

# METODO DE VERIFICACIÓN PERSONAL MEDIANTE COMPARACIONES CRUZADAS DE AMBAS MANOS

Antonio Adán,  
Escuela Superior de Informática. Universidad de Castilla La Mancha  
Paseo de la Universidad, 4, 13071 Ciudad Real. Spain. Antonio.Adan@uclm.es

Miguel Adán  
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. UCLM. Miguel.Adan@uclm.es

Roberto Torres  
Escuela Superior de Informática. UCLM. Roberto.Torres@uclm.es

Andrés S. Vázquez  
Escuela Superior de Informática. UCLM. AndresS.Vázquez@uclm.es

Gloria Bueno  
Escuela S. I. Industriales. UCLM. Gloria.Bueno@uclm.es

## Resumen

En este artículo se presenta un sistema biométrico con objetivos de verificación e identificación personal. El método está basado en tres ideas clave. En primer lugar, utilizar la disposición natural de abertura de las manos como una propiedad intrínseca del individuo. Consecuentemente, el usuario no es obligado a colocar la mano en una determinada postura y, por tanto, no es necesario realizar un entrenamiento previo. En segundo lugar, obtener funciones invariantes en la imagen sobre las que definir un conjunto de patrones que caractericen la mano. Esta estrategia supone alejarse de las técnicas basadas en la extracción de características a través de procesamiento de imagen. En tercer lugar, se pretende utilizar imágenes de manos derecha e izquierda para crear medidas de interrelación y aumentar la base de información del sistema. Esto supone una sustancial mejora en los parámetros *FAR* y *FRR* en procesos de verificación. Los primeros resultados obtenidos en tareas de verificación para un conjunto reducido de muestras hacen esperar que, en un futuro próximo, sea un sistema aplicable para un volumen alto de usuarios.

## Palabras Clave

Sistemas Biométricos, Geometría de Mano, Similitud de Formas, Procesamiento de Imagen.

## 1. INTRODUCCIÓN

La seguridad se ha convertido en un asunto de actualidad que es motivo de preocupación en ámbitos industriales, fábricas, transportes, servicios, etc. La identificación de un individuo es a menudo un requisito crucial en seguridad. Frente a contraseñas, tarjetas identificativas o llaves, la seguridad biométrica es una alternativa natural basada en propiedades inherente al individuo. Como es bien conocido, en la actualidad existen multitud de sistemas biométricos basados en el reconocimiento de caras, voz, iris, huellas dactilares, geometría de la mano, etc [1]. Cada uno de ellos posee ventajas e inconvenientes.

Los sistemas biométricos basados en las manos están teniendo un uso creciente en la seguridad de instalaciones como aeropuertos, plantas nucleares y estadios olímpicos. Son ideales para un uso masivo, ya que tienen una buena relación entre el tiempo de uso y el tiempo de análisis. Además, suelen presentar menos incomodidades en el usuario que otros sistemas alternativos como en reconocimiento de huellas dactilares o de la retina. Muchas de las características relacionadas con la mano son relativamente invariantes y peculiares, aunque no únicas, [1]. Esto hace que los sistemas biométricos basados en manos sean normalmente utilizados para tareas de verificación y no de identificación. En estos sistemas se utiliza solamente la imagen de una mano, generalmente la derecha, de la que se obtienen las características por diversos métodos basados en la

geometría de la mano, [2], [3], líneas de la palma, [4], y modelos deformables, [5]. La adquisición de las imágenes se realiza en entornos controlados, que constan de una plataforma formada por unos pivotes para fijar la posición de la mano o los dedos y un espejo para poder obtener el dorso de la mano [2], [6], [7]. Los principales inconvenientes de estos sistemas, algunos de ellos ya comercializados, son el mantenimiento que requieren debido al desgaste y suciedad de la plataforma y espejos, así como el aprendizaje al que debe estar sujeto el usuario. Existen otros sistemas basados en reconstrucciones 3D como los presentados en [8] que mejoran a los anteriores a expensas de ser un sistema sensorial más complejo y costoso.

En este trabajo se introduce un conjunto de descriptores basados en la abertura natural de las manos que supone un cambio del enfoque puramente geométrico adoptado en trabajos similares anteriores. Esta estrategia evita restricciones usualmente impuestas a los usuarios y simplifica el proceso de obtención de muestras. Por lo tanto, no es necesario delimitar la mano por medio de pivotes ni obligar al usuario a adoptar una posición determinada. El único requisito exigible es que el usuario extienda su mano de modo natural antes de tomar una muestra. Esto implica que el prototipo desarrollado sea flexible, fácil de mantener y fácil de utilizar.

El artículo ha sido estructurado de la siguiente manera. La extracción de características basadas en la geometría de la mano y en su posición natural son descritas en la sección 2. La Sección 3 define una medida de similitud utilizando comparaciones directas y cruzadas entre manos izquierdas y derechas. En la Sección 4 se muestra la experimentación de verificación realizada mediante un test inicial de similitud entre manos y finalmente la sección 5 muestra las conclusiones y trabajo futuro en esta investigación.

## 2. UN SISTEMA DE REFERENCIA NATURAL

### 2.1 DEFINICION.

Las características biométricas en manos humanas se refieren usualmente a medidas geométricas tales como: longitud, anchura, grosor de la mano y dedos. El número de características obtenidas varía en los distintos trabajos. Por ejemplo en [9] se obtienen 17 medidas de la mano referentes a la longitud de los dedos, anchuras y alturas. Estas medidas son relativas a puntos predeterminados en la imagen mediante un conjunto de pivotes. En [7] se extraen 16 medidas de forma similar mediante unos ejes prefijados en la imagen. Así se analizan los puntos de intersección de

los dedos y mano con esos ejes para obtener las características de longitud y anchura. En [2] se han añadido otras medidas, como por ejemplo la desviación de los dedos, y se utiliza un sistema con 30 características.

