

CAPÍTULO 2

SISTEMAS AUTOMATICOS PARA EL RECONOCIMIENTO DE LA AUTENTICIDAD DE UNA FIRMA AUTOGRAFA

En el presente capítulo se realizará un análisis de los sistemas automáticos para reconocimiento de firma autógrafa. Este tipo de análisis nos sitúa en la problemática de encontrar un modelo que sea capaz de estandarizar las etapas, definir las claramente y al cual distinga entre la identificación y verificación.

James L. Wayman, Director de U.S. National Biometric Test Center, propone un modelo conceptual para la estandarización de sistemas biométricos. Wayman estudia las relaciones entre identificación y verificación y entre enrolamiento y operación.

Su modelo incluye formulaciones matemáticas para la evaluación de los Sistemas Biométricos y consta de los subsistemas ilustrados en la Figura 2.1 descritos a continuación:

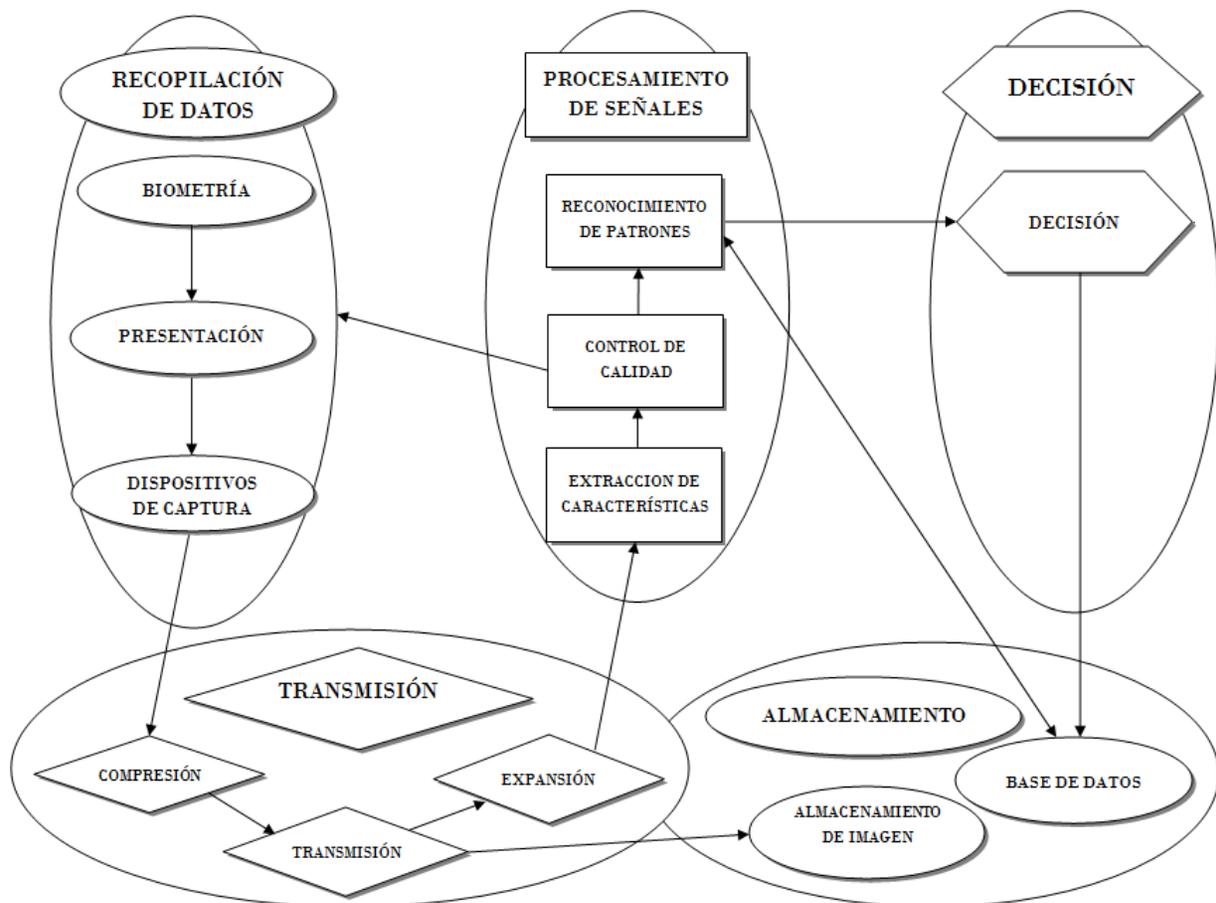


Figura 2.1. Sistema biométrico general, basado en esquema del sistema biométrico de Wayman [1]

1. **Obtención de datos.** En este subsistema se determinan los aspectos relacionados tanto con la fase de enrolamiento, que consiste en ingresar nuevos usuarios al sistema, como con los procedimientos de presentación de la biometría.
2. **Transmisión de datos.** En la mayoría de los sistemas biométricos de identificación los dispositivos de recopilación de datos se encuentran en un lugar diferente donde se realizará el procesamiento o el almacenamiento, por lo que es muy importante la forma en que se hace llegar la información a dicho lugar. El tamaño de la representación de la biometría impacta en una relación negativa a la velocidad de transmisión. Adicionalmente, puede requerirse encriptación, en el caso de que la información sea confidencial.
3. **Procesamiento de señales.** El subsistema tiene como objetivo la transformación de la información por medio de algoritmos diversos. Dichos algoritmos se encargan de extraer las características biométricas que están presentes en la señal original. La información extraída en la mayoría de los casos es utilizada para la construcción del "vector de características" que se utilizará en las siguientes etapas.
4. **Almacenamiento.** Como su nombre lo indica, este subsistema está dedicado al almacenamiento de la información. Distinguiéndose dos módulos distintos, el de almacenamiento de las biometrías, que provienen del módulo de recopilación de datos. Y el almacenamiento de los vectores de características, procedentes del módulo de procesamiento de datos. La importancia los almacenamientos está dictada por el sistema de verificación (SV) mismo. Sin embargo, no hay ninguna limitante para la coexistencia de ambas bases de datos dentro del SV.
5. **Decisión.** Proceso que ocurre en la etapa de operación del sistema para verificar o identificar una biometría.

