

## Reconocimiento, Análisis y Evaluación de una Minucia en una huella dactilar Aplicando Correlación Digital de Imágenes

### Recognition, Analysis and Evaluation of a Minutiae in a Fingerprint Applying Digital Image Correlation

HERNÁNDEZ-EPIGMENIO, Miguel Angel†\*, JUÁREZ-TOLEDO, Carlos y MARTÍNEZ-CARRILLO, Irma

*Universidad Autónoma del Estado de México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Miguel Angel, Hernández-Epigmenio* / ORC ID: 0000-0002-1683-4080, Researcher ID Thomson: F-9514-2018, CVU CONACYT ID: 786771

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Carlos, Juárez-Toledo* / ORC ID: 0000-0002-7440-3246, Researcher ID Thomson: C-1368-2016, CVU CONACYT ID: 39912

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Irma, Martínez-Carrillo* / ORC ID: 0000-0002-7952-4418, Researcher ID Thomson: B-9264-2016, CVU CONACYT ID: 39914

Recibido Febrero 06, 2018; Aceptado Marzo 30, 2018

#### Resumen

Con la finalidad de obtener una mejor comprensión de los sistemas complejos especialmente aquellos relacionados con la visión artificial, se han venido implementando los métodos numéricos que utilizan series matemáticas para mejorar el procesamiento de imágenes digitales. La correlación digital de imágenes es una técnica experimental que permite la detección de mediciones de similitud basadas en comparaciones por pares entre los píxeles de las imágenes analizadas, esta técnica valora los píxeles de una imagen, analizando su rotación, deformación y desplazamiento. El objetivo de este trabajo es desarrollar un método en conjunto con la herramienta numérica para realizar un modelo cuantitativo y probabilístico, para una minucia específica de una huella dactilar capturada en dos momentos diferentes de tiempo. En este trabajo se aplica la correlación digital de dos huellas dactilares, esta técnica permite obtener la correspondencia local de las dos huellas comparando su núcleo por pares y calculando su correlación. La finalidad del trabajo no es mostrar la coherencia global de la huella digital, lo que se pretende es obtener un enfoque local mostrando las ventajas de su implementación.

#### Minucia, Bifurcación, Correlación

#### Abstract

Mathematical methods in time series analysis and digital image processing for understanding complex systems have been increased rapidly, especially those related to artificial vision. The digital correlation of images is an experimental technique that allows for the detection of similarity measurement based on pairwise comparisons between the pixels of the images. The digital correlation of images evaluates the pixels of an image, analyzing their rotation, deformations and displacements. The objective of this work is to develop the method and tool of a quantitative and probabilistic model of trust, for a specific minutiae of a fingerprint captured in two different moments of time. In this paper the digital correlation of two fingerprints is applied, this technique enables two fingerprints to be matched by locally comparing nucleus pairwise and calculating their correlation. Finally, the global coherency in the minutiae set is not showing on the paper, the goal is to demonstrate that the local approach has computation advantage.

#### Minutiae, Bifurcation, Correlation

**Citación:** HERNÁNDEZ-EPIGMENIO, Miguel Angel, JUÁREZ-TOLEDO, Carlos y MARTÍNEZ-CARRILLO, Irma. Reconocimiento, Análisis y Evaluación de una Minucia en una huella dactilar Aplicando Correlación Digital de Imágenes. Revista de Cómputo Aplicado. 2018, 2-5: 14-22.

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: mhernandez531@alumno.uaemex.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

**Introducción**

Para el adecuado funcionamiento de los sistemas de seguridad la identificación personal es muy importante. Los métodos de identificación por medio de objetos o códigos como son llaves, tarjetas o contraseñas, a pesar de que son muy utilizados para la identificación personal no son del todo confiables.

Actualmente existen métodos y técnicas eficientes para el reconocimiento personal, las cuales se basan en la caracterización de un rasgo físico de un individuo comparando lo muestras o perfiles y de esta manera realizar una predicción del porcentaje de parentesco.

Si bien, las técnicas biométricas convencionales son eficientes y pueden arrojar datos precisos de identificación personal, con el avance de la tecnología se empiezan a desarrollar procesos de identificación cada vez más robustos, eficientes y rápidos.

Los primeros trabajos sobre huellas dactilares se remontan a los años de 1823 cuando John Evangelist Purkinje realizó los primeros estudios de las huellas dactilares y posteriormente en 1892 Galton publicó su libro "Fingerprints" en el que afirmaba que las huellas dactilares eran únicas y que no cambiaban a lo largo de la vida; Galton también estableció el primer sistema de clasificación de las huellas dactilares. Sin embargo, no fue hasta el año de 1980 que Sir Francis Galton introdujo dentro de la biometría a las huellas dactilares como eficientes herramientas de identificación personal.