En todos estos trabajos se requiere un posicionamiento específico de la mano para obtener características invariantes. En este sentido, se puede decir que la posición de la mano está referida a un sistema de referencia universal (o sistema de referencia de imagen). La Figura 1 muestra un esquema de estos sistemas y los errores de variación a los que están expuestos. Sin embargo, los descriptores introducidos en nuestro sistema son independientes de la posición de la mano sobre la plataforma ya que están definidos sobre un sistema de referencia propio.

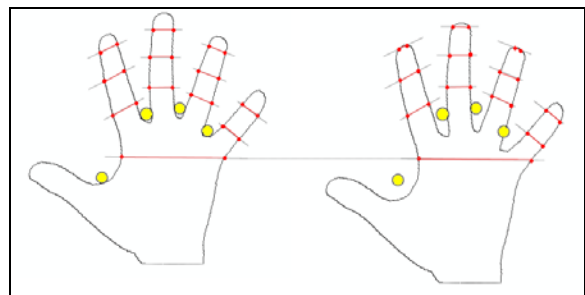


Fig.1. Ejemplo de colocación correcta (izda) e incorrecta (dcha) de manos guiados por los pivotes.

Sea  $\{O, X, Y\}$  el sistema de coordenadas de imagen con origen  $O$  en el centro en la imagen. Supongamos una imagen que contiene un objeto mano  $D$ . Etiquetemos los dedos de una mano con números 1 (meñique), 2 (anular), 3 (medio), 4 (índice) y 5 (pulgár). Se define el Sistema de Coordenadas Natural de  $D$  a través de la siguiente secuencia de pasos.

1. Determinar la recta  $r = r(\rho, \theta)$  ajustada al esqueleto del dedo 3.
2. Considerar el sistema de coordenadas  $\{O', X', Y'\}$  con  $O' = O$ ,  $Y'$  paralela a  $r$  por  $O'$  y  $X'$  perpendicular a  $Y'$  por  $O'$ .
3. Localizar en  $\{O', X', Y'\}$  el punto  $P$  del dedo 5,  $P = (x_0, y_0)$ , siendo  $x_0 = \text{Min}\{x' : (x', y') \in D\}$ .
4. Trasladar  $\{O', X', Y'\}$  al punto  $O'' = (0, y_0)$  obteniendo el definitivo sistema de coordenadas  $\{O'', X'', Y''\}$ .

La figura 2 muestra un ejemplo del establecimiento del Sistema de Coordenadas Natural.

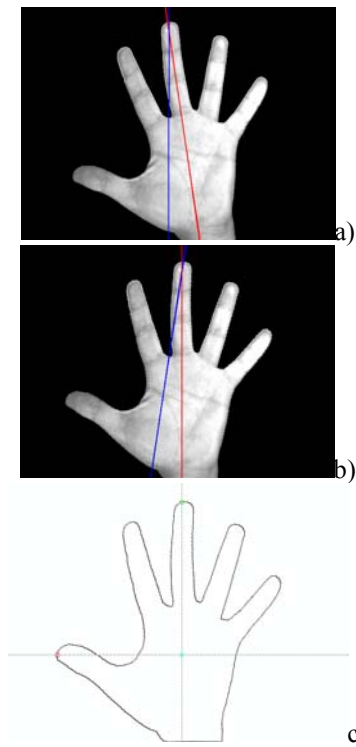


Fig. 2. (a) Imagen en  $\{O, X, Y\}$ ; (b) Imagen en  $\{O', X', Y'\}$ ; (c) Situación respecto del sistema de referencia  $\{O'', X'', Y''\}$ .

Como se ha dicho antes, el uso de una disposición natural de la mano tiene dos objetivos: evitar los problemas derivados del aprendizaje en la colocación de la mano y proporcionar nuevas invariantes personales. Teóricamente, la disposición de los dedos de una mano completamente extendida es difícilmente variable y es, además, propia de cada individuo. Como ejemplo, la figura 3 a) ilustra la disposición natural en tres muestras tomadas para un usuario donde la disposición cercana de los dedos 3 (anular) y 4 (índice) se mantiene. Por otra parte, la posición natural de los dedos permite definir sistemas de referencia distintos para manos aparentemente semejantes. La figura 3 b) muestra dos manos de parámetros geométricos muy parecidos pero donde los sistemas de coordenadas propios son dispares (se marca el origen para cada mano). Cuando se superponen ambas imágenes referenciadas a sendos Sistemas de Coordenadas Naturales, la disparidad de las manos es evidente. La figura 3 c) muestra el aumento de disparidad entre ambas.