2.1. Recopilación de Datos.

2.1.1. Biometría.

Biometría se define de forma clásica como: "la ciencia que se dedica al estudio estadístico de las características cuantitativas de los seres vivos; tales como peso, longitud, etc." [1]. Hoy en día el término se ha utilizado para referirse a los métodos automáticos que analizan determinadas características humanas con el fin de verificar o identificar a las personas. Por eso se dice que la Biometría forma parte importante de la seguridad informática.

Algunos autores establecen restricciones para poder considerar una característica, ya sea de tipo conductual o física, como una biometría [1]. Dichas restricciones son las siguientes:

1. Universalidad. Todos los individuos deben de presentar la característica.
2. Singularidad. Dos individuos cualesquiera tienen que ser suficientemente distinguibles uno del otro con base en la característica.
3. Estabilidad. La característica tiene que ser lo suficientemente estable a lo largo del tiempo y en condiciones ambientales diversas.
4. Cuantificable. La característica debe ser mensurable cuantitativamente.
5. Aceptabilidad. La característica debe ser suficiente como para que sea considerada parte de un sistema de identificación biométrico.
6. Rendimiento. El nivel de exactitud requerido; que es medido realizando comparativos de las tasas de error (falsa aceptación y falso rechazo) generadas para el sistema; debe ser un valor competitivo para poder ser considerado.
7. Usurpación. El nivel de seguridad que muestra el sistema tiene que ser el necesario para que éste sea capaz de resistir a las técnicas fraudulentas.

La firma autógrafa.

Como se estableció anteriormente, para que una característica sea considerada una biometría debe cumplir con varios puntos. Sin embargo, la firma autógrafa, al igual que otras características biométricas, no cumple a cabalidad con todos y cada uno de ellos. A continuación se discute por qué la firma autógrafa es considerada una biometría.

1. Universalidad. La universalidad nos dice que todas las personas deben presentar esta característica. En el caso de la firma autógrafa no todas las personas cuentan con una, en el caso particular de México el 8.99% de sus habitantes no saben leer ni escribir por lo que están imposibilitados para generar una firma para identificarse [3]. Debido a que la gran mayoría de las personas cuentan con una firma autógrafa, prácticamente 9 de cada 10 mexicanos son capaces de producir un grafo, por lo tanto a pesar de esta situación una firma puede considerarse una biometría debido, entre otros factores, a que es aceptada y grandemente utilizada para la identificación de individuos en diferentes tipos de documentos, como son documentos oficiales, legales y bancarios entre otros.

2. Singularidad. Esta característica se da plenamente ya que no existe un ser humano que escriba o genere un símbolo de forma igual.
3. Estabilidad. La firma al ser un elemento conductual no cumple cabalmente con esta característica pues nuestro grafo cambiará en el tiempo, sufriendo desde ligeras hasta muy marcadas modificaciones. Sin embargo, podemos realizar una retroalimentación de nuestro grafo - algunas veces por factores asociados a nuestra persona, otras por conveniencia, como en el caso de que debamos identificarnos ante una ventanilla bancaria, etc. - para así generar grafos razonablemente estables.
4. Cuantificable. Como toda biometría, la firma cuenta con diversos rasgos de acuerdo al tipo adquisición que se haya decidido o tenido que elegir (online u offline). Con el conjunto de rasgos antes mencionados se obtiene la representación digital de la firma, o vector de características, que sirve para llevar a cabo los procesos de verificación y/o decisión en el sistema biométrico.
5. Aceptabilidad. Pese a que la firma no es una biometría con la que contemos todos los seres humanos -y su universalidad quede por lo tanto comprometida-, su aceptabilidad está de manifiesto en la gran cantidad de trámites desde escolares y burocráticos hasta jurídicos y judiciales por no mencionar transacciones en oficinas bancarias, para las que la forma de identificación que se utiliza no es otra que la comparación de una firma previamente obtenida, con la que el individuo a identificar presenta incluida en una identificación oficial.
6. Rendimiento. Esta característica existe y es evaluada en cada sistema de reconocimiento de firma al realizarse comparativos de las tasas de error [2] calculadas a través de los parámetros arrojados por cada sistema. Estas tasas nos marcan la cantidad de firmas con aceptación verdadera y la cantidad de firmas rechazadas indebidamente; al ver la cantidad del score de concordancias y cuantificar si este es aceptable es que el creador del sistema evalúa su rendimiento.
7. Usurpación. Este rasgo, en la biometría discutida es un factor de riesgo pues existen incluso falsificadores profesionales, sin embargo, tan importante es hoy en día la firma, que el campo de la ciencia incluye una materia que se encarga del estudio de ésta y de evaluar a través de rasgos característicos su validez. Derivado de esto, podemos decir que en el proceso de toma de decisión en la identificación/verificación de un sistema automático se da cuando se logra la sistematización de reglas capaces de realizar esta verificación.

