

# Sistema de procesamiento de imágenes vasculares infrarrojas para aplicación en dispositivos biométricos de control de acceso

*Vascular imaging infrared system for application in biometric devices of access control*

Cristhian L. Cortes

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
c1cortesa@correo.udistrital.edu.co

Juan S. Leguizamon

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
jsleguizamona@correo.udistrital.edu.co

Edwar Jacinto Gómez

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
ejacintog@udistrital.edu.co

---

En este proyecto, se utilizó la propiedad del infrarrojo cercano, producto de la reacción de la sangre al entrar en contacto con cierta longitud de onda, para obtener una captura preliminar del mapa vascular del dorso de la mano derecha que pueda manipularse a través de un algoritmo diseñado en el software MATLAB y generar, de este modo, un dispositivo capaz de realizar el preprocesamiento de una imagen tomada desde una cámara de baja resolución. Al implementar el sistema, se logró la extracción de las características del mapa circulatorio en el área delimitada (ROI), únicas para cada usuario, aplicables a dispositivos biométricos de control de acceso.

*Palabras clave:* Análisis de imagen, preprocesamiento de datos, técnicas de sustracción

In this project, was used the property of near-infrared, the reaction product of the blood to come into contact with certain wavelength, to obtain a preliminary snapshot of the vascular map on the back of the right hand that can be handled through an algorithm designed in MATLAB software and generate, in this way, a device capable of performing preprocessing of an image taken from a low resolution camera. By implementing the system, was managed the extraction of characteristics of circulatory map in the delimited area (ROI), unique for each user, applicable to biometric devices of access control.

*Keywords:* Data preprocessing, image analysis, subtraction techniques

---

**Tipología del artículo:** Investigación

**Fecha recepción del manuscrito:** Octubre 10, 2014

**Fecha aceptación del manuscrito:** Noviembre 3, 2014

**Investigación financiada por:** Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

**Edición digital:** <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tekhne/issue/view/748>

**Cómo citar:** Cortes, C., Leguizamon, J. y Jacinto, E. (2015). *Sistema de procesamiento de imágenes vasculares infrarrojas para aplicación en dispositivos biométricos de control de acceso*. Revista Tekhné, 12(1), 13-22.

## Introducción

Con el crecimiento sin precedentes de las tecnologías de la información (TIC) al igual que los delitos informáticos, se ha hecho necesario asegurar que el acceso a cierto tipo de información y a algunos espacios físicos de la industria se limite a un grupo especializado de personas de confiabilidad. Inicialmente, en algunas entidades se implementó una solución parcial contratando compañías y personal experto en seguridad, pero hoy se hace vital automatizar este proceso para así garantizar que la alteración o hurto de identidades tienda a ser nula. En algunas industrias y sectores se ha optado por usar software innovadores en el área de la seguridad pero, debido a su vital importancia en el sector biométrico, se han elevado los costos de aplicación a sistemas cerrados.

Algunas personas, o sociedades, se han dedicado a estudiar los elementos de seguridad para lograr falsificarlos y utilizarlos para beneficio personal. De acuerdo con la *Federal Trade Commission*, entre 1999 y 2003, 27,3 millones de americanos fueron víctimas de robos de identidad, en tanto que negocios e instituciones financieras perdieron cerca de \$48 billones de dólares a manos de ladrones de identidad y, por su parte, las víctimas también incurrieron en gastos de su bolsillo por el orden de los \$5 billones por el mismo motivo (FTC, 2003).

Por esto, se hace necesaria la implementación de sistemas capaces de garantizar la restricción de acceso para personal ajeno a cierta información o espacios donde se detalle el funcionamiento en general de procesos de producción, de finanzas, de control de gestión, de comercio o cualquiera que esté ligado al crecimiento de las entidades.

En Colombia, se ha observado que el fraude dentro de la industria es, en gran parte de los casos, perpetrado por personal activo de las empresas (Kroll, 2012). El introducir tecnologías basadas en rasgos intrínsecos de un usuario permitirá no solo la reducción de estos delitos, sino la creación de nuevas líneas de investigación enfocadas en la aplicación de los diferentes patrones corporales a métodos de reconocimiento existentes.

Para entender el trasfondo de esta investigación, es necesario considerar el por qué del incremento exponencial del uso de sistemas biométricos en la cotidianidad tal como lo expone el grupo ATENEA (Grupo ATENEA, 2011) en un informe realizado sobre defensa y seguridad donde se destacan como conclusiones:

- El uso de sistemas biométricos permite tener un nivel de seguridad superior respecto a otros sistemas.
- Este tipo de sistemas se pueden implementar con facilidad y actualmente se encuentra en continua investigación.
- El uso, cada vez mayor, de estos sistemas incrementa la demanda por parte de instituciones dedicadas a la seguridad.

Las características vitales de tipo físico de un usuario, presentan ciertas características que garantizan la singularidad del dato para, de este modo, lograr una identificación exacta y exclusiva; para obtener este resultado, con la más baja tasa de error, el sistema biométrico debe cumplir con ciertos factores que describen Sanz (Sanz, 2009) y Suárez (Suárez, 2011) en sus investigaciones así:

- Universalidad.
- Unicidad.
- Estabilidad.
- Rendimiento.
- Mensurabilidad .
- Elusión.

## Fundamentos aplicables a sistemas biométricos

Tomando como referencia el trabajo realizado por Aguilar (Aguilar, Sánchez, Toscano, Nakano, y Pérez, 2008), las etapas claves para lograr un sistema biométrico óptimo son:

1. *Etapas de adquisición*: La adquisición cobra una vital importancia para el funcionamiento de cualquier sistema biométrico ya que, a partir de la captura de una imagen de cualquiera de los rasgos físicos indicados, se obtiene la información necesaria para el reconocimiento. Uno de los métodos más utilizados en el reconocimiento vascular es la exposición del órgano a luz infrarroja. Esto se debe, principalmente, a la diferencia de tonalidades que generan los tejidos y la sangre cuando entran en contacto con el infrarrojo cercano asemejando una imagen en escala de grises con alto contraste tal como se puede observar en la Fig. 1.



