2} G_x^2(k, l) h(x - k, y - l) \quad (9)$$

$$B(x, y) = \sum_{k=-w/2}^{w/2} \sum_{l=-w/2}^{w/2} G_y^2(k, l) h(x - k, y - l) \quad (10)$$

$$C(x, y) = \sum_{k=-w/2}^{w/2} \sum_{l=-w/2}^{w/2} G_x(k, l) G_y(k, l) h(x - k, y - l) \quad (11)$$

$$\theta(x, y) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2C(x, y)}{A(x, y) - B(x, y)} \right) \quad (12)$$

Donde h es un filtro Gaussiano especificado en la expresión matemática (6).

Luego de encontrado el campo direccional y debido a que las huellas dactilares presentan distorsiones, ruido y rotaciones es necesario realizar un proceso de suavizado a este campo direccional $\theta(x, y)$ este suavizado se realiza mediante el siguiente procedimiento tomado de [1]:

a. Se obtiene una versión continua del campo direccional mediante las siguientes expresiones:

$$\varphi_x(x, y) = \cos(2\theta(x, y)) \quad (13)$$

$$\varphi_y(x, y) = \sin(2\theta(x, y)) \quad (14)$$

Donde φ_x y φ_y representan las componentes x y y de este campo continuo.

b. el suavizado del campo direccional se realiza mediante una operación de filtrado usando la respuesta al impulso de la ecuación (6) con un ancho w .

$$\varphi'(x, y) = \sum_{k=-w_2/2}^{w_2/2} \sum_{l=-w_2/2}^{w_2/2} \varphi_x(k, l)h(x - wk, y - wl) \quad (15)$$

Donde w es el ancho de cada bloque y w_2 es el número de bloques usados para realizar el suavizado.

c. se calcula el campo direccional suavizado mediante la siguiente expresión:

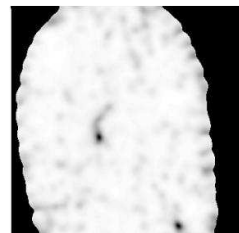
$$\theta'(x, y) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\varphi_y(x, y)}{\varphi_x(x, y)} \right) \quad (16)$$

d. Por último se obtiene el grado de coherencia del campo direccional que es un número entre 0 y 1 que proporciona un valor estimativo del grado de confiabilidad de la ecuación (16) y está representado por la siguiente expresión matemática:

$$r(x, y) = \frac{\sqrt{(A(x, y) - B(x, y))^2 + 4C(x, y)^2}}{A(x, y) + B(x, y)} \quad (17)$$

En las siguientes figuras se pueden observar tanto el campo direccional de una huella dactilar como la coherencia de ese campo direccional.

Figura 23. Campo direccional de una huella dactilar. Figura 24. Coherencia del campo direccional.



Fuente: Henry Arguello Fuentes

En la figura 24 Las zonas blancas indican que el campo direccional en esas zonas es más probable que tengan un valor correcto mientras que las zonas negras indican que allí posiblemente hay contaminación por ruido o son zonas no pertenecientes a la huella aunque es posible que esas zonas también representen la presencia de un delta o del núcleo de la imagen.

5. MÉTODO PARA CALCULAR LA ROTACIÓN ENTRE HUELLAS DACTILARES BASADO EN EL CAMPO DE ORIENTACIÓN RESPECTO AL EJE (X).

Utilizando el campo de orientación, que se halló calculando los gradientes de la imagen y realizando un promediado sobre el mismo en las vecindades de cada punto se desarrolló el siguiente método que se basa en el análisis de las direcciones de este.

Figura 25. Campo de orientación de una huella dactilar.



Fuente: Los autores

En la figura se puede observar un ejemplo del campo de orientación, por motivos de visualización solo se muestra el campo en algunos puntos, sin embargo este campo se calcula en cada uno de los pixeles de la imagen obteniendo de esta forma la orientación de cada pixel o en su conjunto el campo de orientaciones, el cual es utilizado por este método para encontrar una orientación de referencia, de la siguiente forma: se hallaron los gradientes de la imagen de la huella en dirección vertical, los cuales indican la dirección de la imagen con respecto al eje

de las x y se promediaron para obtener de esta forma una orientación total de las crestas con respecto al eje de las x .