2.1.2. Presentación

El modo de adquisición de los datos afecta significativamente al resto de los procesos llevados a cabo por el sistema de reconocimiento. Una de las principales diferencias entre un sistema de reconocimiento on-line y uno off-line es la simultaneidad entre la realización de la firma y la adquisición de la información de la misma. En el primer caso, la adquisición de los datos se lleva a cabo en el momento mismo en el cual se realizó el grafo. En el caso de un sistema de tipo off-line la adquisición de los datos se realiza tiempo después de que el grafo fue realizado.

Para la adquisición de los datos de la firma en un sistema off-line debe realizarse la digitalización de la imagen de la firma. Por tal motivo se pierde la información temporal, no se conoce la duración de la elaboración del grafo, ni la secuencia ordenada de los trazos. Es posible recuperar información dinámica a través de los datos estáticos adquiridos, pero debido a la dificultad para su obtención automática ésta se considera perdida. Por esta razón la información que generalmente se utiliza en los sistemas off-line se limita a información estática o geométrica de la firma.

En la práctica la captura de las firmas debe cumplir con procedimientos preestablecidos, por el diseñador del sistema, para su realización. Es decir, restricciones que permitirán que los grafos sean lo suficientemente homogéneos para que éstos puedan ser analizados por el sistema y entregar resultados confiables.

Entre los trabajos a los que tuvimos acceso, las dimensiones de las superficies donde se realizarán las rúbricas no sólo dependen de las consideraciones del diseñador sino que también se encuentran las necesidades de sus clientes. Además, entre las restricciones se encuentran: el tipo de bolígrafo a utilizar, su color y el grueso del punto [4]. Otra de las restricciones citadas fue el tipo de papel a utilizar nos encontramos con consideraciones de color, peso (grosor), tamaño y acotamiento del área de trazado [5]. Así como la ubicación física de la firma dentro de la superficie dada [6]. Todo esto para los casos en los que se utilice el papel como elemento de obtención de los grafos.

Si se almacenan los datos en forma digital, por medio de alguna tableta, también deben tenerse en cuenta consideraciones como la dimensión de la superficie y las variables que estos dispositivos pueden ofrecer, tales como ángulo de inclinación, presión sobre la superficie, velocidad de trazado, etc. [7].

Ingreso de datos al sistema

De la misma forma que la adquisición de la firma, la introducción de los datos al sistema de reconocimiento varía dependiendo entre otros factores, del tipo de sistema de que se trate. Sin embargo, no hay una forma única de ingreso para cada tipo de sistema. Es por esto que tenemos una variedad de métodos de ingreso de datos y por lo tanto los parámetros a consideración pueden no ser los mismos en cada caso.

Sin embargo las variables que con las que se trabaja en un sistema offline pueden utilizarse para un sistema online, aunque no suceda lo mismo con todas las variables del sistema online.

Estas variables a utilizarse en un sistema de reconocimiento de firma pueden ser:

- Longitud del grafo. Es el tamaño que tiene el grafo, variable bidimensional que es utilizada tanto en online como en offline.
- Dispersión del grafo. Está dada por la presión ejercida sobre el dispositivo de captura – bolígrafo, lápiz, etc.- sobre la superficie de captura – papel, tableta, etc.- Se utiliza tanto en online como en offline.
- Inclinación de la firma. Es el ángulo que el grafo tiene con respecto a la horizontal predefinida en la superficie de captura. Puede usarse tanto en online como en offline.
- Inclinación del dispositivo de escritura. El ángulo entre el dispositivo de captura y la superficie de captura. En la mayoría de los casos este ángulo varía con el tiempo, es decir, a lo largo de la realización del grafo el ángulo que genera el bolígrafo sobre el papel no es siempre el mismo. Variable dinámica, exclusiva de sistemas online.
- Presión del dispositivo de escritura sobre el dispositivo de entrada. Está relacionada con la dispersión del grafo, ya que a mayor presión del bolígrafo sobre el papel, mayor es la dispersión de la tinta sobre el mismo. Variable dinámica, exclusiva de sistemas online.
- Velocidad de escritura. La rapidez con la que se estampa la firma. Generalmente un individuo tiene una velocidad de escritura estable bajo condiciones reguladas, por lo que este es un parámetro que puede considerarse en el momento de una verificación y/o identificación. Variable dinámica, exclusiva de sistemas online.
- Duración del trazo. Relacionada con la velocidad de escritura, es el tiempo que toma al individuo la generación del grafo. Variable dinámica, exclusiva de sistemas online.

- Secuencia de los trazos. Importante para la verificación online, pero inútil para la offline donde no es posible conocer esta información. Variable dinámica, exclusiva de sistemas online.

Por todo lo anterior resulta evidente que los parámetros de entrada a los sistemas tanto on-line como off-line no son mutuamente excluyentes. Como en los casos de longitud y dispersión del grafo que pueden obtenerse con las herramientas de ingreso para un sistema off-line. Sin embargo algunos parámetros que pueden obtenerse con dispositivos de entrada dinámicos, a un dispositivo de entrada estático no le es posible entregarlos al sistema.