Figura 1. Prueba de captura realizada con el dispositivo biométrico implementado.

El punto de inflexión de esta fase es la longitud de onda de la luz generada tal como lo describe Marcotti (Marcotti, Hidalgo, y Mathé, 2012) en su método. Este factor cuantitativo define la profundidad que puede llegar a alcanzar

el haz de luz que entra en contacto con los tejidos del órgano (Fig. 2).

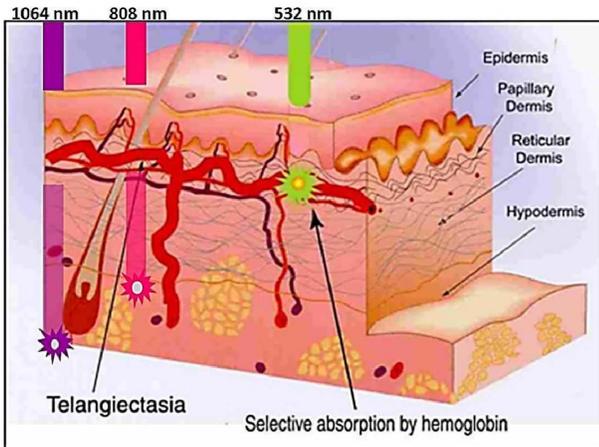


Figura 2. Profundidad de penetración en la piel a diferentes longitudes de onda (Kampelmacher, 2009).

En muchos casos es necesario utilizar un dispositivo de fijación para mantener una única posición durante la captura y así obtener la mejor imagen posible para aplicarle el algoritmo que se esté desarrollando. Algunas experimentaciones se han orientado a tomar las uniones que se forman entre los dedos como puntos de referencia para delimitar una región localizada dentro la cara dorsal, en la cual se concentra la mayor información del indicador biométrico.

**2. Etapa de pre-procesamiento:** Después de capturar la imagen es necesario realizar la extracción de puntos característicos o minucias (Aguilar et al., 2008). Existen una serie de alternativas para realizar este proceso como estudios morfológicos, análisis de multi-resolución y otros tantos que amplían el espectro de soluciones frente a esta consideración puntual.

Normalmente, el patrón de las venas es capturado en escala de grises, sujeto a *efectos de ruido*. La reducción del ruido y el ajuste del contraste son fundamentales para garantizar la calidad y eficiencia de los procesos asociados a la extracción de características (Scheuermann, Schwiderski, y Struif, 2000). Esto se consigue por medio de tres operaciones: *Binarización*, capaz de transformar el patrón de escala de grises en una imagen en blanco y negro; *esqueletización*, capaz de reducir el ancho de las líneas a un píxel y *aislado*, capaz de eliminar los puntos alejados no deseados (Fig. 3). Para finalizar, se implementa un algoritmo automático de aclaración capaz de manipular la imagen, utilizando filtros en diferentes dominios, tal que se obtenga el mapa vascular de la zona estudiada que será almacenado como el patrón que identifica a un usuario particular.

**3. Etapa de reconocimiento y verificación:** En esta última etapa se busca obtener un indicador de autenticidad para

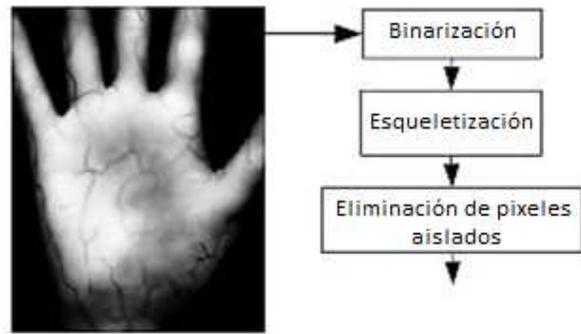


Figura 3. Secuencia de operaciones para reducción de ruido y ajuste de contraste (Malki y Spaanburn, 2010).

el reconocimiento automático de personas. Con el objeto de realizar un análisis comparativo del desempeño y aplicabilidad de técnicas basadas en modelos conexionistas y en la teoría de decisión, se realiza la implementación de esta última etapa utilizando redes neuronales artificiales y correlación de los descriptores del patrón.

Como método de verificación se puede implementar la correlación, definida como un método de reconocimiento basado en la teoría de decisión que no requiere una etapa previa de entrenamiento. El proceso de clasificación se basa en el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson entre el vector de características del patrón de una imagen de entrada aleatoria con los de la totalidad de imágenes de registro almacenadas en la base de datos (Motato y Loaiza, 2009).

### Estudio y diseño de sistema de captura de imágenes

Para lograr cumplir con los estándares de calidad asociados al tratamiento de imágenes, fue necesario experimentar exhaustivamente los posibles métodos de iluminación y su funcionamiento en diferentes estructuras con variantes de dimensión y material. A continuación, se describe de manera breve cada prueba y los resultados obtenidos.

### Prototipo A

Las consultas realizadas en un principio generaban una necesidad por ampliar el campo de acción de los emisores IR antes o durante el contacto con la extremidad estudiada. Por esto, se utilizó una caja metálica y se dispusieron 24 LEDs IR en la parte superior tal que, impactasen directamente y las pérdidas de iluminación disminuyeran.

En la Fig. 4 se puede observar los resultados de la implementación de este prototipo y la calidad de imagen que genera.