5.1 PRUEBAS Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN COMO BASE PARA EL FUNDAMENTO DEL MÉTODO A DISEÑAR

Tabla 10: Ángulos de referencia de rotación a partir de una huella patrón

Individuo Imagen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Huella Patrón	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Huella 2	4,27	-4,75	0,22	-27,17	1,07	1,23	0,74	-7,24	-13,05	-9,30
Huella 3	1,96	13,93	3,88	-18,99	-0,11	-4,08	0,19	-13,52	-22,83	-9,66
Huella 4	9,44	-3,59	-15,23	-3,68	-14,68	-0,87	-3,52	-7,56	-25,83	-1,51
Huella 5	8,38	-1,54	-7,52	-3,79	-9,70	-7,98	3,93	7,11	-1,42	-0,23
Huella 6	16,09	-2,20	-0,89	-4,42	-5,52	-0,28	-9,13	-4,32	5,19	-1,91
Huella 7	8,13	-1,96	1,14	-6,82	-9,63	-0,84	-4,50	-0,56	-17,31	8,85
Huella 8	39,82	-1,06	-0,25	-20,11	-6,41	-0,17	4,62	-7,99	5,70	3,84

Fuente: Los autores.

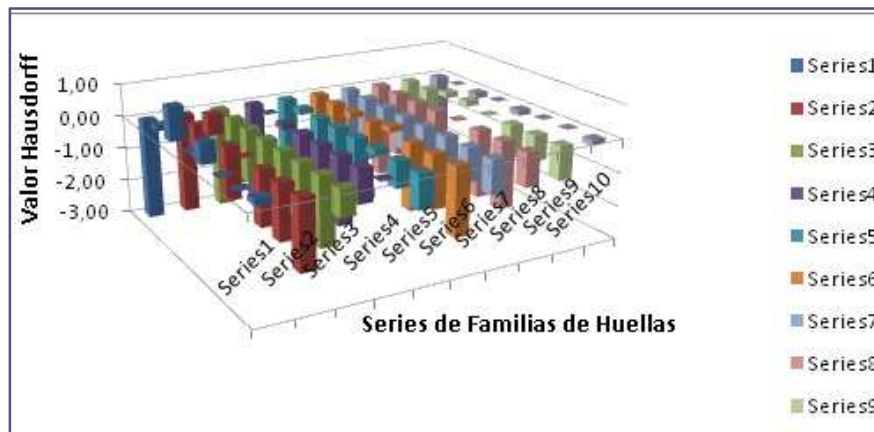
Tabla 11: Distancias de Hausdorff resultantes con la rotación del ángulo de referencia.

Individuo Imagen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Huella Patrón	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Huella 2	3,16	2,00	1,00	3,00	2,83	2,00	1,00	1,00	1,41	3,00
Huella 3	4,00	3,61	1,41	2,83	2,24	2,83	2,24	2,00	3,16	2,83
Huella 4	3,00	1,41	2,00	2,00	2,24	2,00	2,00	2,00	3,16	3,00
Huella 5	3,61	3,00	2,00	1,00	2,00	3,16	1,41	3,00	3,00	2,83

Huella 6	3,00	1,41	1,41	1,00	2,83	1,00	1,41	1,00	2,00	3,00
Huella 7	3,00	1,41	1,00	2,00	2,24	1,41	2,00	1,00	2,24	3,00
Huella 8	3,16	1,00	2,24	3,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,83

Fuente: Los autores

Figura 26. Gráfica de las distancias de Hausdorff resultantes de la comparación entre imágenes utilizando la rotación del ángulo de referencia hallado con el método basado en el campo de orientación a cuya magnitud se le resta el 3 indicativo de similitud de la comparación.



Fuente: Los autores

En los datos anteriores se muestra la magnitud de la distancia de Hausdorff hallada al comparar las huellas de las diez familias, las cuales fueron rotadas el ángulo hallado por el método basado en el campo de orientación. A estas magnitudes se les resta el indicativo de alto grado de similitud 3.00, para hacer más visible el número de huellas que tienen igual o menor magnitud que este indicativo.

Al observar la grafica se tiene que:

Tabla 12: Porcentajes de grados de similitud entre huellas dactilares mediante la distancia Hausdorff encontrados por el método del promedio del campo de orientación.

%	Huellas para las cuales la distancia de Hausdorff es
10	Distancia mayor a 3.00, huellas diferentes
90	Distancia menor a 3,00, huellas con un alto grado de similitud