2.1.3. Dispositivos de Captura.

Para poder realizar el reconocimiento de una firma autógrafa, es necesario contar con dispositivos que sean capaces de captar la información de entrada y de entregarla con un formato y características adecuadas para su posterior procesamiento.

Entre las investigaciones a las que tuvimos acceso, existen varios tipos de dispositivos que logran este cometido, uno de ellos es la cámara de video que entrega una imagen de 128 X 512 pixeles con 256 en escala de grises, ésta es utilizada para el reconocimiento de firma autógrafa por el investigador Robert Sabourin [8]. La cámara de video no es el único dispositivo que logra este cometido, en los artículos escritos por Lee Luan L. [6], El-Yacubi [9] y Edson J.R. Justino [4] ocupan el scanner en sus diferentes resoluciones

Par concluir, en nuestro caso, el escáner fue el dispositivo elegido, debido a que la obtención de las firmas se llevará a cabo de forma "tradicional", por medio de papel y bolígrafo, para su posterior digitalización. Ya que de esta forma, eliminamos la necesidad de tener un dispositivo tecnológico en el momento de recolección de las biometrías, además de también eliminar la necesidad de tiempo de entrenamiento para la manipulación del dispositivo y ya que la firma es realizada en la forma natural las variaciones entre los grafos de un mismo individuo se espera que no sean demasiado significativas.

2.2. Transmisión.

2.2.1. Compresión.

La compresión de datos es el proceso de convertir una cadena de entrada (cadena origen o renglón de datos original) en otra cadena de datos (salida, o cadena comprimida) que tiene un tamaño menor. La cadena puede ser almacenada tanto en un archivo como en el buffer en memoria.

Una imagen digital es un arreglo de puntos, o elementos pictóricos, de m renglones y n columnas. A la expresión $m \times n$ se le conoce como *resolución* de la imagen y a los puntos se les llama *pixeles* (exceptuando los casos de imágenes de fax y la compresión de video, donde se les conoce como *pels*). El término resolución también puede utilizarse para indicar los pixeles por unidad de longitud de la imagen. De ahí que, dpi represente a la cantidad de puntos por pulgada. Para los propósitos de compresión de imagen es útil distinguir los siguientes tipos de imágenes [12]:

1. Imagen monocromática (bi-nivel)
2. Imagen a escala de grises
3. Imagen de tonos continuos
4. Imagen de tonos discretos
5. Imagen tipo cartoon

En el campo teórico, existen diferentes formas de comprimir el tamaño de una imagen. Cada una de ellas cuenta con una metodología propia que aplica procedimientos diversos como son "enmascaramiento" y binarización de información, división de los pixeles en capas, rotación de ejes y transformación en tiempo y frecuencia de los datos de la imagen. La aplicación de las técnicas antes mencionadas es conocida como *preprocesamiento* de la imagen.

Sin embargo, en la práctica, se aplica más de un método de compresión sobre la imagen con el objetivo de obtener los mejores resultados posibles.

Entre los métodos y estándares de compresión de imágenes más reconocidos y aceptados están JPEG, JPEG LS (con estándares para la compresión lossless), JPEG 2000, JBIG y JBIG2. La compresión de Huffman y el modelo MRC que son utilizados en trabajos que tienen que ver con la digitalización y manejo electrónico de firma autógrafa [13, 15]. Algunos métodos y estándares de compresión se encuentran descritos en el Apéndice B.

2.2.2. Transmisión

Actualmente, para algunos tipos de sistemas y aplicaciones, los servidores de almacenamiento y o procesamiento de datos se encuentran alejados de las terminales de entrada, esto sucede muy a menudo para los sistemas de reconocimiento a gran escala. Ésta es una de las razones por las cuales los diseñadores han tenido la necesidad de crear y utilizar canales de comunicación que realicen efectivamente este enlace.

En el caso de estudio, debido a que se trata de un sistema que se utilizará en una computadora aislada, no se tiene la necesidad de transmitir los datos de entrada para su posterior procesamiento.

2.2.3. Expansión

Una vez que se tiene digitalizado el archivo, para poder obtener la información necesaria para realizar el reconocimiento, resulta necesario expandirlo o descomprimirlo. La descompresión de una imagen dependerá del método empleado para comprimirla. Estas técnicas son utilizadas para los estándares y métodos mencionados en el tema anterior.

2.3. Procesamiento de señales

2.3.1. Extracción de Vector de Características.

Pre-procesamiento.

El pre-procesamiento de una imagen consiste en un conjunto de técnicas orientadas a mejorar la presentación de la imagen digital con la finalidad de facilitar la interpretación por parte del analista.

Las técnicas que se usarán están enfocadas a imágenes en escala de grises, para llevar a cabo estas técnicas dividiremos el proceso en dos partes: binarización y eliminación del ruido. A continuación se detallarán cada una de éstas:

2.3.1.1. Binarización.

Para la Binarización existen varias técnicas, de acuerdo a los métodos en los que están basadas, que pueden clasificarse en 6 grupos: en "la forma del histograma", métodos basados en clustering, métodos basados en entropía, en los atributos del objeto y en las características de los píxeles locales y métodos espaciales [1]. Una de estas técnicas es la creada por Otsu [3], los detalles de su método se encuentran en el Apéndice C.