A primera vista, sobresale la intención de generar o definir el área de interés pero no se llega al objetivo debido a

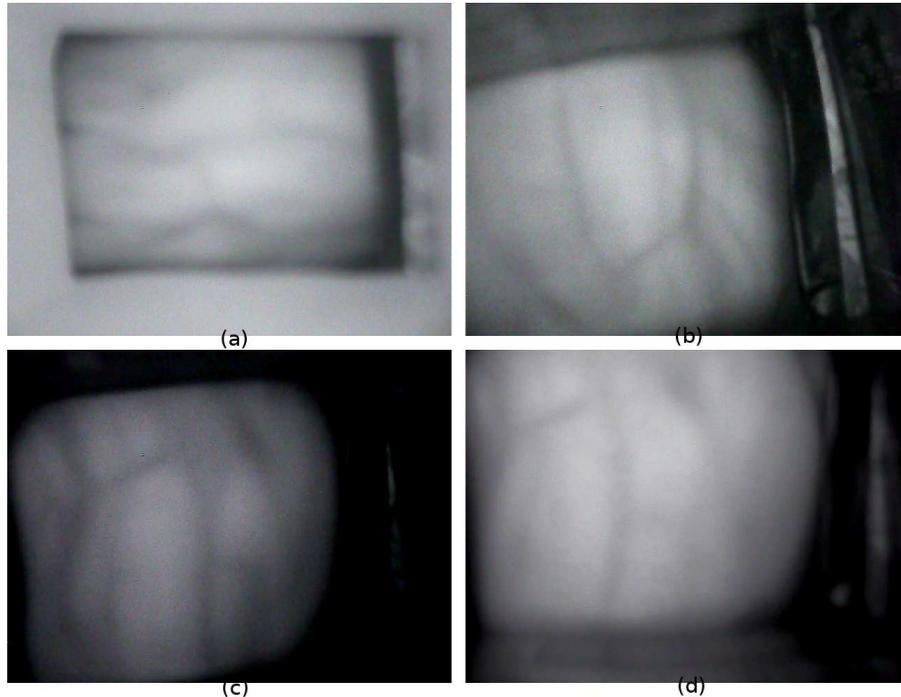


Figura 4. Prototipo A. (a) Prueba 1. (b) Prueba 2. (c) Prueba 3. (d) Prueba 4.

la inexistencia de una barrera que limite, en su totalidad, el movimiento de la mano. Se observa un sistema de iluminación muy pobre y dependiente de la posición de la extremidad y, finalmente, se concluye que el prototipo no garantiza la captura de un dato completo y confiable para la aplicación deseada.

### Prototipo B

Gracias a las conclusiones del primer prototipo, se define un segundo dispositivo con una iluminación mayor (40 LEDs), un modelo que delimitase el área de la captura y, basados en los resultados de la investigación de (Motato y Loaiza, 2009), un sistema abierto con un ángulo de incidencia de la matriz de LEDs respecto a la extremidad de 90 grados.

En la Fig. 5 se puede observar los resultados de la implementación de este prototipo y la calidad de imagen que genera.

En estas pruebas, el sistema de iluminación mejoró considerablemente pero presenta regiones de alto brillo que podrían llegar a eliminar los rasgos característicos después de pasar la etapa de pre-procesamiento. El molde que se utilizó (semiesfera con forma de mano) es óptimo y, como valor agregado, se detectó que en la posición cóncava se exhiben con más intensidad las venas mejorando la imagen y facilitando la extracción de los rasgos. Después de este análisis, se decide crear un tercer modelo que comprenda las

virtudes de los dos prototipos y que solucione los detalles observados en esta segunda estructura.

### Prototipo C

En este último modelo se trabajó enfáticamente en el sistema de iluminación y su optimización para facilitar el tratamiento computacional. De este modo, se determinó utilizar 80 LEDs IR (una matriz en la parte superior y otra en la parte inferior de la extremidad) limados en sus puntas para obtener un espectro difuso con menor brillo, sin perder sus características de profundidad (longitud de onda). El molde se mantuvo gracias a su aporte a la imagen capturada y, con esta combinación, los resultados que se obtuvieron se reflejan en la Fig. 6.

Finalmente, se consideró innecesario mejorar la captura de este tercer dispositivo puesto que el tratamiento de la imagen permitía cierto factor de ruido siempre y cuando los patrones fuesen perceptibles y estables.

### Sistema de fijación o de limitación del área de captura

Dentro de las pruebas realizadas con los tres prototipos, se observó la necesidad de delimitar el movimiento del órgano tal que, se redujese la tasa de error presente entre dos o más capturas de un mismo usuario. Por esto mismo, se hizo necesaria la aplicación de un equipo de fijación en forma de semiesfera, con una horma que se asemeje a una mano, capaz de mitigar esa condición errática y facilitar la extracción de la ROI (Región de Interés).