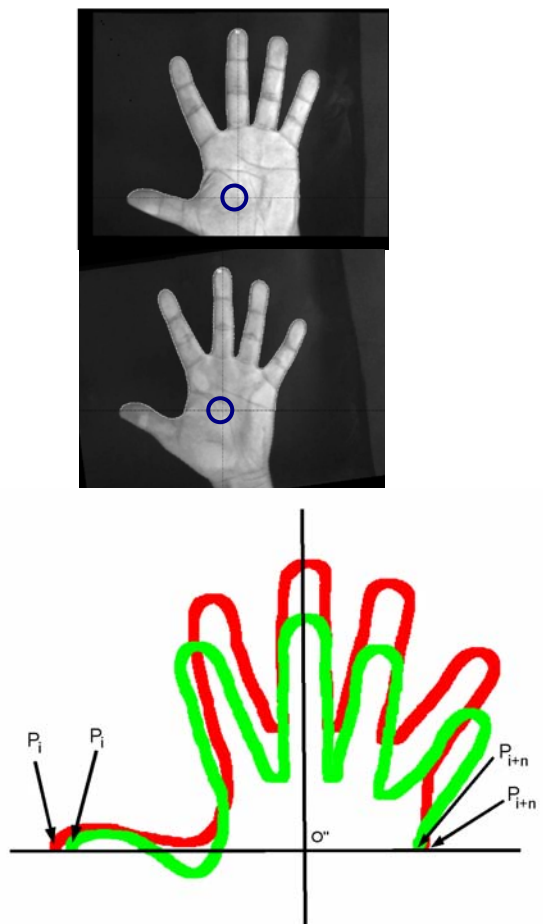
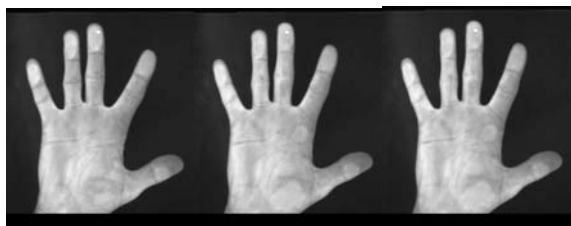


Fig 3. a) Invarianza en la disposición de los dedos para tres muestras de la misma mano. b) Sistema de coordenadas natural para dos manos con parámetros geométricos parecidos y c) superposición de contornos con un sistema de origen común

## 2.2 DUALIDAD DE MANOS DERECHA E IZQUIERDA.

Los sistemas de verificación usuales utilizan parámetros geométricos de una sola mano. Evidentemente, si consideramos ambas manos, tendremos más datos del mismo individuo y tenemos la posibilidad de duplicar el sistema de verificación. Es decir, podemos verificar que alguna mano D/I o ambas manos pertenecen a un individuo concreto. Con ello, obviamente, aumentaríamos la fiabilidad en la tarea de verificación.

Pero nuestra estrategia al utilizar ambas manos va más lejos. Una de las características más notorias del cuerpo humano es su simetría axial, que en este caso se interpreta como que las manos derecha e izquierda de un individuo tienen un alto grado de similitud. Esta propiedad, que hemos constatado experimentalmente, puede ser utilizada en diversas tareas de reconocimiento y verificación personal. En

nuestro caso, convertimos, por simetría, las manos izquierdas de una persona en manos derechas, de manera que la comparación entre ambos modelos sea posible (aunque seguiremos denominándolas derechas e izquierdas). Es decir, una muestra tomada a un individuo - que consiste en las dos imágenes de ambas manos - se convertirá en dos imágenes de dos manos “derechas”. Con esta estrategia se logra que las comparaciones no se hagan únicamente entre manos derechas o izquierdas sino también se realicen comparaciones cruzadas entre manos derechas con manos izquierdas y viceversa. Por otra parte, las ventajas clásicas de los sistemas de verificación a través de la geometría de la mano, tales como son la rapidez, la facilidad de uso, la economía de medios, etc, no se ven afectadas en nuestra estrategia.

### 2.3. REPRESENTACIÓN POLAR DE LA SILUETA REDUCIDA. DEFINICIÓN DE PATRONES.

Un objetivo básico de todo sistema de verificación es que sea robusto. Para evitar errores derivados de objetos que cubren parte de la mano como relojes, ropa, pulseras, etc, solamente se considera la información proveniente de una parte del borde de la mano. Por lo tanto, el usuario no debe desprenderse de ninguna prenda, lo que supone una evidente ventaja frente a sistemas precedentes.

Sea  $I = \{P_{i+1}, P_{i+2}, \dots, P_{i+n}\}$  una secuencia de píxeles del borde de la mano  $D$  referidos al Sistema de Coordenadas Natural, con:

$$\begin{aligned} P_i &= (x_i, 0), P_{i+n} = (x_{i+n}, 0) \\ x_i &= \text{Min}\{x : (x, y) \in D\} \\ x_{i+n} &= \text{Max}\{x : (x, y) \in D, y = 0\} \end{aligned}$$

La secuencia  $I$  recorre totalmente los dedos 2, 3 y 4 y parcialmente los dedos 1 y 5 (ver figura 3 c)). Notar que se utiliza una información que está claramente delimitada y es invariante ante transformaciones afines.

La representación polar del borde normalizado  $I_N$  de  $I$  (en nuestro caso  $n=1000$  píxeles) proporciona las funciones de módulos  $f$  y argumentos  $g$ . A partir de ellas, se definen un conjunto de características que no tienen ningún significado extrapolado en la imagen, aunque algunas de ellas pueden corresponder aproximadamente a medidas geométricas clásicas (longitud o anchura de dedos) extraídas sobre la propia imagen. La figura 4 muestra las funciones  $f$  y  $g$  para un ejemplo dado. Notar que para obtener  $f$  y  $g$  únicamente necesitamos obtener el borde de la mano mediante elementales procesos de binarización y extracción de contorno sobre la imagen.