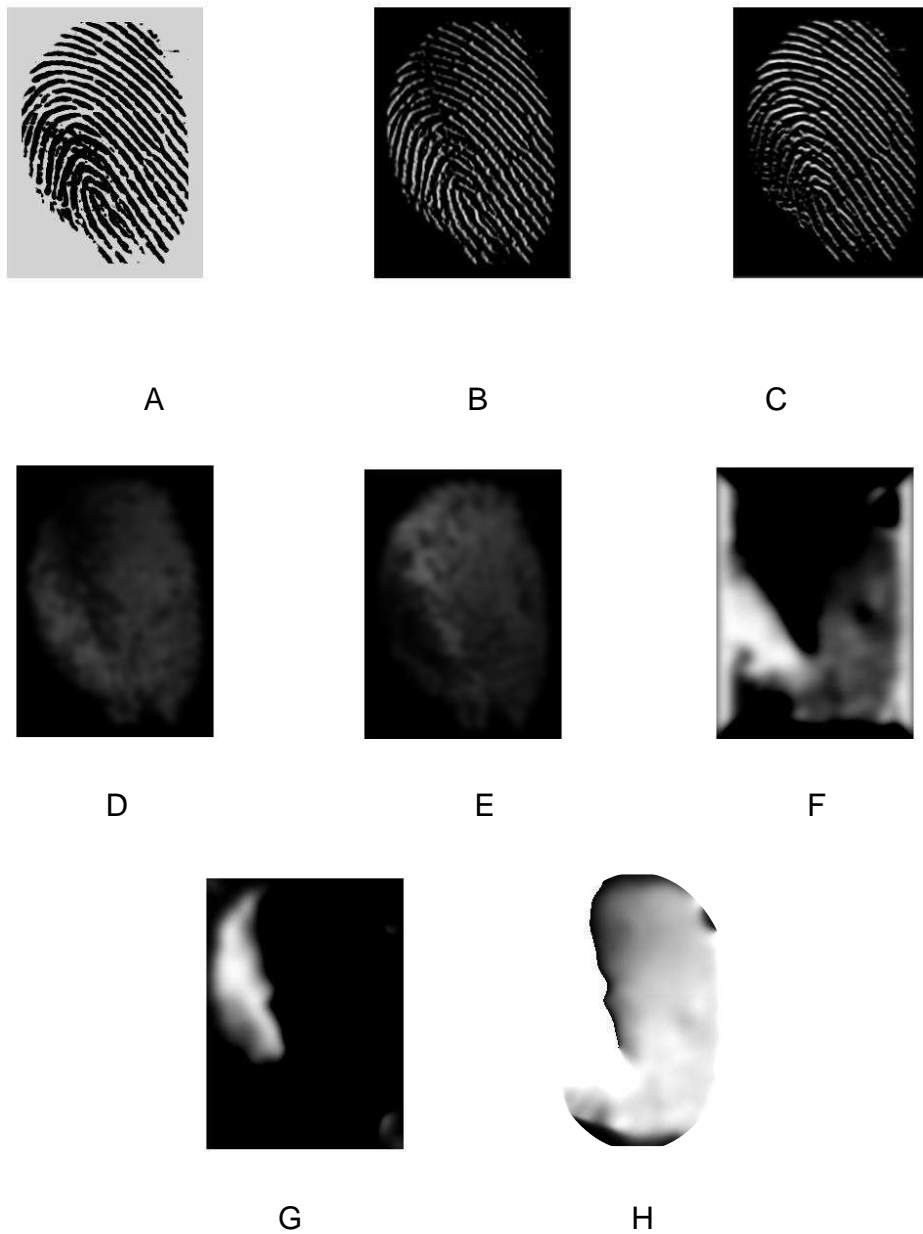
Fuente: Los autores

6. TECNICA PARA ESTIMAR EL ANGULO DE ROTACIÓN ENTRE HUELLAS DACTILARES FUNDAMENTADA EN EL CAMPO CONTINUO DE ORIENTACIÓN DE LA HUELLA.

Para la creación de la técnica buscada como objeto de este trabajo investigativo se analizó el campo continuo de orientación de la huella. La información contenida en este sirvió para precisar un ángulo de referencia para cada huella que pudiera ser utilizado en los cálculos necesarios al momento de la comparación.

Como punto de partida de la técnica basada en el tratamiento digital de imágenes, se toma la imagen de la huella dactilar, para ser procesada mediante operaciones matemáticas relacionadas con el campo de orientación de la misma.

Figura 27. Tratamiento digital de la imagen de una huella dactilar, empleando operaciones matemáticas sobre la misma.



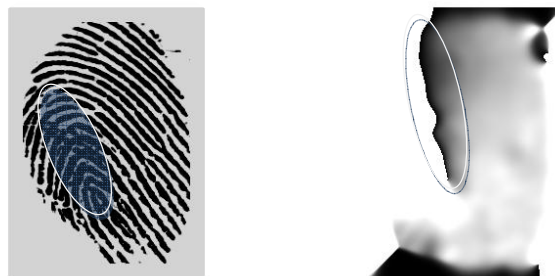
Fuente: Los autores.