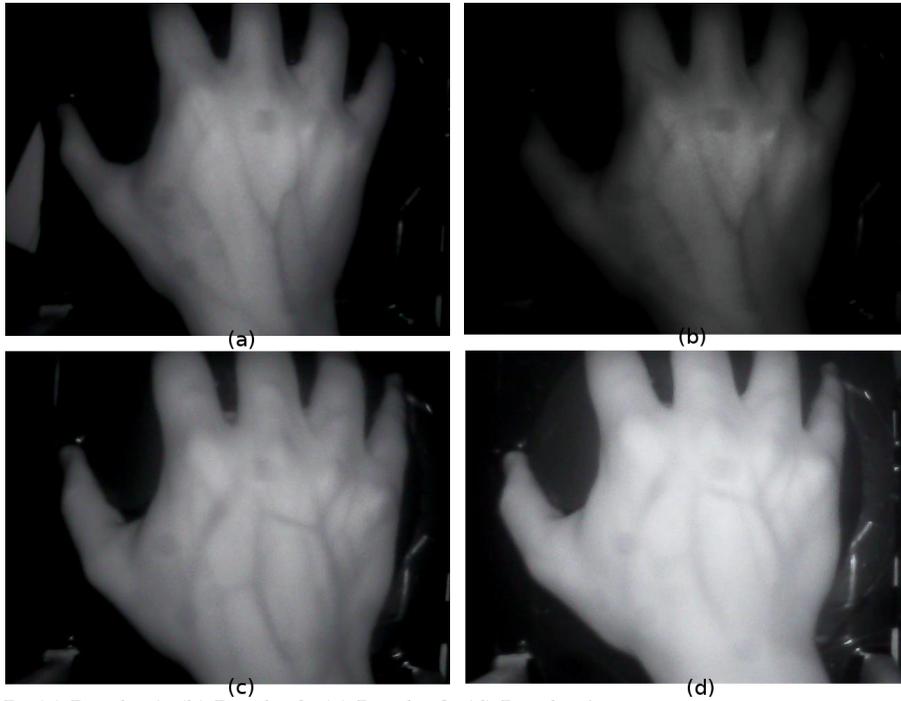


Figura 5. Prototipo B. (a) Prueba 1. (b) Prueba 2. (c) Prueba 3. (d) Prueba 4.

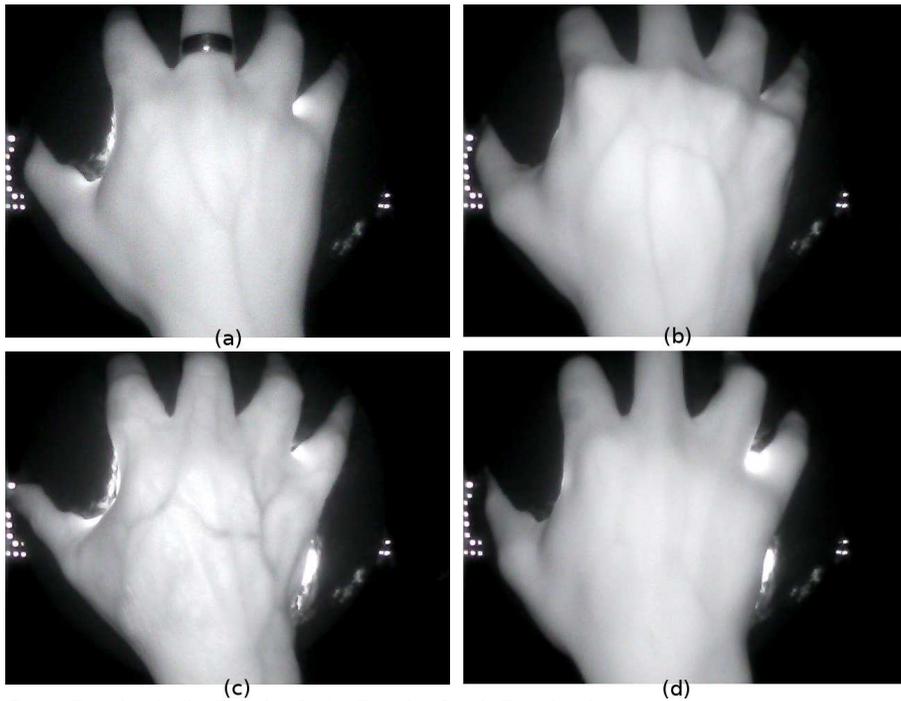


Figura 6. Prototipo C. (a) Prueba 1. (b) Prueba 2. (c) Prueba 3. (d) Prueba 4.

### Desarrollo del algoritmo de pre-procesamiento de imágenes

Después de considerar una serie de teorías descritas ampliamente por (Hartung, Martin, y Busch, 2011;

Marcotti et al., 2012; Motato y Loaiza, 2009; Suárez, 2011; Suri, Liu, Reden, y Laxminarayan, 2002) se concluyó que no existe un método pre-establecido capaz de procesar todas las imágenes sin presentar variaciones o fallas que

son considerables al momento de implementar dispositivos biométricos o biomédicos.

Por esto mismo, se utilizaron funciones matemáticas y operaciones morfológicas particulares capaces de extraer en su totalidad los patrones característicos en las imágenes obtenidas, exclusivamente, con el dispositivo de captura de imágenes seleccionado en la primera fase del proyecto. A continuación se describe la teoría matemática que sustenta el proyecto y los resultados parciales de cada etapa que modifica la imagen hasta su objetivo final.

### Extracción de la ROI

La teoría que describe el análisis y hallazgo de la región de interés no tiene un direccionamiento exclusivo y, al igual que todo tipo de manipulación orientada a imágenes, depende de las necesidades y datos en particular que el diseñador desee obtener.

Debido a estas situaciones, se decidió implementar un sistema de fijación capaz de limitar en un alto porcentaje el movimiento de la mano y así capturar la misma región en todos los usuarios, tal como se puede observar en la Fig. 8. Esta aplicación permite predefinir una ROI, descrita gráficamente en la Fig. 7, y aplicar comandos más simples para su extracción y pre-procesamiento posterior.

### Realce de contraste

El trabajo de mejoramiento de la imagen solo se había realizado variando las condiciones del hardware, pero el resultado no era aceptable en el 100 % de los casos. A partir de estas consideraciones, se hizo necesaria la aplicación de una instrucción capaz de equalizar el histograma de la imagen a partir de las condiciones de contraste-limitado. Este procedimiento consiste en una transformación no lineal que considera la distribución acumulativa de la imagen original, para generar una resultante cuya representación gráfica será aproximadamente uniforme (Martín, 2012). En la Fig. 9 se evidencian los cambios en los histogramas de dos imágenes, y en las Figs. 10 se observa el resultado del realce en seis usuarios.

### Función Gaussiana

Para lograr la extracción de líneas del dorso de la mano, se emplea la función Gaussiana en una dimensión (1-D), su primera derivada y su segunda derivada a partir de puntos definidos para cada expresión.