Badler (1991) encontró mediante análisis estadístico la probabilidad de encontrar dos huellas similares el cual es del orden del  $1.9 \times 10^{-15}$ . Este estudio expuso la gran confiabilidad biométrica de las huellas digitales, abriendo un gran abanico de metodologías para la identificación dactilar.

Otro estudio que dio sustento a la incorporación de las huellas dactilares fue el realizado por González (1996) en el cual determina que las huellas dactilares son rasgos que identifican al individuo desde su nacimiento y, se forman completamente alrededor de los siete meses de desarrollo del feto y sus cambios son mínimos a lo largo de su vida.

Para conseguir la identificación biométrica a través de una huella dactilar se realiza la caracterización de las principales tipologías, tomando en cuenta que una huella está conformada por una serie de líneas oscuras que representan las crestas y espacios blancos que representan valles. La identificación con huellas dactilares está basada principalmente en la ubicación y dirección de las terminaciones de crestas y valles como hacen mención Kuchen y Newell (2004).

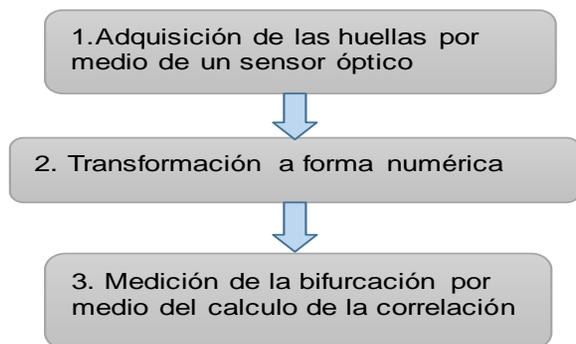
Olivares (2008) menciona que la biometría dactilar ha venido tomando mayor importancia en la identificación de personas. Esta tecnología biométrica ha madurado lo suficiente como para constituirse como una de las formas más precisas en la identificación cuando son combinadas con metodologías como redes neuronales.

González (1996) y Barbedo (2012) realizaron clasificaciones de una huella con un sistema de reconocimiento automático, mostrando que es posible reducir el campo de búsqueda y el tiempo de análisis. Por lo que contar con un sistema que realice la clasificación de acuerdo con sus minucias podría lograr un incremento sustancial en el tiempo de respuesta de los sistemas de identificación.

En la práctica existen ocasiones donde es necesario identificar a la persona por medio de huellas dactilares incompletas o bien se encuentran parcialmente dañadas, por ejemplo en medicina forense. Si bien existen varios trabajos sobre reconocimiento dactilar, la mayoría de estos se enfoca al análisis global de la huella, siendo escasos los trabajos donde se enfocan al estudio de solo una parte o minucia de esta.

En este artículo se presenta el reconocimiento, análisis y evaluación de una minucia en una huella dactilar por medio de la correlación digital de imágenes. La finalidad es mostrar la correlación que existe entre dos huellas cuando solo se toma en cuenta una pequeña sección de esta.

El estudio realizado se lleva a cabo de la siguiente forma, como se muestra en la figura 1:



**Figura 1** Diagrama de flujo de las etapas de estudio  
Fuente: *Elaboración Propia*

Una vez llevado a cabo este procedimiento se analiza cada valor numérico de la sección de estudio como se desarrolla a continuación.

### Minucias de la huella dactilar

La huella dactilar como medida biométrica se ha estudiado por siglos y su grado de precisión ha aumentado considerablemente a medida que es combinada con las nuevas tecnologías. Para realizar un mejor estudio de identificación una huella dactilar se divide convencionalmente en tres principales regiones, como puede verse en la figura 2 Abushariah (2012):

- A es la Zona Marginal en amarillo
- B la Zona del Núcleo en rojo
- C la Zona Basal en verde



**Figura 2** Regiones de una huella dactilar  
Fuente: *Basada en Abushariah, 2012*

Las huellas digitales tienen características visibles que son: las crestas, los valles y las minucias, donde una cresta se define como un segmento de curva, y un valle como la región entre dos crestas como lo describe Thai (2010), Olivares (2008) y Hernández (2017).

Las minucias son los puntos en el que termina una cresta o se bifurca en dos o más crestas. Se define en términos de sus coordenadas  $(X, Y)$  González (1996).

Wayman (2001) argumenta que una minucia es un punto de interés de la huella digital. Las minucias tienen la siguiente representación:  $\text{minucia} = \{X, Y, \emptyset\}$  donde  $X$  y  $Y$  es la posición en la imagen de la huella y  $\emptyset$  es el ángulo (en radianes) de dicha minucia.