Las anteriores graficas son representaciones de los diferentes pasos que se siguieron para obtener el campo de orientación.

- a) La huella en escala de grises de la que se parte.
- b) El cálculo del gradiente en dirección de la horizontal.
- c) El cálculo del gradiente en dirección de la vertical.
- d) Promediado del gradiente horizontal al cuadrado.
- e) Promediado del gradiente vertical al cuadrado.
- f) Componentes en x de la versión continua del campo de orientación.
- g) Componentes en y de la versión continua del campo de orientación.
- h) Campo continuo de orientación de la Huella.

La observación de la representación grafica del campo continuo de orientación de las Huellas de las diferentes familias permiten determinar que existe una característica que se aproxima a la dirección de la propagación de las crestas que pudiera ser utilizada como referencia para obtener una orientación de la huella.

Figura 28. Aproximación grafica a la orientación de una huella dactilar.

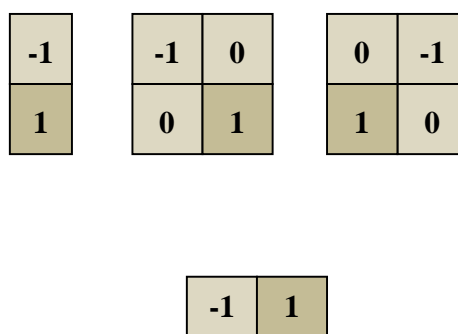


Fuente: Los autores.

Al observar de que es consecuencia esta característica se encuentra que son el menor monto de cambio de la intensidad de brillo hallada con la magnitud del cuadrado de los gradientes y ubicados en los puntos más altos de las crestas cóncavas hacia abajo que se presentan en la imagen, teniendo en cuenta que para curvas que presentan estas características la tangente en su punto máximo es cero, es de esperar que el gradiente sea consecuente con esto.

El gradiente es calculado con la función gradient de MATLAB la cual utiliza un paso entre pixeles de uno y un filtro gaussian de tamaño siete con desviación estándar uno, el filtro gaussian simula una distribución gaussiana bivalente en la cual el valor máximo aparece en el pixel central y disminuye hacia los extremos tanto más rápido cuanto menor sea el parámetro de desviación estándar, el resultado será un conjunto de valores entre cero y uno, donde el suavizado obtenido es directamente proporcional al valor de la desviación estándar, desviación estándar grande, campana más ancha, más suavizado y desviación estándar pequeña campana más estrecha, menos suavizado.

Figura 29. Valores de los pixeles para un filtro Gaussiano.



Fuente: Los autores.

$$f'(x) = f(x) - f(x - 1) \quad (18)$$

$$\Delta f = f(x) - f(x - 1) \quad \Delta x = 1 \quad (19)$$

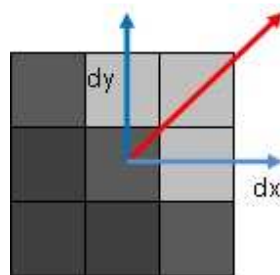
$$f'(x) = \Delta f / \Delta x \quad (20)$$

El cálculo del gradiente en una imagen implica una derivada discreta la cual es hallada con mascarar como las que se observan en la figura 29 dependiendo la dirección del mayor incremento de la intensidad del brillo para cada punto de la imagen a procesar, el resultado es la orientación con respecto al sentido de la máscara aplicada (horizontal, vertical y diagonal), en este trabajo se utiliza el cuadrado de los gradientes lo cual permite eliminar orientaciones negativas y con esto la posibilidad de pérdida de información por eliminación de gradientes.

$$a) \quad G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right) \quad (21)$$

Combinando estas orientaciones con la ecuación (21) se puede encontrar un vector que representa el monto de cambio de la intensidad de brillo el cual deja ver que tan abrupta o suave cambia una imagen en cada punto.

Figura 30. Variación de intensidad de una imagen.