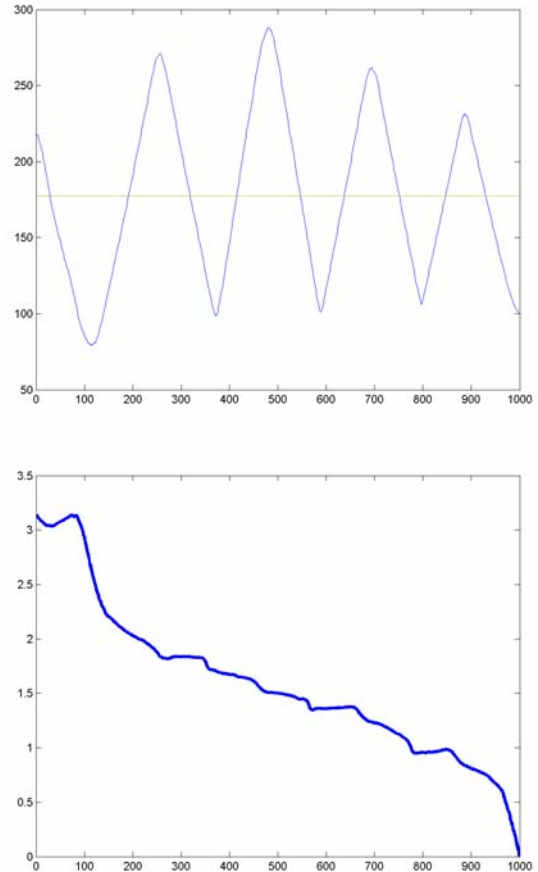


Fig 4. Función de módulos y argumentos

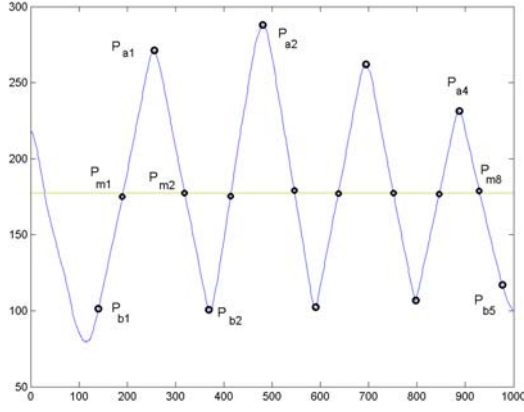
Ambas funciones  $f$  y  $g$  nos permiten definir sobre la imagen un conjunto representativo de puntos. La representación de estos puntos sobre la propia gráfica de  $f$  y sobre la imagen  $D$  se muestra en la figura 5.

Los puntos característicos son:

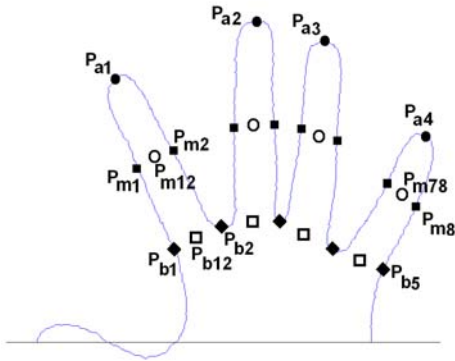
- *Puntos Máximos relativos*:  $\{P_{a1}, P_{a2}, P_{a3}, P_{a4}\}$
- *Puntos Medios*:  $\{P_{m1}, P_{m2}, \dots, P_{m8}\}$ , definidos como aquellos que verifican

$$f(P_{m_k}) = \frac{\sum_{j=1}^n f(P_{i+j})}{n}, \quad j=1, 2, \dots, 8$$

- *Puntos Mínimos relativos*:  $\{P_{b1}, P_{b2}, \dots, P_{b5}\}$ , donde  $P_{b1}$  y  $P_{b5}$  son los puntos que cumplen:  
 $\overline{P_{b1}P_{m1}} = \overline{P_{b2}P_{m2}}, \quad \overline{P_{b5}P_{m8}} = \overline{P_{b4}P_{m7}}$
- *Puntos Entre-Medios*:  $\{P_{m12}, P_{m34}, P_{m56}, P_{m78}\}$
- *Puntos Entre-Mínimos*:  $\{P_{b12}, P_{b23}, P_{b34}, P_{b45}\}$



a)



b)

Fig. 5. (a) Situación de puntos característicos sobre  $f$  y (b) sobre el borde normalizado  $I_N$

A partir de estos 25 puntos característicos se obtienen los siguientes patrones:

- Vector de longitudes:

$$\vec{v}_1 = \{l_j : l_j = \overline{P_{aj}P_{b,(j+1)}}, j = 1,2,3,4\}$$

- Vector de anchuras

$$\vec{v}_2 = \{a_j : a_j = \overline{P_{m(2j-1)}P_{m(2j)}}, j = 1,2,3,4\}$$

- Vector de aperturas:

$$\vec{v}_3 = \{q_j : q_j = g(P_{aj}) - g(P_{a,(j+1)}), j = 1,2,3\}$$

- Vector de curvaturas:

$$\vec{v}_4 = \{c_j : c_j = \angle(P_{aj}, P_{m(2j-1)(2j)}, P_{b,(j+1)}), j = 1,2,3,4\}$$

- Matriz de coordenadas de puntos característicos:  $m$

$$m = (m_{ij}), i = 1..25, j = 1,2$$

- Área del triángulo máximo

$$s = \Delta(Pa_2, Pb_1, Pb_5)$$

La figura 6 muestra una representación de estos patrones sobre una mano. Es necesario remarcar que para la obtención de los puntos característicos, y por tanto para los patrones definidos, no se lleva a cabo ningún proceso de imagen. Consecuentemente, el costo computacional es mínimo comparado con las técnicas que extraen características a través de procesos de segmentación sobre la imagen.