Partiendo de la función Gaussiana en 1-D, se crean dos máscaras, (Ecu. 1) y (Ecu. 2), que permitan modificar la imagen original en una dirección predefinida conocidas como detectores de línea en la dirección  $\theta$ .

$$H_1^\theta = G_{\sigma s} * (G'_{\sigma d})^T \quad (1)$$

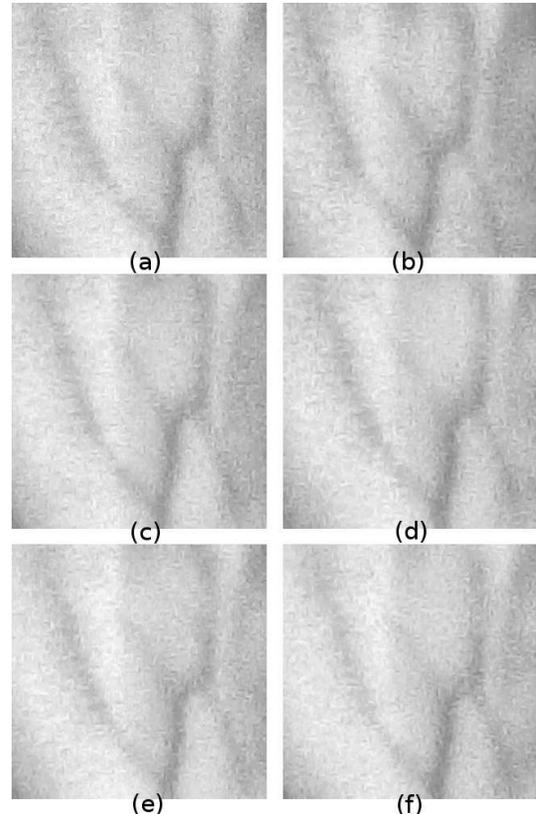


Figura 8. ROI de usuario de prueba. (a) Captura 1. (b) Captura 2. (c) Captura 3. (d) Captura 4. (e) Captura 5. (f) Captura 6.



Figura 10. Realce de contraste. (a) Usuario 1. (b) Usuario 2. (c) Usuario 3. (d) Usuario 4. (e) Usuario 5. (f) Usuario 6.

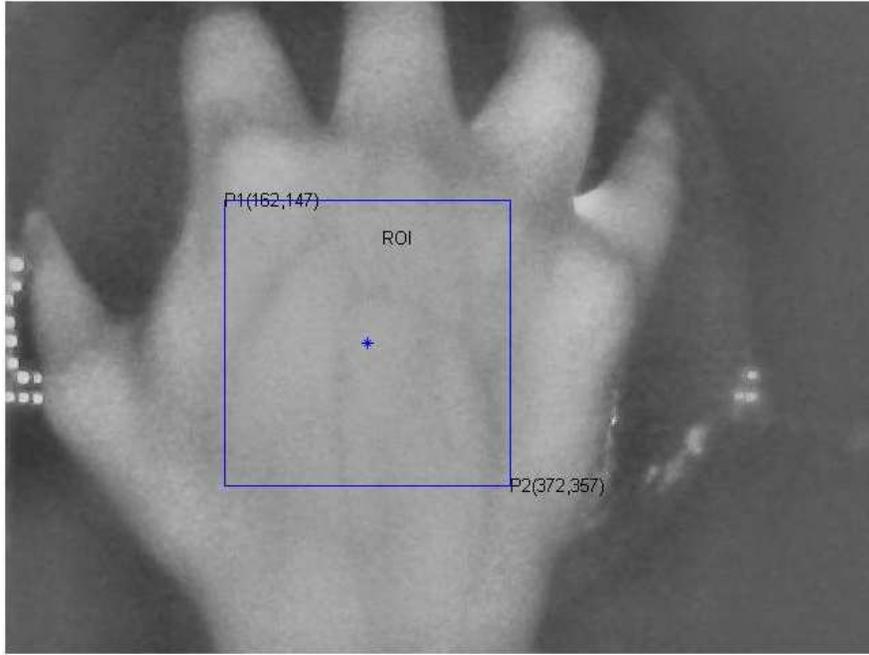


Figura 7. Extracción de región de interés a partir del centro de masa de la cara dorsal de la mano.

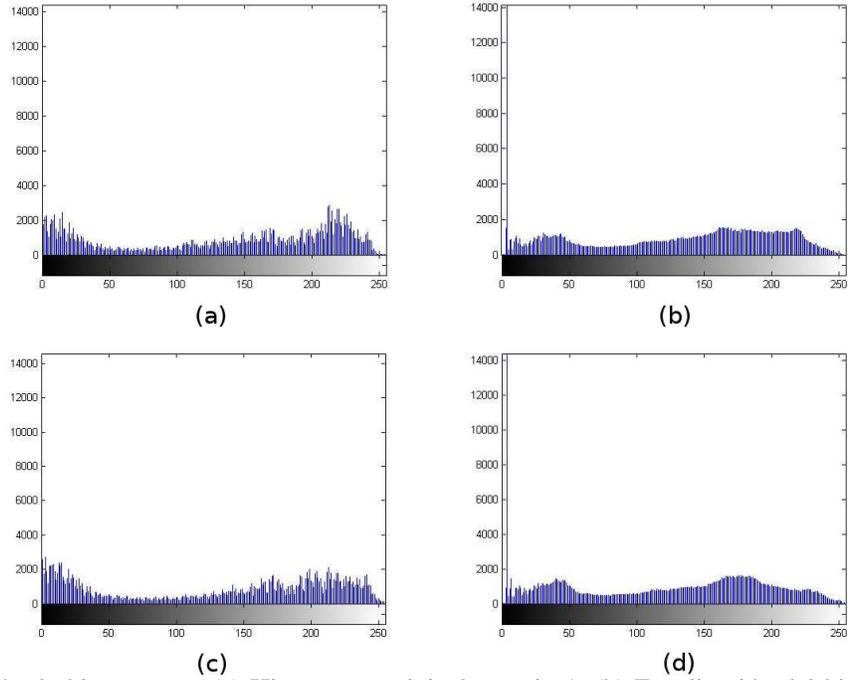


Figura 9. Ecuación de histogramas. (a) Histograma original usuario 1. (b) Ecuación del histograma usuario 1. (c) Histograma original usuario 2. (d) Ecuación del histograma usuario 2.