### Desarrollo

Kenney (1951) y Achtert (2008) argumentan que la correlación digital es un proceso que se usa en procesamiento de señales e imágenes para comparar dos señales (si se trabaja de forma unidimensional) o dos imágenes (en el caso bidimensional), este proceso se puede realizar ópticamente o de forma digital, en el caso del proceso óptico, se requiere una serie de lentes especiales para detectar las señales o imágenes que se encuentran, mientras que en el procesamiento digital se requiere un equipo informático especializado que pueda realizar este proceso.

La correlación de dos funciones  $f_e(x, y)$  y  $g_e(x, y)$  esta dada por la siguiente expresión:

$$f_e(x, y) \circ g_e(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f^*(\alpha, \beta) g(x + \alpha, y + \beta) d\alpha d\beta \quad (1)$$

Donde  $f^*(\alpha, \beta)$  es el complejo conjugado de  $f(\alpha, \beta)$ . Para funciones discretas la ecuación es:

$$f_e(x, y) \circ g_e(x, y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-2} f_e^*(m, n) g_e(x + m, y + n) \quad (2)$$

Para  $x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$  y  $y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$   $f_e(x, y)$  y  $g_e(x, y)$  son funciones periódicas y  $M, N$  se escogen de tal manera que eviten la superposición en los periodos de la función de correlación.

Cohen (1983) y González (1996) menciona que la correlación de dos imágenes, principalmente se utiliza en aplicaciones de reconocimiento donde se busca encontrar la mayor correspondencia entre una imagen desconocida y las de una base de datos previamente preestablecida. Se calcula la correlación entre esta imagen y todas las de la base de datos, de forma tal que la pareja de imágenes que den el mayor valor del pico de correlación corresponde a la imagen buscada.

Marques (2011) menciona que Matlab internamente aplica una herramienta (región pixel) para explorar los valores numéricos que contiene una imagen. Usualmente esta herramienta de exploración informa, visualiza el valor de los píxeles de acuerdo a su contraste o nivel de píxeles que comprende un intervalo de (0-255).

La información de cada pixel, está restringida al formato en que se encuentra la imagen; por ejemplo, en el caso de una imagen en formato JPG o GIFF cada pixel puede almacenar 8 bits de información numérica, por lo tanto, está en capacidad de tomar como mínimo 28 posibles valores, de donde se obtiene que la información de los píxeles varía entre 0, para la mínima intensidad y 255, para la máxima intensidad como lo argumentan Petrou & Petrou (2010).

La herramienta región de pixel usa un visor de imágenes a escala de toda la imagen como un porcentaje del tamaño de la imagen original. Por ejemplo, si especifica 100, el visor de imágenes muestra la imagen a 100% de aumento (un píxel de pantalla para cada píxel de la imagen).

Petrou & Petrou (2010) señalan que la trayectoria que sigue un dispositivo para formar la imagen digital es la siguiente:

- La luz que detecta el objetivo de la cámara llega hasta el sensor de imagen, denominado CCD formado por una multitud de receptores fotosensibles denominados "fotodiodos".

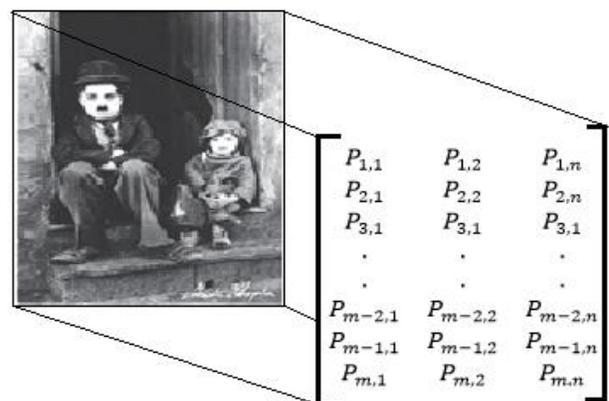
- La luz incidente genera una pequeña señal eléctrica a cada receptor, que posteriormente, esta señal se transformará en datos digitales por el conversor ADC, como una serie de cadenas de números ceros y unos, denominados dígitos binarios. Estos números binarios (0,1), se representan como pequeños cuadraditos, en forma de mosaico individual denominados píxeles.

La imagen digital que se obtiene ya sea a través de una pantalla, un escáner o una cámara digital, es un enorme mosaico lleno de millones de píxeles. Cada píxel contiene la información del color de esa pequeña porción.

Una imagen, matemáticamente, puede ser descrita mediante una función que toma un punto de la imagen y la representa asignándole un valor numérico; de este modo, la terna se denominará pixel (Klette & Zamperoni, 1996).

Jähne (2005) define al pixel como la menor unidad homogénea de color; sin embargo, si una imagen se amplía lo suficiente se podrán visualizar los píxeles y, cuando esto ocurre, se dice que la imagen presenta pixelado.