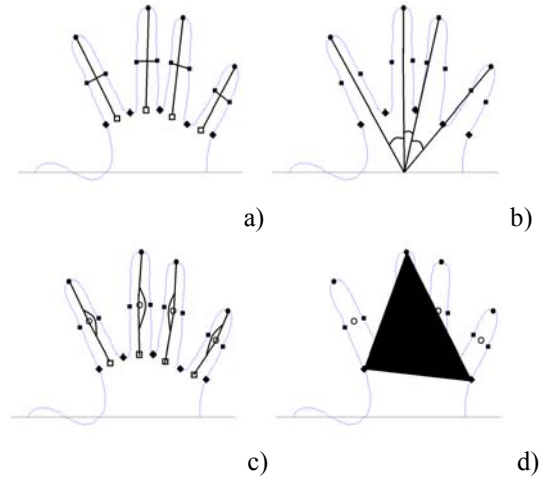


Fig.6. Representación de los patrones. a)  $v_1$  y  $v_2$ , b)  $v_3$ , c)  $v_4$ , d)  $s$

### 3. MEDIDA DE SIMILITUD Y VERIFICACIÓN.

La definición de la medida de similitud está basada en un conjunto de distancias entre manos derechas ( $D$ ), entre manos izquierdas ( $I$ ), pero también entre derechas e izquierdas. A partir del conjunto de patrones  $\{\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3, \vec{v}_4, m, s\}$  se definen 12 distancias.

Dadas dos manos cualesquiera  $M, M', M, M' \in \{D, I\}$ :

$$d_i(M, M') = |l_i(M) - l_i(M')|, i = 1,2,3,4.$$

$$d_{4+i}(M, M') = |a_i(M) - a_i(M')|, i = 1,2,3,4.$$

$$d_9(M, M') = |\vec{v}_3(M) - \vec{v}_3(M')|$$

$$d_{10}(M, M') = |\vec{v}_4(M) - \vec{v}_4(M')|$$

$$d_{11}(M, M') = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} \sqrt{(m_{i1}(M) - m_{i1}(M'))^2 + (m_{i2}(M) - m_{i2}(M'))^2}$$

$$d_{12}(M, M') = |s(M) - s(M')|$$

Habitualmente, en un proceso de verificación una nueva muestra de un individuo se contrasta con una plantilla o prototipo creada de antemano. En nuestro caso, dada la pequeña pero inevitable variabilidad en la colocación de la mano, hemos constatado experimentalmente que es más eficaz utilizar un reducido conjunto de muestras base para cada individuo que diseñar un prototipo a partir de dichas muestras. De esta manera, consideramos que una nueva muestra debe ser comparada con todas las muestras base almacenadas de dicho individuo. Si para alguna de ellas el resultado de la comparación es satisfactorio, se considera positivo el proceso de

verificación de dicho sujeto. Este enfoque hace necesaria, de una parte, una mayor capacidad de cálculo y de almacenamiento, pero en compensación se reduce el número de características consideradas y aumenta la sencillez del sistema de adquisición de datos.

Como es habitual consideraremos satisfactoria la comparación entre dos manos si una determinada medida sobrepasa un umbral predeterminado. Para la determinación empírica de dicho umbral hemos realizado un estudio exhaustivo sobre nuestra base de datos de  $r$  individuos representados cada uno de ellos por  $h$  muestras:  $B = \{(D^j_q, I^j_q), j = 1..h, q = 1..r\}$ . Sea  $B'$  un conjunto de  $r$  muestras de test  $B' = \{(D_q, I_q), q = 1..r\}$ . Para cada una de las muestras-test se calculan los valores de las distancias a las base  $B$ , con lo que producirán los emparejamientos:

$$\{(D_q, D^{j_k}), (D_q, I^{j_k}), (I_q, D^{j_k}), (I_q, I^{j_k}), \\ j = 1..h, k = 1..r\}$$

Para un emparejamiento genérico  $(M_q, M_k)$ , donde  $M \in \{D, I\}$ , se define la medida de similitud mediante una puntuación estadísticamente normalizada:

$$G(M_q, M_k) = \frac{G_{q,k} - \text{mean}\{G_{q,k}\}}{\text{std}\{G_{q,k}\}}$$

siendo  $G_{q,k}$  la suma de 12 valores normalizados entre 0 y 1:

$$G_{q,k} = \sum_{i=1}^{12} \frac{A_{i,q,k} - B_{i,q}}{C_{i,q} - B_{i,q}}$$

con  $A_{i,q,k} = \min_j \{d_i(M_q, M^{j_k})\}$  la menor distancia de entre las diversas muestras del mismo usuario  $k$ , y  $B_{i,q} = \min_k \{A_{i,q,k}\}$ ,  $C_{i,q} = \max_k \{A_{i,q,k}\}$  los valores mínimo y máximo cuando  $k$  recorre la base de datos. La puntuación  $G(M_q, M_k)$  asignada a cada pareja establece un valor indicativo de la similitud entre las dos manos. Debido a su definición, dos manos serán más parecidas cuánto menor sea la puntuación asignada.

Los gráficos siguientes reflejan, para nuestra base de datos, la distribución estadística de los valores de  $G(M_q, M_k)$  cuando  $q \in B'$ ,  $k \in B$ .