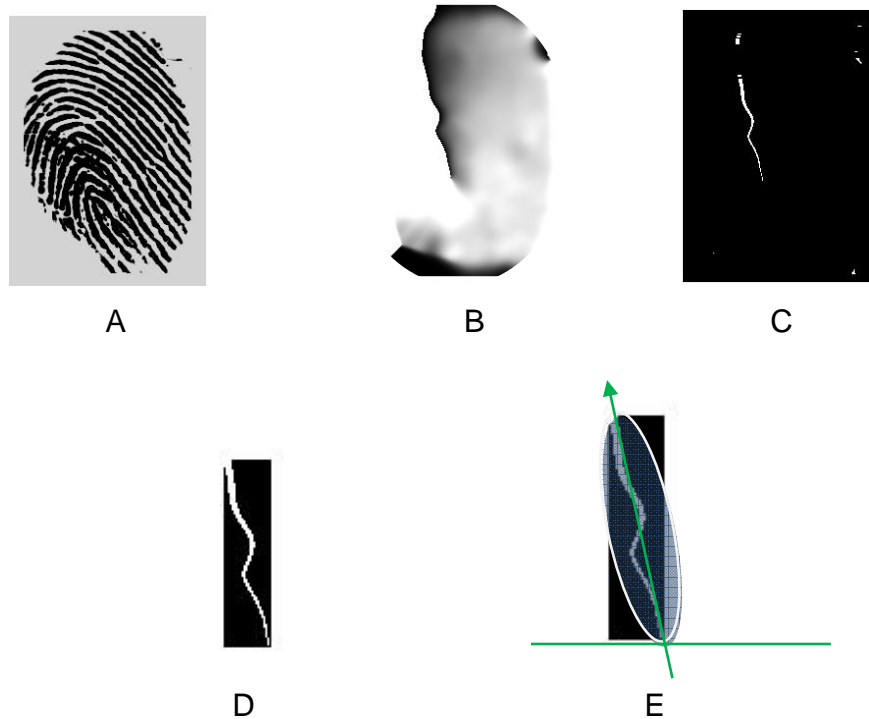
Fuente: Los autores.

Partiendo de la información arrojada por el campo continuo de orientación de las Huellas y utilizando un procedimiento de binarización por umbral y luego recorte de la zona de interés se separa esta para ser analizada.

Se encuentra su orientación por medio del método de la orientación del eje principal de la elipse respecto con la vertical que enmarca esta región.

A continuación se muestra la representación grafica de este procedimiento.

Figura 31. Imágenes de la huella dactilar y las componentes de su gradiente, imagen binaria y zonas de interés necesarias para el estudio.



6.1 PRUEBAS Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN COMO BASE PARA LA COMPARACIÓN Y FUNDAMENTO DE LA TECNICA

Tabla 13. Ángulos de referencia de rotación a partir de una huella patrón.

Individuo Imagen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Huella Patrón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Huella 2	29,3	-3,14	-1,92	4,69	7,42	1,12	-3,1	4,07	5,65	3,31
Huella 3	27,3	3,59	-2,24	-18,24	5,88	18,72	-2,52	6,94	0,61	6,79
Huella 4	-27,57	0,24	25,39	1,77	-10,88	5,66	-7,59	5,12	7,45	29,84
Huella 5	19,49	12,64	11,1	6,34	4,55	25,31	-3,06	-12,65	4,53	-3,81
Huella 6	30,18	0,05	4,33	4,58	5,65	4,08	10,54	4,3	0,42	3,46
Huella 7	29,26	1,17	9,94	12,76	4,13	7,78	0,01	0,02	2,77	2,31
Huella 8	18,03	2,03	20,59	9,72	2,65	5,24	2,3	1,06	1,2	0,48

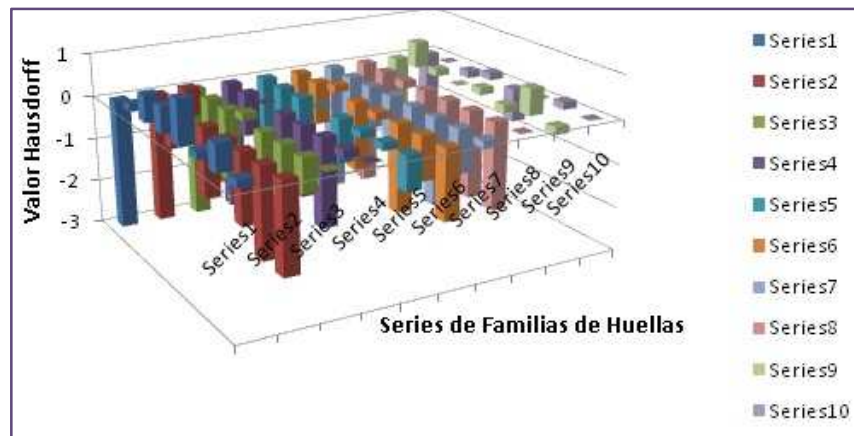
Fuente: Los autores.