Considerando una imagen, es posible tomar una cuadrícula uniforme de tal manera que cada cuadro representa un pixel y al unir todos los píxeles, se obtendrá la imagen completa, de este modo, una imagen podrá ser descrita mediante una matriz de píxeles como lo dice Esakkirajan (2011); normalmente, un pixel es de tamaño pequeño, en comparación con toda la imagen, por esta razón, es de esperarse que la representación matricial de una imagen sea de un tamaño considerablemente grande.



**Figura 3**

Fuente: Triana et al. 2013

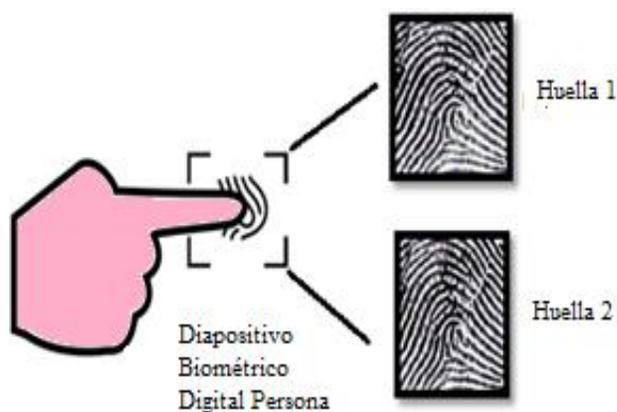
Cuando la imagen es representada en blanco y negro o a escala de grises, cada pixel guarda la información de la intensidad de brillo que corresponde a la ubicación en la matriz que este ocupa como lo describe Jähne (2005). En la figura 3, se muestra la representación en forma matricial de la ubicación de los píxeles en una imagen, donde  $P(x, y)$  es el pixel ubicado en la zona matricial de acuerdo a su posición en el sistema de ejes coordenados.

## Resultados

A continuación, se muestran las principales características tomadas en cuenta en este trabajo para la medición de correlación de la bifurcación de dos minucias de huellas dactilares mostradas en el anexo A.

### 1. Adquisición de las huellas por medio de un sensor óptico

Para la validación del método propuesto se consideran dos muestras de una misma huella capturadas en diferentes momentos a través de un dispositivo biométrico dactilar, como se muestra en la figura 4.



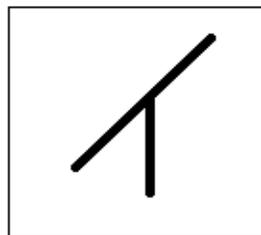
**Figura 4** Huellas 1,2 capturadas por el lector biométrico  
*Fuente: Elaboración Propia*

Las huellas 1 y 2 mostradas en la figura 4 fueron capturadas en diferentes tiempos, se consideró un tamaño de 80x80 píxeles, y corresponden a las huellas del dedo índice de la mano derecha de un mismo individuo.

Las huellas dactilares se conforman por características diferentes y que las hace únicas llamadas generalmente minucias, sin embargo para este trabajo se analiza una característica en particular llamada teóricamente bifurcación para ambas muestras.

### 2. Transformación a forma numérica

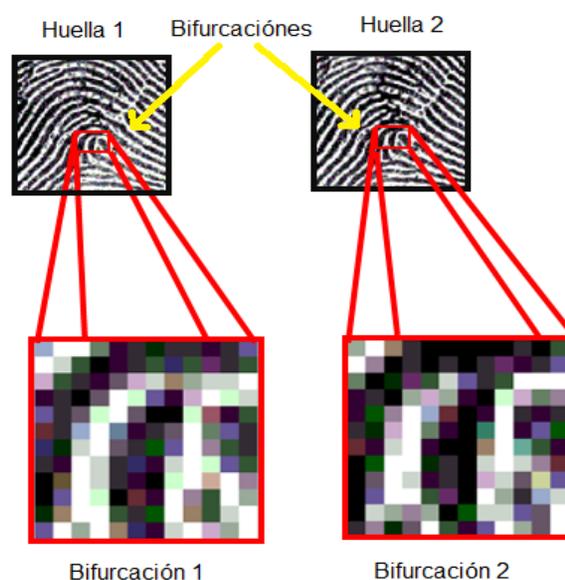
Aguilar et al. (2008) hace mención que la bifurcación es la línea que en algún punto de su camino se divide o se bifurca, formando un ángulo más o menos agudo, la representación de esta característica se muestra en la figura 5.



**Figura 5** Representación de una bifurcación  
*Fuente: Elaboración Propia*

Una bifurcación es una cresta papilar que inicia de la parte izquierda de la huella dactilar y en cualquier momento del recorrido se divide en 2 crestas que continúan paralelamente como lo fundamenta Aguilar et al. (2008). Una imagen se representa en píxeles, estos píxeles son el caso de estudio ya que se identifica la zona en donde se encuentra la bifurcación de ambas huellas.