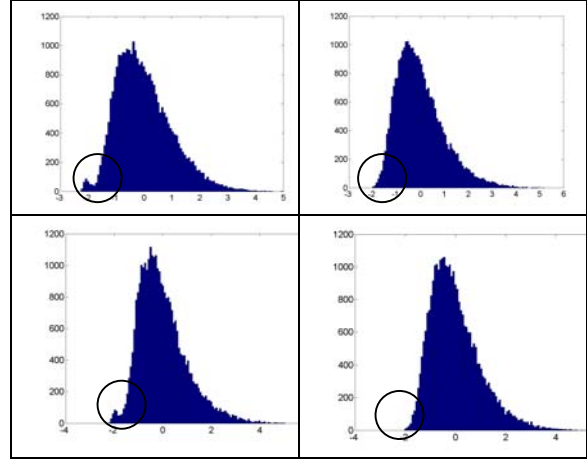


Fig. 7. Fila Superior: Comparación D-D y D-I. Fila Inferior: Comparación I-I e I-D.

Como se observa, el conjunto de estas puntuaciones globales tiene una distribución estadística de tipo normal ligeramente asimétrica. Sobre las distribuciones se marcan la región donde el umbral podría ser establecido.

Fijado un umbral  $\mu$ , se etiqueta el emparejamiento como *aceptable* o *no aceptable*. Formalmente, se define la función binaria

$$p_\mu(M_q, M_k) = \begin{cases} 1 & \text{si } G(M_q, M_k) < \mu \\ 0 & \text{si } G(M_q, M_k) \geq \mu \end{cases}$$

Finalmente, la aceptación o rechazo de la hipótesis de que la muestra  $q$  corresponde al individuo  $k$  (lo que supondría aceptar  $M_q \equiv M_k$ ,  $M \in \{D, I\}$ ) se establece mediante el criterio:

$$\sum_{M \in \{D, I\}} p_\mu(M_q, M_k) \geq 1$$

Resumiendo, podemos sintetizar el procedimiento de verificación mediante los siguientes pasos:

I) Cálculo de las medidas de similitud:

$$G(M_q, M_k), \quad M \in \{D, I\}$$

II) Cálculo de funciones discriminantes

$$p_\mu(M_q, M_k), \quad M \in \{D, I\}$$

III) Decisión de aceptación/rechazo

$$M_q \equiv M_k \Leftrightarrow \sum_{M \in \{D, I\}} p_\mu(M_q, M_k) \geq 1$$

En definitiva, basta con que algún emparejamiento sea aceptable para aceptar la hipótesis. La determinación del umbral se debe realizar al constituir la base de datos, pues este valor depende de la homogeneidad de la propia base de datos.

## 4. EXPERIMENTACIÓN

### 4.1 SETUP EXPERIMENTAL



Fig 8. (a) Conjunto dispositivo experimental. b) Colocación libre de las manos sobre la plataforma

El setup experimental consta de un dispositivo compuesto de 2 cámaras CCD con las que se capturan las imágenes de las manos izquierda y derecha. Estas se han dispuesto sobre una estructura que incluye un sistema de iluminación controlada con luz difusa. El prototipo permite que el usuario coloque de forma cómoda ambas manos sobre un cristal que se sitúa por encima de las cámaras y el sistema de iluminación.

Para la adquisición, pre-procesamiento y obtención de características se ha diseñado una herramienta en la que se implementan todos los requerimientos del sistema. En esta herramienta se automatiza el proceso de captura, codificación y almacenamiento de imágenes, la gestión de los usuarios (altas, modificaciones, bajas), además de la obtención de características y su almacenamiento en una base de datos para su posterior análisis. La figura 9 muestra una sesión de trabajo con el entorno del prototipo implementado

El único requerimiento que se exige al usuario es que extienda su mano y la coloque en la plataforma. A pesar de la facilidad del sistema existe un pequeño porcentaje de muestras que han sido desechadas debido principalmente a la aparición de dedos solapados por falta de motivación u olvido del usuario.

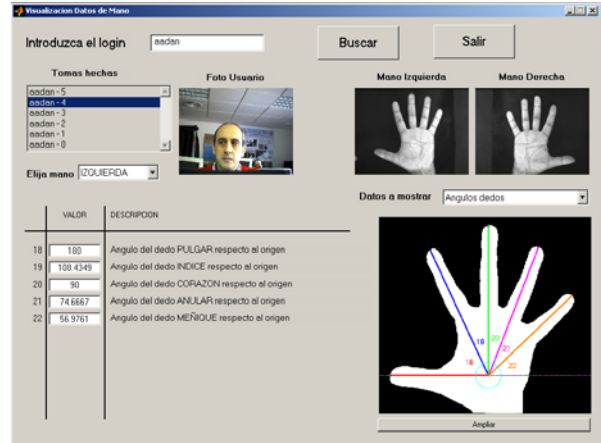


Fig 9. Herramienta software desarrollada.

### 4.2 RESULTADOS DE VERIFICACION

Para comprobar el funcionamiento del sistema hemos realizado un test sobre una base de datos en la que se consideran cinco muestras de ambas manos por cada individuo, llegando a un total de 390 muestras (780 imágenes). De las cinco muestras disponibles, una de ellas se utiliza para la verificación del usuario y conforma el conjunto  $B'$  definido en la sección 3. Las restantes cuatro muestras constituyen la base de datos  $B$ . Para cada muestra del conjunto  $B' = \{(D_k, I_k) : k = 1, 2, \dots, 78\}$  se plantea la hipótesis de pertenencia a un determinado usuario, y siguiendo las etapas I, II y III descritas en el apartado 3, se determina si dicha hipótesis es aceptada o rechazada. Realizando este proceso con cada muestra de  $B'$ , se construye el conjunto  $\Theta(k)$  de usuarios para los que el usuario  $k$  sería aceptado como dual.