Tabla 14. Distancias de Hausdorff resultantes con la rotación del ángulo de referencia

Individuo Imagen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Huella Patrón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Huella 2	3,16	2,00	1,00	2,00	2,24	2,00	1,00	2,00	3,61	3,00
Huella 3	3,61	3,61	1,41	3,00	2,00	3,16	2,00	2,83	3,16	2,83
Huella 4	3,61	1,41	3,16	2,00	3,00	1,41	2,00	2,00	3,00	3,16
Huella 5	4,00	2,83	2,24	1,41	2,00	2,83	1,41	1,41	3,16	2,24
Huella 6	3,16	1,41	1,00	1,00	2,83	1,00	1,00	1,00	2,83	3,00
Huella 7	3,61	1,00	2,24	2,83	2,83	2,00	2,00	1,00	3,61	3,16
Huella 8	3,16	1,00	3,00	3,00	2,24	1,41	2,83	3,00	2,83	3,00

Fuente: Los autores

Figura 32. Grafica de la distancias de Hausdorff resultante de la comparación entre imágenes utilizando la rotación del ángulo de referencia, a cuya magnitud se le resta el 3 indicativo de similitud de la comparación.



Fuente: Los autores.

En los datos anteriores se muestra la magnitud de la distancia de Hausdorff halladas al comparar las huellas de las diez familias, las cuales fueron rotadas el ángulo de referencia. A estas magnitudes se les resto el indicativo de alto grado de similitud 3, para hacer más visible el número de huellas que tienen igual o menor magnitud que este indicativo.

Al observar la grafica se tiene que:

Tabla 15. Porcentajes del grado de similitud arrojados por la técnica desarrollada.

%	Huellas para las cuales la distancia de Hausdorff es
20	Distancia mayor a 3.00, huellas similares
80	Distancia menor a 3,00, huellas con un alto grado de similitud

Fuente: Los autores.

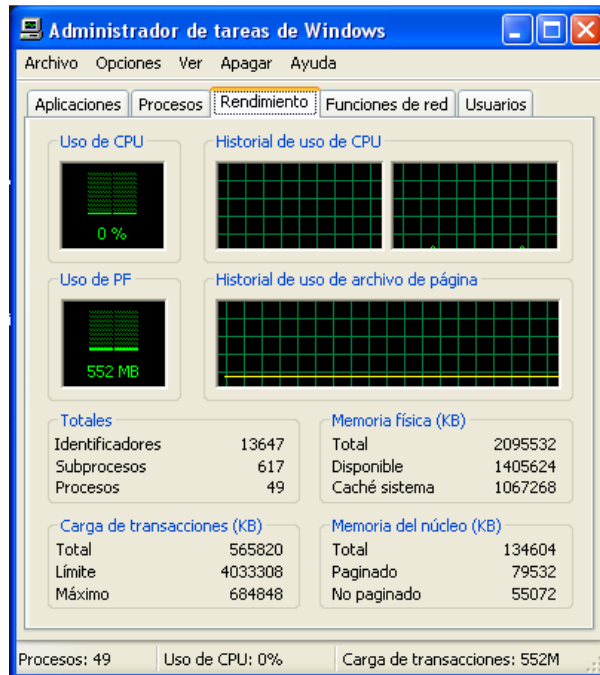
7. ENTORNO TECNOLÓGICO PARA LA EXPERIMENTACIÓN.

Tabla 16. Especificaciones tecnológicas del equipo de cómputo utilizado para la realización de las pruebas comparativas de desempeño.

Nombre del sistema operativo	Microsoft Windows XP Professional
Versión	5.1.2600 Service Pack 2 Compilación 2600
Tipo de sistema	Equipo basado en X86
Procesador	X86 Family 15 Model 75 Stepping 2 AuthenticAMD ~2199 MHz
BIOS Versión/Fecha	Phoenix Technologies, LTD ASUS M2A-VM ACPI BIOS Revisión 0302, 07/03/2007
Versión de SMBIOS	2.4
Memoria física total	2.048,00 MB
Memoria física disponible	1,33 GB
Memoria virtual total	2,00 GB
Memoria virtual disponible	1,96 GB
Espacio de archivo de paginación	3,85 GB

Fuente: Los autores.

Figura 33. Rendimiento y estado del equipo de cómputo en el instante inmediatamente anterior a la realización de las pruebas.



Fuente: Los autores.

8. PRESENTACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se presentaran los resultados arrojados por el sistema biométrico utilizando la técnica original y la técnica desarrollada en esta investigación, teniendo en cuenta la efectividad de los resultados y la rapidez con que estos son arrojados.

Es necesario aclarar que se presentaran los resultados incluyendo y excluyendo la familia de huellas uno (1) ya que como se anunció en el inicio de la investigación estas pertenecen a un tipo de huellas cuyo núcleo es difícil de localizar mediante el método de Poincare el cual es utilizado en la investigación en la que se basó este trabajo y que representan un porcentaje bajo de existencia.