2.3.1.2. Eliminación de ruido.

A pesar de que a algunas imágenes se les extrae el fondo con la intención de quitar aquella información inútil, en muchas ocasiones les quedan pequeñas manchas aisladas, causadas primordialmente por las variaciones en los niveles de gris en la información impresa, a esos remanentes de patrón de fondo y de la información preimpresa que el sistema no lo logra remover se les llama ruido residual de fondo. Para eliminar el ruido residual de fondo existen varias técnicas de las cuales solo se mencionaran las tres más expuestas en trabajos de autenticación de firmas autógrafas.

Técnica Operador de Erosión Morfológica.

Ésta utiliza una estructura de 2X2 llenada con unos aunque la operación de erosión puede fácilmente remover el ruido residual, al mismo tiempo puede degradar el patrón de información de relleno. De hecho, el proceso de eliminación preimpresa puede también distorsionar el patrón de información llenada si los dos tipos de información se traslapan físicamente. Comúnmente la degradación observable en la información de relleno es un trazo conectado o una línea segmentada en dos o varias partes. Para resolver este problema, se aplica un operador de dilación después de la erosión, usando una estructura de 3X3 llenada con unos.

Técnica de media móvil.

Se realiza un suavizado de las señales con el objetivo de reducir el ruido, en donde se divide la señal en rasgos de n valores, asignado a cada uno el valor promedio de los pixeles contenidos en él [16].

Utilización del Gradiente de Sobel para eliminación del ruido.

La eliminación de ruido empieza desde que se realiza el cálculo del gradiente a través del operador de Sobel, pues éste tiene la habilidad de detectar bordes en las áreas de señal o ruido bajo, eliminando por lo tanto áreas no deseadas. Siguiendo con el cálculo del gradiente, de este se obtiene un vector que tiene tanto densidad como dirección, que será limitado por un rango que generará las ecuaciones necesarias para que se le dé más importancia a los pixeles localizados en los pasos de los niveles de gris siguiendo la línea de la firma, esto disminuye gradualmente la influencia del ruido residual localizado en el área del fondo caracterizado por un gradiente de valores de baja densidad [8].

2.3.1.3. Extracción de vector de características.

El vector de características, es una representación matemática que nos permite conocer las características de una imagen, es decir el conjunto de parámetros o valores individuales calculados a partir de la información adquirida y procesada [1]. Dentro de estos parámetros en la firma off-line se encuentran la dispersión de tinta, la inclinación del grafo, rasgos característicos, entre otras. Hay una gran diversidad de métodos para la extracción de dicho vector. En el Apéndice D se describen los que fueron utilizados en algunas investigaciones.

Función de Densidad de Probabilidad (PDF – Probability Density Function).

Debido a que éste es el método que se utilizó, éste es descrito a continuación:

El primer paso de esta técnica consiste en calcular el gradiente a través del operador de Sobel [25], para realizar esta acción es necesario aplicar convolución a la imagen original para calcular aproximaciones a las derivadas. Un kernel para los cambios horizontales y otro para las verticales.

Si definimos A como la imagen original y G_x y G_y como los dos kernels que representan para cada punto las aproximaciones horizontal y vertical de las derivadas de intensidad, el resultado es calculado como:

$$G_x = \begin{matrix} +1 & 0 & -1 \\ +2 & 0 & -2 \\ +1 & 0 & -1 \end{matrix} * A \quad y \quad G_y = \begin{matrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{matrix} * A \quad \dots(1)$$

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

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

Con esta información, podemos calcular también la dirección del gradiente:

$$\theta(m,n) = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) + \frac{\pi}{2} \quad (3)$$

El proceso del gradiente calculado es aplicado para toda la imagen de escala de grises $\{g(m,n)\}^{N_m, N_n}$ y produce el gradiente de imagen compuesta tanto de intensidad $\{|\nabla|(m,n)\}^{N_m, N_n}$ como de dirección plana $\{\theta(m,n)\}^{N_m, N_n}$. La adición del término $\pi/2$ en la ecuación propuesta por

Sabourin [8] permite la orientación del ángulo $\theta(m,n)$ para seguir la línea de la firma con la porción blanca de la escena localizada a la izquierda del vector del gradiente.

La información de la dirección $\theta(m,n)$ ha sido limitada por el rango $0 \leq \theta(m,n) < \pi$, por lo tanto $H_w(\theta_i)$ es valuada para el rango de θ_i con un incremento de grado y está definida por:

$$H_w(\theta_i) = \sum_{m=1}^{N_m} \cdot \sum_{n=1}^{N_n} \lambda_w(\theta_i, m, n) \quad \dots (4)$$

$$\text{Donde } \lambda_w(\theta_i, m, n) = |\nabla|(m, n) \quad \dots (5)$$

$$\text{Si } [\theta_i \times \Delta_\theta] \leq \theta(m, n) < [(\theta_i + 1) \times \Delta_\theta]$$

Y (m,n) es localizada en la línea de la firma

$$\text{Si no } \lambda_w(\theta_i, m, n) = 0 \quad \dots (6)$$

$$\text{Con } \Delta_\theta = \frac{\pi}{180} \quad \dots (7)$$

Dada las ecuaciones anteriores (5) y (6) entregan más peso a la localización de pixeles en los pasos de los niveles de grises siguiendo la línea de la firma, se disminuye gradualmente la influencia del ruido residual localizado en el área del fondo y caracterizado por un gradiente de valores de baja densidad.