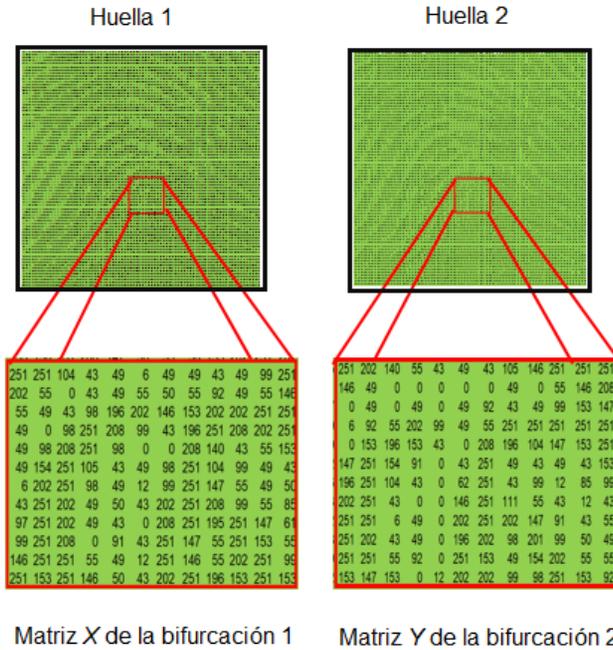
Las huellas de la figura 4 también se representan numéricamente a partir de forma matricial, donde estos valores numéricos componen pixel a pixel la forma de las bifurcaciones, como se muestra en la figura 6, la cual representa la forma matricial de las zonas de estudio de la bifurcación con un tamaño de 12x12 píxeles.



**Figura 6** Zona de ubicación de las bifurcaciones en huella 1 y 2

*Fuente: Elaboración Propia*

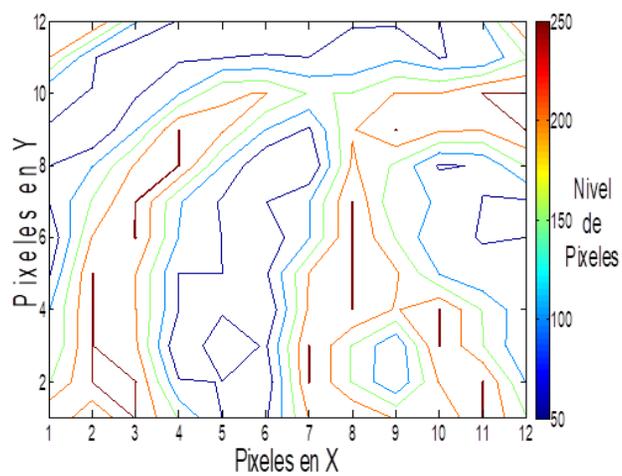
Como se muestra en la figura 6 se considera a simple vista que las imágenes con respecto a sus píxeles son similares, puesto que analizándolos numéricamente se identifica que cambian los valores numéricos como se observa en la figura 7.



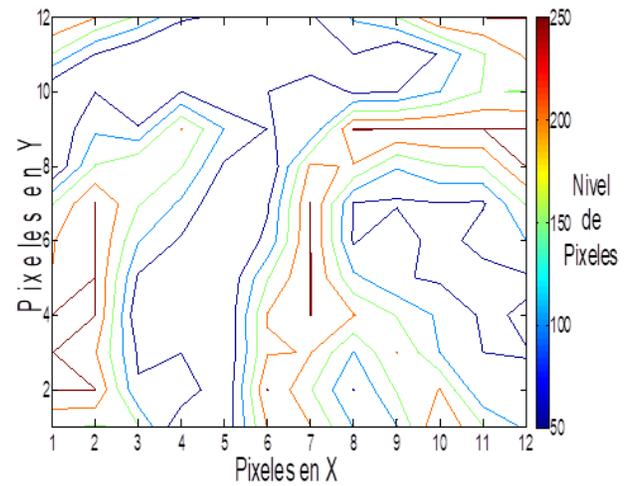
**Figura 7** Forma numérica de las bifurcaciones en huellas 1 y 2  
 Fuente: Elaboración Propia

**3. Medición de la bifurcación**

Posteriormente las zonas donde se ubican las bifurcaciones mostradas en la figuras 6 y 7 se graficaron, teniendo como resultado el comportamiento del nivel de los píxeles que va de 0 a 255 a escala de grises.



**Figura 8** Comportamiento de píxeles de la bifurcación de la huella 1  
 Fuente: Elaboración Propia



**Figura 9** Comportamiento de píxeles de la bifurcación de la huella 2  
 Fuente: Elaboración Propia

Las figuras 8 y 9 muestran que los datos numéricos de los píxeles en algunas zonas son similares, esto significa que en las líneas azul cielo, azul marino, naranja y café, son elementos candidato a aplicar una correlación para conocer el grado de similitud que existe entre ellas Achtert (2008).