$$H_2^\theta = G_{\sigma_s} * (G''_{\sigma_d})^T \quad (2)$$

Donde  $G_{\sigma_s}$  es la función Gaussiana en 1-D con varianza  $\sigma_s$ ,  $G'_{\sigma_d}$  es la primera derivada de la gaussiana,  $G''_{\sigma_d}$  es

la segunda derivada de la Gaussiana,  $T$  es la operación transposición y  $*$  es la operación convolución.

Para acentuar la diferencia entre las venas y los tejidos se calculan la primera y segunda derivada ( $I'$  y  $I''$ ) definidas

como la convolución entre la imagen, enunciada para este análisis como  $I(x,y)$ , y las máscaras de la primera y la segunda derivada de la función gaussiana en tres direcciones que se obtienen al rotar las componentes un ángulo  $\theta$ . En este caso particular, se decidió realizar la extracción en 45 grados, 90 grados y 135 grados, ya que aportan información adicional y única para la reconstrucción de las líneas (Ecu. 3 y 4, y Figs. 11 y 12).

$$I' = I * H_1^\theta \quad (3)$$

$$I'' = I * H_2^\theta \quad (4)$$

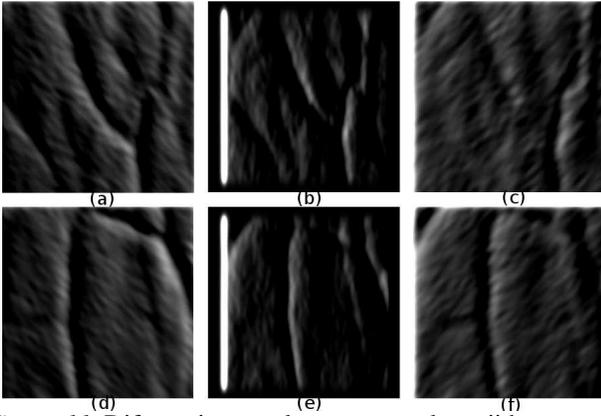


Figura 11. Diferencia entre las venas y a los tejidos a partir de la primera derivada en la dirección  $\theta$ . (a) Usuario 1  $\theta = 45$  grados. (b) Usuario 1  $\theta = 90$  grados. (c) Usuario 1  $\theta = 135$  grados. (d) Usuario 2  $\theta = 45$  grados. (e) Usuario 2  $\theta = 90$  grados. (f) Usuario 2  $\theta = 135$  grados.

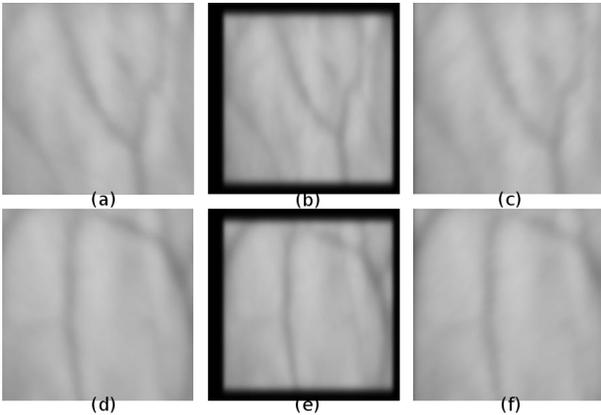


Figura 12. Diferencia entre las venas y a los tejidos a partir de la segunda derivada en la dirección  $\theta$ . (a) Usuario 1  $\theta = 45$  grados. (b) Usuario 1  $\theta = 90$  grados. (c) Usuario 1  $\theta = 135$  grados. (d) Usuario 2  $\theta = 45$  grados. (e) Usuario 2  $\theta = 90$  grados. (f) Usuario 2  $\theta = 135$  grados.

Para encontrar las líneas, en una dirección  $\theta$ , del dorso de la mano, se buscan los puntos de cruce por cero de  $I'$  en la

dirección  $\theta + 90$  y se asocian a su respectivo par ordenado en  $I''$ . Esta pareja se adhiere a una nueva matriz, y los píxeles que no cumplan esta condición se llevan a cero para obtener una que diferencie los tejidos del mapa circulatorio que se está estudiando. Matemáticamente, esta fase se describe en Ecu. 5.

$$L_\theta^1(x,y) = \begin{cases} I''(x,y), & I'(x,y) = 0 \\ 0, & I'(x,y) \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Se procede a buscar los valles de la imagen (venas de la mano) verificando el signo de  $L_\theta^1$ . Si el valor es mayor a cero, se asume que hay un dato que forma parte del patrón y no se altera, pero si se presenta un valor distinto, se asocia al tejido y se descarta tal como se observa en Ecu. 6.

$$L_\theta^2(x,y) = \begin{cases} L_\theta^1(x,y), & L_\theta^1(x,y) > 0 \\ 0, & L_\theta^1(x,y) \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

Finalmente, se realiza una superposición de imágenes con una operación OR (Ecu. 7) que permita observar los efectos de las ecuaciones en cada dirección predefinida.

$$L(i,j) = OR L_\theta(i,j) \quad (7)$$

### Binarización

Esta función permite, a partir de un parámetro pre-establecido, aproximar los valores de cada píxel de una imagen a su valor binario más próximo, y generar una resultante en dos tonalidades. Para el análisis vascular, los tejidos se representará por el nivel bajo o negro (0 lógico) y las venas estarán caracterizadas por el nivel blanco o alto (1 lógico) tal como se puede observar en la Fig. 13.