Las tasas de *Falsa Aceptación (FAR)* y de *Falso Rechazo (FRR)* son formalmente establecidos como:

$$FAR = \frac{\sum_k Card(FA_k)}{r(r-1)} \times 100$$

$$FRR = \frac{\sum_k Card(FR_k)}{r} \times 100$$

donde los conjuntos  $FA_k$  y  $FR_k$  se definen mediante las condiciones :

$$\text{Si } q \in \Theta(k), \quad q \neq k \Rightarrow q \in FA_k$$

$$\text{Si } k \notin \Theta(k) \Rightarrow k \in FR_k$$

La tabla 1 muestra los resultados de los valores de las tasas  $FAR$  y  $FRR$  para distintos umbrales  $\mu$ . Obviamente, cuanto más bajo sea  $\mu$  (mayor exigencia

en el criterio de aceptación), más bajo es el valor de *FAR*, a costa de producirse un aumento en *FRR*. Recíprocamente, aumentando  $\mu$  aumenta *FAR* y disminuye *FRR*. El conocido compromiso *FAR/FRR* depende de las especificaciones del entorno en el que se vaya a aplicar el sistema de verificación. En nuestra experimentación, se observa que para evitar falsos rechazos el mejor resultado se obtiene para  $\mu = -1.775$ , obteniendo en este umbral *FAR*=0.2997 y *FRR*=0. Por otra parte, si el objetivo es evitar falsas aceptaciones se obtiene un resultado aceptable para  $\mu = -1.875$ , para el cuál *FAR*=0.05 y *FRR*=3.8462. En la figura 10 a) se representan las curvas *FAR* y *FRR*.

$\mu$	<i>FAR</i> (%)	<i>FRR</i> (%)
-2	0.0167	26.9231
-1.9	0.0500	6.4103
<b>-1.875</b>	<b>0.0500</b>	<b>3.8462</b>
-1.85	0.0666	3.8462
-1.8	0.1499	3.8462
-1.825	0.2498	1.2821
<b>-1.775</b>	<b>0.2997</b>	<b>0</b>
-1.75	0.4829	0
-1.725	0.7160	0

Tabla 1. Tasas de *FAR* y *FRR* versus  $\mu$

Con objeto de analizar el comportamiento del método en los supuestos de considerar un solo tipo de emparejamiento D/D, I/D, D/I, I/I, la figura 10 b) muestra en negro (3) las curvas correspondiente a nuestro criterio, en rojo (2) aparecen dos curvas *FRR* y dos *FAR* correspondientes a las comparaciones entre manos derechas y entre manos izquierdas, y en azul (1) las análogas si comparamos las derechas con las izquierdas y las izquierda con la derechas. En esencia, es un gráfico de comparación con estrategias de utilización de una sola mano para verificación personal.

Como era de esperar, la comparación entre manos derechas y entre manos izquierdas (caso (2)) proporciona mejores resultados que entre manos derechas e izquierdas o entre izquierdas y derechas (caso (1)). Obsérvese la notable mejora en las curvas *FAR/FRR* obtenida mediante nuestra estrategia considerando emparejamientos (caso (3)). Este hecho confirma la idea inicial de que comparar todas las parejas posibles de manos aporta una significativa mejora en los sistemas habituales.

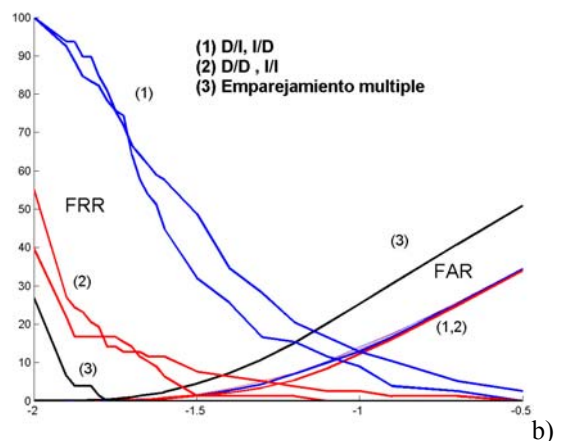
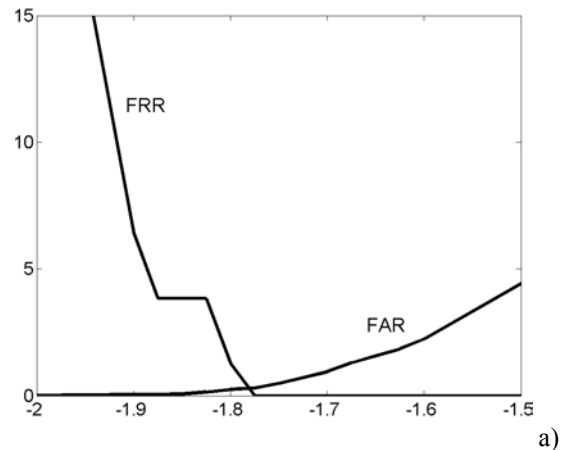


Fig 10 a) curvas *FAR* y *FRR* obtenidas con el método propuesto. b) Comparación con estrategias de emparejamiento simple {D/D, I/D, D/I, I/I}

La figura 11 muestra la curva *ROC* en la que se representan los valores de *FAR* frente a los valores de  $100 - \text{FRR}$ . De nuevo se observa la ventaja de considerar estrategias multi-emparejamiento con ambas manos frente a emparejamientos simples.