Las líneas de color azul cielo y verde representan todos lo píxeles de valor 0 que son los píxeles mostrados de color blanco de la figura 6 y el resto de las líneas azul marino, naranja y café son representativas a los parámetros que tiene un valor mayor que cero.

El cálculo de la correlación matemática entre dos imágenes del mismo tamaño se obtiene mediante la ecuación (3) Pearson (1896) y Kendall (1979).

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2)(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2)}} \quad (3)$$

Donde  $A=X$  y  $B=Y$  son matrices numéricas y  $m$  y  $n$  representan sus dimensiones. Las matrices numéricas de la figura 7 son normalizadas dividiendo entre 255 (valor máximo de nivel de grises) cada elemento de las matrices  $X$  y  $Y$  obteniendo los siguientes valores:

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} 0.984 & 0.984 & 0.408 & 0.169 & 0.192 & 0.024 & 0.192 & 0.192 & 0.169 & 0.192 & 0.388 & 0.984 \\ 0.792 & 0.216 & 0.000 & 0.169 & 0.192 & 0.216 & 0.196 & 0.216 & 0.361 & 0.192 & 0.216 & 0.573 \\ 0.216 & 0.192 & 0.169 & 0.384 & 0.769 & 0.792 & 0.573 & 0.600 & 0.792 & 0.792 & 0.984 & 0.984 \\ 0.192 & 0.000 & 0.384 & 0.984 & 0.816 & 0.388 & 0.169 & 0.769 & 0.984 & 0.816 & 0.792 & 0.984 \\ 0.192 & 0.384 & 0.816 & 0.984 & 0.384 & 0.000 & 0.000 & 0.816 & 0.549 & 0.169 & 0.216 & 0.600 \\ 0.192 & 0.604 & 0.984 & 0.412 & 0.169 & 0.192 & 0.384 & 0.984 & 0.408 & 0.388 & 0.192 & 0.169 \\ 0.024 & 0.792 & 0.984 & 0.384 & 0.192 & 0.047 & 0.388 & 0.984 & 0.576 & 0.216 & 0.192 & 0.196 \\ 0.169 & 0.984 & 0.792 & 0.192 & 0.196 & 0.169 & 0.792 & 0.984 & 0.816 & 0.388 & 0.216 & 0.333 \\ 0.380 & 0.984 & 0.792 & 0.192 & 0.169 & 0.000 & 0.816 & 0.984 & 0.765 & 0.984 & 0.576 & 0.239 \\ 0.388 & 0.984 & 0.816 & 0.000 & 0.357 & 0.169 & 0.984 & 0.576 & 0.216 & 0.984 & 0.600 & 0.216 \\ 0.573 & 0.984 & 0.984 & 0.216 & 0.192 & 0.047 & 0.984 & 0.573 & 0.216 & 0.792 & 0.984 & 0.388 \\ 0.984 & 0.600 & 0.984 & 0.573 & 0.196 & 0.169 & 0.792 & 0.984 & 0.769 & 0.600 & 0.984 & 0.600 \end{bmatrix}$$

Figura 10 Matriz  $\bar{X}$  normalizada de la bifurcación de la huella 1

Fuente: Elaboración Propia

$$\bar{Y} = \begin{bmatrix} 0.984 & 0.792 & 0.549 & 0.216 & 0.169 & 0.192 & 0.169 & 0.412 & 0.573 & 0.984 & 0.984 & 0.984 \\ 0.573 & 0.192 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.192 & 0.000 & 0.216 & 0.573 & 0.816 \\ 0.000 & 0.192 & 0.000 & 0.192 & 0.000 & 0.192 & 0.361 & 0.169 & 0.192 & 0.388 & 0.600 & 0.576 \\ 0.024 & 0.361 & 0.216 & 0.792 & 0.388 & 0.192 & 0.216 & 0.984 & 0.984 & 0.984 & 0.984 & 0.984 \\ 0.000 & 0.600 & 0.769 & 0.600 & 0.169 & 0.000 & 0.816 & 0.769 & 0.408 & 0.576 & 0.600 & 0.984 \\ 0.576 & 0.984 & 0.604 & 0.357 & 0.000 & 0.169 & 0.984 & 0.192 & 0.169 & 0.192 & 0.169 & 0.600 \\ 0.769 & 0.984 & 0.408 & 0.169 & 0.000 & 0.243 & 0.984 & 0.169 & 0.388 & 0.047 & 0.333 & 0.388 \\ 0.792 & 0.984 & 0.169 & 0.000 & 0.000 & 0.573 & 0.984 & 0.435 & 0.216 & 0.169 & 0.047 & 0.169 \\ 0.984 & 0.984 & 0.024 & 0.192 & 0.000 & 0.792 & 0.984 & 0.792 & 0.576 & 0.357 & 0.169 & 0.216 \\ 0.984 & 0.792 & 0.169 & 0.192 & 0.000 & 0.769 & 0.792 & 0.384 & 0.788 & 0.388 & 0.196 & 0.192 \\ 0.984 & 0.984 & 0.216 & 0.361 & 0.000 & 0.984 & 0.600 & 0.192 & 0.604 & 0.792 & 0.216 & 0.216 \\ 0.600 & 0.576 & 0.600 & 0.000 & 0.047 & 0.792 & 0.792 & 0.388 & 0.384 & 0.984 & 0.600 & 0.361 \end{bmatrix}$$