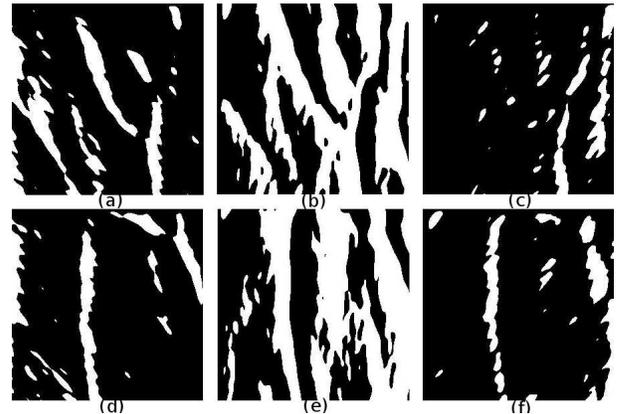


Figura 13. Binarización de matrices resultantes de la extracción de líneas en la dirección  $\theta$ . (a) Usuario 1  $\theta = 45$  grados. (b) Usuario 1  $\theta = 90$  grados. (c) Usuario 1  $\theta = 135$  grados. (d) Usuario 2  $\theta = 45$  grados. (e) Usuario 2  $\theta = 90$  grados. (f) Usuario 2  $\theta = 135$  grados.

## Operaciones morfológicas

Para llevar las resultantes de cada etapa, descrita previamente, al patrón característico del usuario, se implementaron tres (3) operaciones morfológicas capaces de eliminar todo tipo de información inútil o despreciable, y entregar la imagen apta para aplicación en dispositivos biométricos de acceso. En la Fig. 14 se presentan los efectos de cada operación sobre las matrices obtenidas en la función anterior.

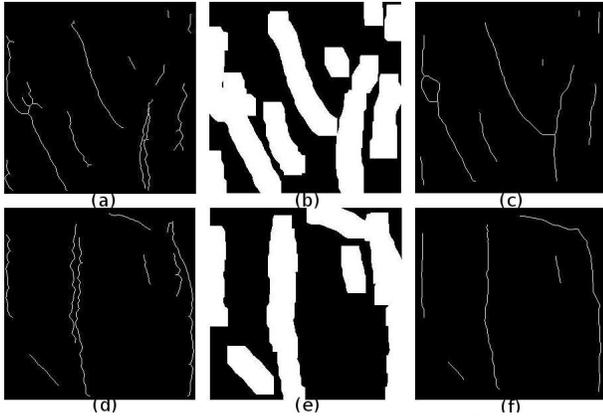


Figura 14. Aplicación de operaciones morfológicas para mejoramiento de la matriz resultante (a) Encogimiento usuario 1. (b) Dilatación usuario 1. (c) Adelgazamiento usuario 1. (d) Encogimiento usuario 2. (e) Dilatación usuario 2. (f) Adelgazamiento usuario 2.

A continuación, por medio de un diagrama de bloques (Fig. 15), se sintetiza la etapa de pre-procesamiento de la imagen.

## Resultados

Después de aplicar cada etapa del pre-procesamiento de imágenes planteado, se lograron extraer los patrones característicos asociados a un grupo de usuarios que participaron de las pruebas visualizadas en la descripción previa de cada fase del sistema implementado. En la Fig. 16 se observan las resultantes para ciertos usuarios después de ejecutar el proceso descrito en la Fig. 15 (diagrama de bloques).

## Conclusiones

A pesar de las garantías que brinda el sistema de biometría vascular, producto de su invariancia en el patrón característico ante enfermedades vasculares, paso del tiempo o cualquier acción asociada al sistema circulatorio. Se observó que ciertas condiciones genéticas, como el adelgazamiento de las venas del usuario, pueden llegar a limitar el correcto funcionamiento de la etapa de captura

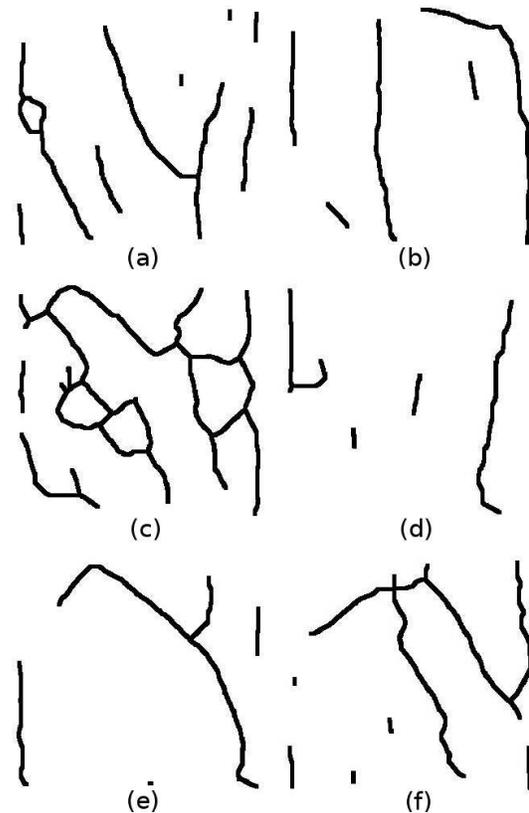


Figura 16. Patrones resultantes del pre-procesamiento de imágenes. (a) Usuario 1. (b) Usuario 2. (c) Usuario 3. (d) Usuario 4. (e) Usuario 5. (f) Usuario 6.

y, por ende, no generar un dato de alta fiabilidad para su aplicación en dispositivos de control de acceso.