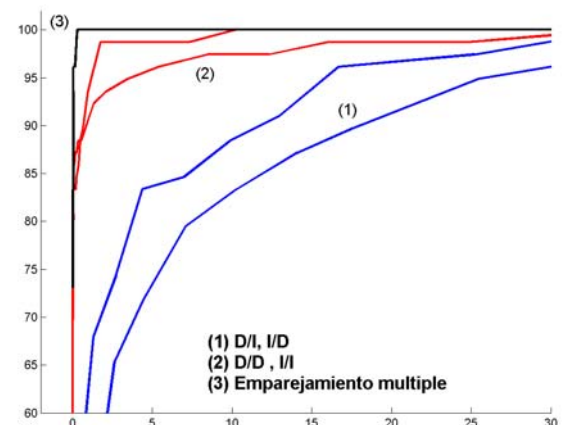


Fig 11. Curvas *ROC*. Comparación con estrategias de emparejamiento simple {D/D, I/D, D/I, I/I}



## 5. CONCLUSIONES

En este artículo se presenta un nuevo sistema biométrico que utiliza la imagen de la mano para tareas de verificación/identificación personal. El problema de verificación es el específicamente tratado en este artículo. El método presentado se caracteriza por los siguientes aspectos.

- Utilizar la disposición natural de las manos para extraer propiedades intrínsecas del individuo. En nuestro caso simplemente se pide al usuario que extienda su mano de manera natural. Consecuentemente, el usuario no es obligado a colocar la mano en una determinada postura y tampoco es necesario realizar un entrenamiento previo.

- Definir un conjunto de patrones que caractericen la mano, evitando procesos de segmentación en la imagen. El objetivo es obtener información invariante de la mano sin apenas costo computacional. Este objetivo ha sido conseguido a través de la representación polar del borde de la mano en un sistema de referencia propio. Esta estrategia supone alejarse de las costosas técnicas basadas en la extracción de características a través de procesamiento de imagen.

- No utilizar prototipos o plantillas, ya que la disposición relativa de los dedos en la posición extendida de las manos presentan ligeras variaciones que podrían falsear un prototipo único de mano.

- Utilizar información de manos derecha e izquierda para crear medidas de interrelación, aumentar la base de información del sistema y mejorar el funcionamiento del sistema. Con esta estrategia se logra que las comparaciones no se hagan únicamente entre manos derechas o izquierdas sino también se realicen comparaciones cruzadas entre manos derechas con manos izquierdas y viceversa. Esto ha supuesto una sustancial mejora en los valores de los parámetros *FAR* y *FRR* en procesos de verificación.

Se ha diseñado un prototipo experimental con el que se ha realizado hasta el momento un test sobre un conjunto reducido de muestras (2x390 registros) que ha dado muy buenos resultados. Los valores de cruce de las funciones *FAR* y *FRR* son aceptables para aplicaciones de verificación.

Tras estos primeros y esperanzadores resultados, se han establecido varios objetivos inmediatos. En cuanto al *setup*, es necesario mejorar y ampliar la herramienta de toma y gestión de datos en aspectos tales como identificación de tomas erróneas, respuesta ante perturbaciones de iluminación exterior, etc. En cuanto al método, comprobaremos

su comportamiento en bases de datos de tamaño medio (300-700 usuarios), en bases con diferente grado de homogeneidad (debidas a la edad, profesión, sexo, etc) y estudiaremos el efecto que produce en los resultados cuando varía el número de muestras almacenadas de cada usuario.

## Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada a través del proyecto PBI-02-008 por la JJCC de Castilla-La Mancha.

## References

- [1] A.K. Jain, R. Bolle, and S. Pankanti, *BIOMETRICS personal identification in networked society* (Kluwer Academic Publisher, 1999).
- [2] R. Sánchez-Reillo, C. Sánchez-Avila, and A. González-Marcos, Biometric Identification through Hand Geometry Measurements, *IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(10), 2000, 1168-1171
- [3] C. Öden, A. ErÇil, V. Taylan, H. Kirmizitas, and B. Büke, Hand Recognition Using Implicit Polynomials and Geometric Features, *Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication AVBPA* (Springer), 2001. 336-341
- [4] C. Han, H. Cheng, C. Lin, K. Fan, Personal Authentication Using Palm-print Features, *Pattern Recognition* 36, 2003, 371-381
- [5] A.K. Jain, N. Duta, Deformable Matching of Hand for Verification, *Proc.IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Kobe, JP, 1999, 857-861.
- [6] R.L. Zunkel, Hand Geometry Based Verification, in: A.K Jain, R. Bole S. Pankanti (Eds.) *BIOMETRICS personal identification in networked society* (Kluwer Academic Publisher), 1999, 87-101.
- [7] A.K. Jain, A. Ross, and S. Pankanti, A prototype Hand Geometry-based Verification System, *Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Audio and Video-based Biometric Person Authentication*, Washinton, D.C., U:S:A, 1999, 166-171.
- [8] D. Sidlauskas, A new Concept in biometric identification 3-Dimensional Hand Geometry, *Nucl. Mater. Manage, v.16., INMM 28th Annual Meeting*, 1987, 442-447.
- [9] M. Golfareille, D. Maio, and D. Davide Maltoni, On the Error-Reject Trade-Off in Biometric Verification Systems, *IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19(7), 1997, 786-796.