Figura 11 Matriz  $\bar{Y}$  normalizada de la bifurcación de la huella 2

Fuente: Elaboración Propia

Sustituyendo la nomenclatura de las matrices normalizadas  $\bar{X}$  y  $\bar{Y}$  en la ecuación (3) e implementándolo computacionalmente en Matlab (ver anexo B) resulta  $r = 0.309$ . La expresión algebraica (3) calcula la correlación de las dos imágenes de la bifurcación en forma normalizada, analizando punto a punto sus deformaciones en cada píxel en la que se compone la imagen.

Las dos matrices numéricas que representan las bifurcaciones mostradas en la figura 6 y 7, expresan que los valores cambian en algunas zonas y en otras se mantienen por debajo o por encima de los valores de cada una de ellas, por lo que al aplicar la correlación digital de imágenes nos da como resultado 0.309, lo cual significa que son las mismas huellas aunque en algunas zonas los píxeles se desplazan o se mueven al momento de su captura.

Aunque el cálculo matemático de matlab lo hace de forma normalizada vemos que la similitud entre ambas matrices con respecto a sus valores en píxeles son semejantes esto nos da hincapié a que son las mismas imágenes pero los valores cambian.

El resultado 0.309 de la correlación demuestra que la correspondencia entre  $\bar{X}$  y  $\bar{Y}$  es una similitud positiva perfecta.

#### 4. Correlación usando dos huellas diferentes

Para validar la técnica se utiliza un tercer núcleo de una huella del tipo espiral, proveniente de una persona diferente (ver figura 12).

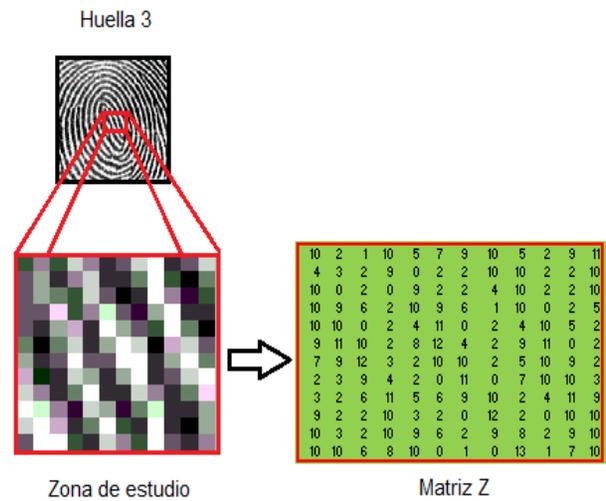


Figura 12 Zona de estudio y forma numérica de la huella 3

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 12 se observa la zona de estudio y la Matriz Z de la huella espiral 3, cuyas dimensiones corresponden a las Matrices X y Y (dimensión 12x12). Empleando la ecuación (3) se obtienen siguientes correlaciones:

$$\left. \begin{aligned} r_{h1,h3} &= -0.008 \\ r_{h2,h3} &= -0.011 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Donde  $r_{h1,h3}$  es la correlación entre las huellas 1 y 3, mientras  $r_{h2,h3}$  es la correlación entre las huellas 2 y 3.

Las correlaciones negativas en (4) muestran la nula correspondencia entre la huella 3 contra las huellas 1 y 2.

## Anexos

### Anexo A Código del cálculo de correlación.

```

%>> a=imread('Matriz X.gif'); %Identifica a X normalizada
b=imread('Matriz Y.gif'); %Identifica a Y normalizada
c=corr2(a,b) %Calcula la correlación entre la matriz numérica X y Y
c =0.309 %Resultado de la correlación

```

### Anexo B Huellas dactilares utilizadas durante la experimentación.



Huella1      Huella2      Huella3

## Agradecimiento

Los autores agradecen al Universidad Autónoma del Estado de México con el proyecto 4527/2018/CI.

## Conclusiones

Las técnicas para el reconocimiento de imágenes, son una herramienta fundamental para el avance de ingeniería e investigación, así como para diversas aplicaciones en otros campos relacionadas con la biometría dactilar. En este artículo se expone una técnica basada en la medición de la correlación digital de imágenes que permite cuantificar de forma precisa las minucias de dos huellas dactilares.