Finalmente, la dirección total de la Función de Densidad de Probabilidad (PDF) $F_w(\theta_i)$ puede ser definida como los valores de densidad:

$$F_w(\theta_i) = \frac{H_w(\theta_i)}{N_{H_w}}, \quad \text{para todo } \theta_i \quad \dots (8)$$

Donde el valor discreto de la direccionalidad θ_i , está definido en el rango de $0 \leq \theta_i < N_\theta$ con $N_\theta = 180$; y donde el total de números de ángulos observados N_{H_w} es obtenido por una relación simple:

$$N_{H_w} = \sum_{\theta_i=0}^{N_\theta-1} H_w(\theta_i) \quad \dots (9)$$

Consecuentemente, el valor de la densidad $F_w(\theta_i)$ está definida en el rango de valores $0 \leq F_w(\theta_i) \leq 1$, y $F_w(\theta_i)$ tiene un área unitario.

$$\sum_{\theta_i=0}^{N_\theta-1} F_w(\theta_i) = 1 \quad \dots (10)$$

$F_w(\theta_i)$ usado como vector característico para el reconocimiento de patrones tiene la propiedad de ser invariante en escala y posición, pero variante de rotación. La Figura 2.2 muestra un ejemplo del total direccionamiento PDF determinado desde un genuino espécimen de la firma [8].

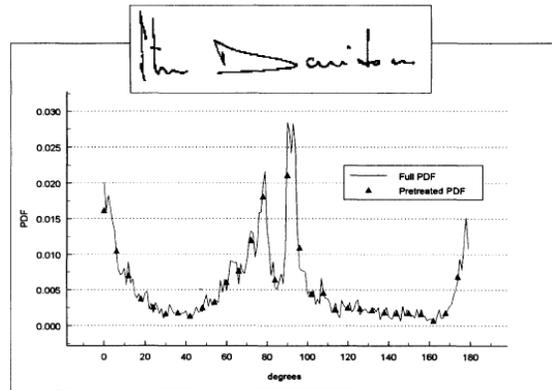


Figura 2.2. Gráfica de un genuino espécimen de la firma, donde se muestra el total direccionamiento PDF, basada en el artículo Drouhard Jean-Pierre [8]

2.3.1.4. Post-Procesamiento

En algunas ocasiones, al realizar la extracción del vector de características éste resulta ser poco práctico para su manejo durante el proceso de reconocimiento de patrones, por lo que es necesario realizar antes de estas algunas operaciones para su mejor manejo (Post-Procesamiento).

Una de éstas es la eliminación de ruido – discutido en apartados anteriores – y la otra es la Reducción de Dimensionalidad; que a continuación se mencionará:

El caso es expuesto por Robert Sabourin y Jean Pierre Drouhard de la Universidad de Quebec [8], el cual menciona que el primer vector de características, creado a partir de PDF (Probability Density Function) puede ser el primer acercamiento a la verificación de una firma autógrafa. Por lo que en consecuencia usaron filtro direccional PDF $F'_w(\theta)$ definido para suavizar $F_w(\theta)$ con una distribución binominal en el lapso de siete canales teniendo:

$$F'_w(\theta_i) = \frac{1}{64}F_w(\theta_i - 3) + \frac{3}{32}F_w(\theta_i - 2) + \frac{15}{64}F_w(\theta_i - 1) + \frac{5}{16}F_w(\theta_i) + \frac{15}{64}F_w(\theta_i + 1) + \frac{3}{32}F_w(\theta_i + 2) + \frac{1}{64}F_w(\theta_i + 3) \quad \dots (11)$$

Ahora se tiene la cardinalidad ($N_{\theta}=180$) del vector característico $F_w'(\theta_i)$, que también es reducido para que se utilice de forma más práctica, por esta razón, se introdujo un paso de submuestreo resultando al final un vector característico $F''(\theta_j)$

$$F_w''(\theta_j) = F_w'(\alpha) \quad \dots (12)$$

$$\text{Donde: } \alpha = (\theta_j \times N_B), N_B = 6 \quad \dots (13)$$

Así que, la cardinalidad del vector característico $F''(\theta_j)$ es ahora:

$$0 \leq \theta_j < N_{\theta}'', N_{\theta}'' = 30 \quad \dots(14)$$

Concluyendo de manera optima el vector de características.

2.3.2. Control de Calidad.

Al recopilar la información que va ser evaluada en el reconocimiento de la firma autógrafa, es necesario que cumpla ciertos requerimientos en su presentación (tema tratado con anterioridad en este capítulo), ya que si estos factores no son homogéneos, no podremos confiar en la certeza del resultado obtenido.

2.3.2.1. Características directas de la imagen

La imagen entregada por el dispositivo de captura, ya sea una cámara digital, scanner, video cámara, etc., podrá cumplir por ejemplo con las siguientes características:

- Debe ser una imagen de escala de grises.
- Resolución deseada.
- Comprimida bajo el estándar JPEG.
- Sin background.
- Nítida, sin información extra.
- La firma estará en marcada por un rectángulo de 10cm x 7cm.

Sí observamos las características antes mencionadas, la mayoría de ellas depende de los dispositivos de entrada, por lo que podemos mencionar que éstos deben ser en la medida de lo posible estables y tener un rendimiento medible para que la probabilidad de error sea mínima. Además es necesario

mencionar que algunos sensores tienen la capacidad de determinar si la señal tiene la calidad aceptable y rechazarla en caso contrario.