Durante el desarrollo del proyecto, se encontró un punto crítico capaz de optimizar o limitar la capacidad de adquisición de datos del mismo: el sistema de iluminación. Esta fase, se modificó en tres oportunidades logrando un mejoramiento de la imagen conforme se ampliaba el campo de acción generado. Para investigaciones futuras, se pretende extender el tiempo de estudio del tema para obtener una etapa de hardware inmejorable y sin falencias frente a situaciones aisladas que puedan generar desconfianza al usuario final.

A partir de las consultas y pruebas realizadas durante el proceso de formulación y ejecución del proyecto, fue posible comprender el amplio espectro de métodos existentes, capaces de ejecutar el pre-procesamiento de imágenes con los estándares de calidad más altos y errores, considerados en muchas ocasiones, nulos. En resumen; la necesidad que se genere al momento de lograr una primera captura, es la base de la propuesta programable que se presente y debe estudiarse de manera heurística para lograr datos certeros y limpios para las diferentes aplicaciones para las que, previamente, haya sido diseñada.

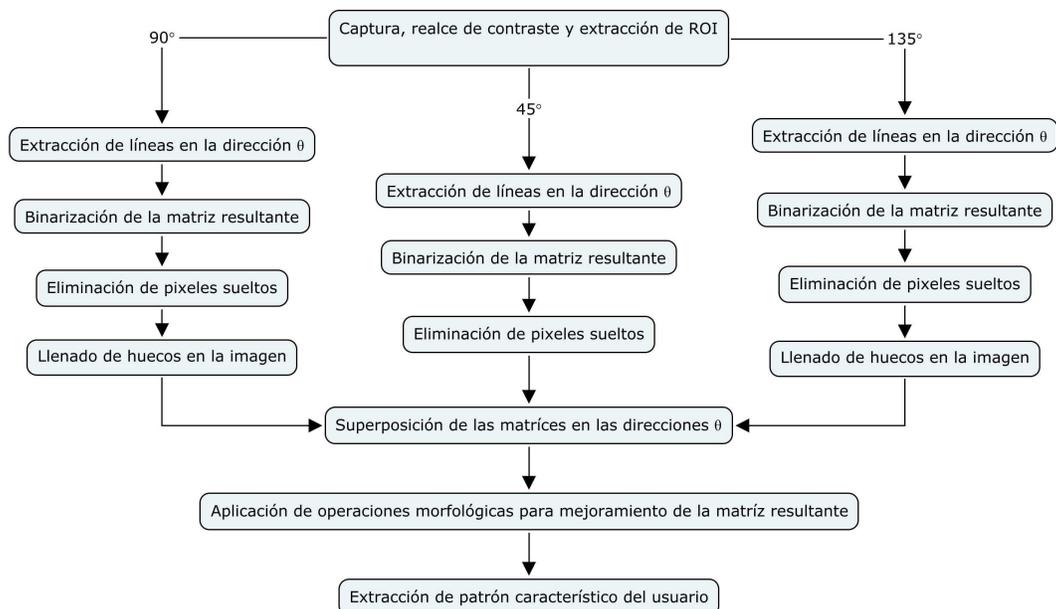


Figura 15. Descripción del proceso de extracción de patrones característicos.

### Agradecimientos

Agradecemos al grupo de investigación DIGITI y a los ingenieros Edwar Jacinto Gomez y Jorge Fandiño por su dedicación a esta investigación.

### Referencias

- Aguilar, G., Sánchez, G., Toscano, K., Nakano, M., y Pérez, H. (2008). Reconocimiento de huellas dactilares usando características locales. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(46), 101-109.
- FTC. (2003, September). *Ftc releases survey of identity theft in u.s. 27.3 million victims in past 5 years, billions in losses for businesses and consumers.* (Federal Trade Commission)
- Grupo ATENEA. (2011). *Biometría: Informe tecnológico y sectorial.* (Alta Eficacia Tecnológica)
- Hartung, D., Martin, S., y Busch, C. (2011). Quality estimation for vascular pattern recognition. En *International conference on hand-based biometrics (ichb 2011).*
- Kampelmacher, P. (2009). *Láser nd-yag de pulso largo de alta performance.* (Ep-Advance)
- Kroll. (2012). *Global fraud report. vulnerabilities on the rise.* (Annual Edition)
- Malki, S., y Spaanenburn, L. (2010). Cbas: A cnn-based biometrics authentication system. En *12th international workshop on cellular nanoscale networks and their applications (cnn 2010)* (p. 1-6).
- Marcotti, A., Hidalgo, B., y Mathé, L. (2012). *Método de detección de venas no invasivo utilizando luz infrarroja.* (Universidad Nacional de Córdoba)
- Martín, E. (2012). *Análisis de imágenes basado en correlación de imágenes.* (E.U.I.T. Telecomunicación (UPM))
- Motato, O., y Loaiza, H. (2009). Identificación biométrica utilizando imágenes infrarrojas de la red vascular de la cara dorsal de la mano. *Ingeniería e Investigación*, 29(1), 90-100.
- Sanz, G. (2009). *Desarrollo de un sistema de reconocimiento de huella dactilar para aplicaciones match-on-card.* (Universidad Autónoma de Madrid)
- Scheuermann, D., Schwiderski, S., y Struif, B. (2000, September). *Usability of biometrics in relation to electronic signatures.* (EU Study 502533 8)
- Suárez, J. (2011). *Mecanismos de captura y procesado de imágenes de venas para identificación personal.* (Universidad Carlos III de Madrid)
- Suri, J., Liu, K., Reden, L., y Laxminarayan, S. (2002). A review on mr vascular image processing: skeleton versus nonskeleton approaches: part ii. *IEEE Transactions Inf Technol Biomed*, 6(4), 338-350.