Tabla 17. Datos arrojados por el sistema biométrico utilizando la técnica original.

Porcentajes Sistemas	Porcentaje de acierto en aceptación %	Porcentaje de acierto en rechazo %	Tiempo de comparación por huella en (segundos)
Sistema Original	85	94	4.8183
Sistema Original Excluyendo la Familia de las Huellas 1	89	94	4.8183

Fuente: los autores.

Se considera necesario hacer evidente los resultados encontrados con la técnica presentada en el capítulo cinco la cual determina el grado de rotación a partir del

promediado de la orientación encontrada con respecto al eje x, para el cual los resultados de funcionalidad son los siguientes:

Tabla 18. Resultados arrojados por la técnica presentada en el capítulo cinco.

Porcentajes Sistemas	Porcentaje de acierto en aceptación %	Porcentaje de acierto en rechazo %	Tiempo de comparación por huella en (segundos)
Método para calcular la rotación entre huellas dactilares basado en el campo de orientación respecto al eje x	74	94	1.6292
Excluyendo la Familia de las Huellas 1	80	94	1.6292

Fuente: los autores.

La técnica desarrollada y presentada en el capítulo seis se basa en el campo continuo de orientaciones de la huella dactilar y da como resultado la siguiente información:

Tabla 19. Resultados arrojados por el sistema biométrico utilizando la técnica desarrollada en el presente trabajo.

Porcentajes Sistemas	Porcentaje de acierto en aceptación %	Porcentaje de acierto en rechazo %	Tiempo de comparación por huella en (segundos)
Sistema modificado con la			

técnica basada en el Campo continuo de orientación de la Huella	77.5	95	1.6292
Sistema modificado con el método basado en el Campo continuo de orientación de la Huella Excluyendo la Familia de las Huellas 1	85	95	1.6292

Fuente: Los autores.

Teniendo en cuenta la información arrojada por el sistema utilizando la técnica original y la técnica desarrollada en este trabajo investigativo podemos presentar un cuadro comparativo de acuerdo a los parámetros enunciados al inicio del capítulo (efectividad y velocidad).

Teniendo en cuenta que las pruebas se realizaron sobre una base de datos de diez individuos o familias que a su vez contenían una huella tomada ocho veces presentando diferentes variaciones en la misma como rotación, traslación, ruido, poca legibilidad, etc. Presentamos los siguientes resultados:

Tabla 20. Resultados arrojados por la técnica original y la técnica desarrollada.

Sistemas	Porcentaje de acierto en aceptación %	Porcentaje de acierto en rechazo %	Tiempo de comparación por huella en (segundos)
Sistema Original	85	94	4.8183
Sistema modificado con el método desarrollado	77.5	95	1.6292

Fuente: Los autores.

En la tabla anterior se puede observar que el sistema original tiene un 7.5% de acierto en aceptación más que el modificado con la técnica desarrollada, que equivalen a seis huellas por cada 80, también que el sistema modificado con el la técnica desarrollada tiene un 1% más de acierto en rechazo que el original y en cuanto a Tiempo de comparación por huella la diferencia es de 3.1891(segundos) a favor del sistema modificado que con 1.6292 (segundos) está cerca de ser tres veces más rápido que el original.

Los resultados son afectados por un individuo con tipo de huella arco o tendiente hacia arco ya que como se menciona anteriormente el sistema tiende a fallar en estos tipos de huellas por la no existencia de singularidades al excluir este individuo de la prueba el resultado obtenido es el siguiente.

Tabla 21. Resultados sin tomar en cuenta la familia de huellas uno (1).

Porcentajes Sistemas	Porcentaje de acierto en aceptación %	Porcentaje de acierto en rechazo %
Sistema Original	89	94
Sistema modificado con el método desarrollado	85	95

Fuente: Los autores.

Si se dejaran de lado el tipo de huellas como el de la familia uno (1) que aunque existan no son muy comunes de acuerdo a [1], el porcentaje de aciertos en aceptación mejora considerablemente por parte del sistema modificado con respecto al sistema sin modificar.

El sistema desarrollado está basado en un umbral de decisión para la discriminación de las diferentes huellas el cual es determinada por la distancia de Hausdorff, con la escogencia de este umbral para sistemas de este tipo se busca que el porcentaje de acierto en el rechazo sea mayor que el porcentaje de acierto en aceptación, buscando una mayor seguridad a la hora de hacer la discriminación.