2.3.2.2. Propiedades tomadas a partir del vector de características.

Una vez que se encuentra ya digitalizada la imagen, se lleva a cabo el procesamiento de la misma, obteniendo un vector de características. Dicho vector no contiene la firma en sí, contiene la información referente a la firma que es indispensable el reconocimiento de patrones. Entre ellas podemos encontrar:

- Aproximaciones de la geometría de la firma mediante polígonos.
- Relación de aspecto
- Distribución granulométrica.
- Localización de inicio y final de trazos
- Concavidad de los trazos,
- Centro geométrico de la firma.
- Inclinação de los trazos verticales (slant)
- Entre otras.

Algunos vectores de características toman en consideración algunas de las características listadas, mientras que otros toman información diferente. Esto depende del método de reconocimiento y decisión que se vayan a utilizar; siempre tomando en cuenta el propósito, ya que si este último se pierde de vista, generar este vector resultaría en un proceso inútil, lo que haría en algunos casos regresarnos al subsistema de reconocimiento de patrones y evaluar desde la presentación hasta el dispositivo de captura.

2.3.3. Almacenamiento.

En temas anteriores hemos hablado de las distancias que en ocasiones son necesarias recorrer para llevar a cabo el almacenamiento o procesamiento de la información, pero, en esta ocasión más que hablar de cómo llevar esta información o de que formato existen para su manejo, hablaremos de los que necesitamos guardar, cual es la forma más correcta y los tipos de almacenamiento.

Dentro de los sistemas biométricos de reconocimiento de firma, se puede considerar el almacenar el archivo de la imagen digitalizada de entrada, como un factor dentro del proceso del sistema, sin embargo, este hecho tiene sus pros y sus contras, dentro de sus pro esta el factor de siempre tener la imagen origen disponible en cualquier momento y de ser necesario poder llevar acabo el análisis desde éste, además de ser requerido se pude cambiar, mejorar, actualizar el algoritmo de caracterización y dentro de sus contra es el espacio necesario para poder almacenar dicha información, además de tener que llevar un sistema estructurado de organización para saber donde se encuentra el archivo de la firma solicitada.

Para este trabajo en cuestión se utilizará un sistema de fichero que nos permita accesar a la información almacenada de forma rápida y concreta. Otro método de almacenamiento son las bases de datos; que en nuestro caso no aplican pues tenemos una población muy pequeña.

2.3.4. Reconocimiento de Patrones.

El reconocimiento de patrones es la ciencia que se encarga de la descripción y clasificación (reconocimiento) de objetos, personas, señales, representaciones, etc...

Existen tres aproximaciones principales al problema de reconocimiento de patrones: [1]

1. Reconocimiento estadístico de patrones (o teoría de la decisión)
2. Reconocimiento sintáctico de patrones (o estructural)
3. Reconocimiento basado en redes neuronales.

Para llevar a cabo el análisis necesario para el reconocimiento de la firma autógrafa es indispensable la obtención de su patrón biométrico que la identifica. Existen varias técnicas utilizadas para su obtención, en el Apéndice E se encuentran unas de ellas. A continuación se discutirá de forma general la red neuronal ya que ésta es la técnica utilizada para el sistema.

Redes Neuronales.

Definición.

Una red neuronal se define como un objeto computacional que intenta emular las funciones elementales de la red nerviosa del cerebro humano [1]. Este tipo de emulación se inició con Warren McCulloch y Walter Pitts en el año de 1943. Quienes exponen una teoría en la cual se trata de explicar el funcionamiento del cerebro como un organismo computacional [4].

Nuestro cerebro tiene un gran número de células llamadas neuronas interconectadas masivamente. Cada neurona consta de tres partes: un cuerpo celular (soma), una fina estructura de entrada (dendrita) y una estructura de salida (axón) como se muestra en la Figura 2.3 [22]. Las dendritas se ramifican tejiendo una tupida red alrededor de la célula, mientras el axón se extiende por lo general, un centímetro (100 veces el diámetro del cuerpo de la célula) y a veces en caso extremos, hasta un metro. Finalmente el axón se ramifica en filamentos y subfilamentos mediante los que establece conexión con las dendritas y los cuerpos de las células de otras neuronas. A la unión o conexión se le conoce como sinapsis. Las señales se propagan de neurona a neurona mediante una complicada reacción electroquímica. La sinapsis libera sustancias químicas transmisoras que entran a la dendrita, con la cual se eleva o reduce un potencial eléctrico del cuerpo de la célula. Una vez que el potencial eléctrico rebasa cierto límite, se envía al axón un impulso eléctrico o potencial de acción. El impulso se difunde a través de las ramas del axón, y finalmente llega a la sinapsis y libera transmisores en los cuerpos de otras células [22], dando por resultado la comunicación entre neuronas.

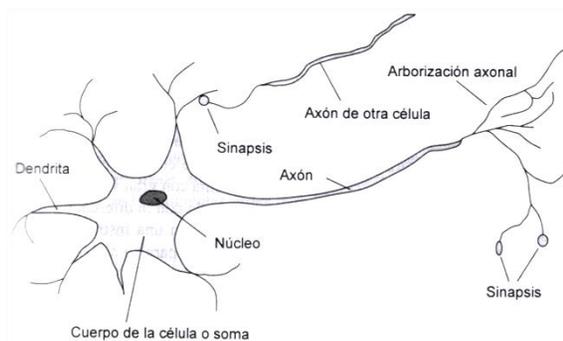


Figura 2.3. Fisiología de una neurona [22]

El funcionamiento de una neurona (unidad) dentro de un modelo de red neuronal artificial se esquematiza en la Figura 2.4 [22]. La neurona consta de varias entradas, cada una de ellas tiene asociado un valor predeterminado llamado peso, también cuenta con una función de salida la cual determina si la neurona es activada. Si ese es el caso se genera una salida que puede afectar a otra neurona. En el momento que una neurona recibe como entradas estímulos, estos se multiplican por el peso asociado a la conexión. Posteriormente los resultados de las multiplicaciones de cada entrada se suman, para que después este valor obtenido de las sumas sea evaluado en la función de salida y se determine si existe una activación que de una salida.