Como se muestra en el resultado de la ec. 3,  $r = 0.309$  el resultado positivo indica una fuerte correlación entre las muestras, lo cual significa que contiene una alta similitud y gran probabilidad de que pertenezcan a una misma huella.

Al analizar la correlación de imágenes en solo una sección de la huella para el reconocimiento dactilar, la cantidad de información disminuye haciendo que la convergencia del método sea más rápida y sencilla.

Las principales ventajas sobre la técnica propuesta son las siguientes:

- El cálculo de la técnica es más rápida en pequeños datos de información.
- La implementación es de bajo costo computacional para pequeñas cantidades de información.

Una desventaja previamente identificada al utilizar la técnica propuesta es el alto costo computacional para grandes cantidades de información.

Para complementar la técnica propuesta en trabajos futuros se pretende:

- Medir la correlación de dos huellas dactilares diferentes obteniendo correlaciones negativas.
- La implementación de una técnica de filtrado sobre las imágenes numéricas antes de la obtención de la correlación la finalidad es disminuir el ruido obtenido del sensor aclarando los niveles de grises de los píxeles.
- Si bien la técnica muestra resultados coherentes con dos minucias falta la automatización de la técnica, haciendo posible su utilización en bases de datos con grandes cantidades de información.

## Referencias

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, núm. 46, diciembre, 2008, pp. 101-109 Universidad de Antioquia Medellín, Colombia.

Achtert, E. et al. (2008). Global Correlation Clustering Based on the Hough Transform. *Statistical Analysis and Data Mining*. vol 1(3), pp. 111-127. 2008

A. A. M. Abushariah, T. Gunawan, J. Chebil y M. A. M. Abushariah, Automatic Person Identification System Using Handwritten Signatures, Computer and Communication Engineering (ICCCE), 2012 International Conference, pp. 560-565, 3-5 July 2012.

- Barbedo, J. G. A. (2012). State of the art of specific elements counting techniques in digital images (Estado da Arte das Técnicas de Contagem de Elementos Específicos em Imagens Digitais). *Documentos 120: Embrapa*. ISSN 1677-9274. Brazilian Agricultural Research Corporation. Embrapa Information (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Informática Agropecuária).
- R. Bansal, P. Sehgal y P. Bedi.(2011).Minutiae Extraction from Fingerprint Images - a Review, *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 8, No. 3.
- Badler,W “Dermatoglyphics”. Science transition. Vol. 9. 1991. pp. 95.
- Cohen, J., & Cohen, P. (1983). Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Esakkirajan, t.; Jayaraman, s.; Veerakumar, t. 2011. digital image processing. tata mc grah hill. India. pp.723.
- González, Rafael C. (1996). Tratamiento Digital de Imágenes. Editorial Addison-Wesley. Addison-Wesley Iberoamericana, S.A
- Hernández,M; Juarez, C y Martinez, I.(2017). Procesamiento dactilar usando Transformada de Fourier. *Revista de Innovación Sistemática*, Vol.1 No.3 37-46.
- Jahne, B. 2005. Digital image processing. Springer. Alemania. pp. 607.
- Kendall, M.G. The Advanced Theory of Statistics, 4th Ed., Macmillan, 1979.
- Klette, R.; Zamperoni, P. 1996. Handbook of image processing operator. Ed. John Wiley & Sons. Inglaterra. pp 397.
- Kenney, J. F. and Keeping, E. S., *Mathematics of Statistics*, Pt. 2, 2nd ed. Princeton, NJ: Van Nostrand, 1951.
- M. Kuchen, C. Newell. “A Model for fingerprint formation”. *Europhys letters*. Vol. 68. 2004. pp.141-147.
- Marques, O; (2011).Practical Image and Video Procesing Using MATLAB, Florida.,John Wiley & Sons, Inc,Publication.
- Olivares, J.(2008). Reconocimiento y validación de huellas dactilares utilizando una Red Neuronal.*Revista de tecnología*. Volumen 7, No. 1, ISSN1692-1399, pp. 55-60.
- Petrou, M.; Petrou, C. 2010. Image processing: The fundamental. John Wiley & Sons. Estados Unidos. pp 818
- K. Pearson, "Mathematical contributions to the theory of evolution. III. Regression, heredity and panmixia" *Philos. Trans. Royal Soc. London Ser. A*, 187 (1896) pp. 253–318
- L. H. Thai y H. N. Tam. (2010).Fingerprint Recognition Using Standardized Fingerprint Model. *IJCSI International Journal of Computer Science*, Vol. 7, n° 7, pp. 11-17.
- Triana, J.G.; Romero, L.C.; Roldán, D. G. (2013).Restauración digital de imágenes mediante ecuaciones diferenciales parciales. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 16 (2): 511 – 518.
- Wayman, J. L. (2001).Fundamentals of biometric authentication technologies. *International Journal of Image and Graphics* 1, n° 1 (93-113).