Los resultados arrojados por este sistema son consecuentes con lo anterior además de contar con un tiempo de comparación bastante aceptable.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos representan un avance en el tema de velocidad de comparación ya que la implementación de la técnica desarrollada reduce esta casi tres veces, es decir pasa de un tiempo aproximado de comparación de 4.82 a 1.63 segundos.
- En relación a la seguridad el estudio logró un porcentaje mejorado en cuanto al acierto en rechazo. Con respecto a la confiabilidad en el porcentaje de acierto en aceptaciones el rendimiento medio estuvo por debajo de la técnica original por cuatro puntos porcentuales, esto debido a la gran sensibilidad por parte de la distancia de Hausdorff en cuanto a rotación y traslación de las imágenes, lo que deja abierta la posibilidad de avance en las investigaciones posteriores concernientes al tema.
- La técnica desarrollada en este trabajo, avanzó en dar solución a una problemática que no ha sido tomada en cuenta por los diferentes centros de formación e investigación y que desde una perspectiva de la industria de la seguridad es de vital importancia, demostrando que es posible mejorar el rendimiento de los sistemas biométricos a partir del análisis tomando como herramienta el tratamiento digital de imágenes.
- Se comprobó que la distancia Hausdorff es muy sensible a la rotación y que por lo tanto las técnicas que se implementen deben ser las más exactas posibles.
- El proceso investigativo además de dejar una técnica de tratamiento digital de imágenes para la estimación del ángulo de rotación entre huellas dactilares de

un mismo individuo, da luces para nuevos proyectos relacionados con el método del promedio del campo de orientación con respecto al eje (x).

- Se considera necesario realizar proyectos investigativos de tipo interdisciplinario por ejemplo la articulación de la escuela de Ingeniería Electrónica en el diseño y creación de un dispositivo de escáner de huellas y la escuela de Ingeniería de Sistemas en el desarrollo e implementación del software.
- Desde el Tratamiento digital de imágenes se puede dar solución a la problemática concerniente a la variabilidad en la rotación de las huellas que ingresan en un sistema biométrico con el fin de ser identificadas o autenticadas.
- En Colombia el proceso investigativo en el área de identificación y autenticación de personas mediante huella dactilar, aunque aumenta necesita mayor promoción y apoyo, con el fin de garantizar trabajos cualificados que puedan ser implementados en sistemas reales.

9.2 RECOMENDACIONES

- Ahondar la investigación para mejorar la técnica teniendo en cuenta el método del promediado del campo de orientación con respecto al eje (x).
- Aunque la distancia Hausdorff es efectiva como medida discriminante para la comparación de las imágenes de dos huellas dactilares, la técnica aquí desarrollada podría ser implementada en otro sistema biométrico basado en otro tipo de medida de comparación.
- Promover los procesos investigativos interdisciplinarios complementarios al tema aquí expuesto.

10. BIBLIOGRAFIA

- [1] Arguello Fuentes, H. (2008). Evaluación de la distancia Hausdorff en un sistema automático de reconocimiento de huellas dactilares. *Revista Colombiana De Computación ISSN: 1657-2831* , 9, 7-32.
- [2] Boozox.net. (n.d.). *Boozox.net*. Retrieved 2009, from <http://boozox.net/php/desenfoque-gaussiano-como-funciona-filtro-para-imaset/>
- [3] Cappel, R., Maio, D., Maltoni, D., Wayman, J. L., & Jain, A. K. (2006). Performance Evaluation of Fingerprint Verification Systems. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* , 28 (1), 1-6.
- [4] Eleccion, M. (1973). "Automatic Fingerprint Identification". *IEEE Spectrum* , 10, 36-45.
- [5] Fingerprint Verification Competition. (2004). *Fingerprint Verification Competition*. Retrieved 2010, from Fingerprint Verification Competition: <http://bias.csr.unibo.it/fvc2004/download.asp>
- [6] Hong, L., & Jain, A. K. (1998). "Integrating Faces and Fingerprints for Personal Identification". *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* , 20 (12), 1295-1307.
- [7] Jain, A. K., Prabhakar, S., Hong, L., & Pankanti, S. (2000, May). Filterbank-Based Fingerprint Matching. *IEEE Transactions on image processing* .
- [8] *Revista Electronica de Ingenieria*. (n.d.). Retrieved 2009, from Sistemas Biometricos: http://www.ing.puc.cl/~iing/ed429/sistemas_biometricos.htm

[9] Wikipedia. (n.d.). *Wikipedia*. Retrieved 2009, from Wikipedia:
http://es.wikipedia.org/wiki/Operador_Sobel

[10] Zhang, Q., Huang, K., & Yan, H. (2001). Fingerprint Classification Based on Extraction and analysis of singularities and Pseudoridges. *Pan-Sidney Area Workshop on visual Information processing* . Sidney, Australia.