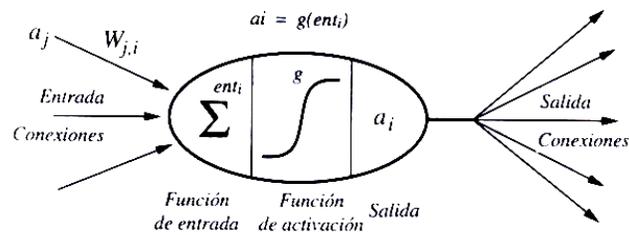


Figura 2.4. Representación de una neurona artificial [22] donde a_i es el valor de activación de la unidad i , W_{ij} es el peso de enlace que está entre la unidad j y la unidad i y g es la función de activación.

Las redes neuronales artificiales se clasifican de acuerdo algunas características que poseen, por ejemplo: su topología, la forma en que llevan a cabo su aprendizaje o al tipo de entrada. El uso de cada uno de estos tipos de redes se da de acuerdo al análisis de las necesidades que son presentadas en el problema donde va ser utilizada ésta.

Aplicación en el Reconocimiento de Patrones.

Al igual que en los HMM; en las redes neuronales para el análisis del reconocimiento de la firma se hace uso de vectores de características, sin embargo, no siempre son necesarios como es el caso del sistema expuesto por Ng Geok See y Ong Hee Seng, de la universidad de Singapur [5]; cuya entrada a la red está dada por los pixeles que constituyen la imagen.

Si hablamos de la construcción de redes neuronales para poder llevar a cabo la tarea de reconocimiento; debemos pensar en el tipo de red, el algoritmo de aprendizaje, el número de nodos tanto de entrada, ocultos y de salida y las reglas de decisión. Todo esto se da en la etapa de entrenamiento. Por lo que el presente trabajo expone algunas características de redes usadas para este fin.

Existen algunos casos en que se utiliza una red tipo perceptrón multicapa; esta red multicapa de retroalimentación se entrenó por el algoritmo de retropropagación aplicado ambos conjuntos, genuino y de falsificación entrenada, además, la red neuronal puede considerarse una aproximación al discriminante de Bayes [6].

Tenemos otro caso de red conectada tipo Feed-Foward, con un algoritmo de retropropagación cuenta con N_i nodos de entrada y N_o nodos de salidas, lo particular de esta red son sus reglas de decisión en las cuales maneja tanto criterios de aceptación como de rechazo [8].

2.4. Decisión.

Después de un largo proceso para poder realizar el reconocimiento de la firma, es necesario culminar con la medida de un índice de comparación entre la información almacenada y la información introducida por un usuario en un momento cualquiera de acceso al sistema. Este índice permitirá tomar una decisión acerca de si la identificación /verificación es satisfactoria o no lo es [1].

Existen varios métodos para realizar esta tarea, estos pueden ser: estadísticos, curvas de DET (Descritos en Apéndice F) y redes neuronales. Algunos se ocupan de forma independiente, pero otros se utilizan en forma conjunta. A continuación se detalla el método propuesto para utilizarse:

2.4.1. Mediante el uso de redes neuronales

Verificación.

Las redes neuronales son una gran herramienta tanto en el proceso de reconocimiento de patrones como en proceso de verificación, muchos de los sistemas de autenticación de la firma, dejan ambos procesos a la red neuronal, por lo que, para ello ocupan reglas de aceptación o rechazo, como es el caso del sistema elaborado por Robert Sabourin y Jean –Pierre Drohourd [8], en el cual ocupan cuatro reglas que son:

1. Usar únicamente valor máximo de salida de la red sin ningún criterio de rechazo.
2. El criterio de rechazo es $[ABS(Y_1-Y_2)>T_1]$
3. El criterio de rechazo es $[MAX(Y_1,Y_2)>T_1]$ y $[ABS(Y_1-Y_2)>T_1]$
4. El criterio de rechazo es $[MAX(Y_1,Y_2)>T_1]$

Donde Y_i es la salida máxima deseada y T_i es el valor del umbral.

Las redes neuronales son probadas con cada una de estas reglas para después realizar comparativas y decidir que regla es la apropiada.

Otras redes se apoyan en otros métodos para lograr esto, como es el caso del reconocimiento de un cheque bancario [6], el cual utiliza una aproximación al comportamiento de una función discriminante de Bayes.

También existen casos en los que la red arroja 1 si es verdadera y 0 si es falsa y para evaluar el funcionamiento de ésta, se ocupa las funciones de distribución acumulativa (CDF) [5].

2.4.2. Evaluación y Rendimiento.

Para poder llevar a cabo la tarea de evaluación de los sistemas de reconocimiento de firmas, es necesario realizar una comparación de las tasas de error que son generadas por dichos sistemas.

En esta sección se mostraran las ecuaciones para generar estas tasas y poder realizar de esta manera una evaluación de nuestro sistema y ver su rendimiento, dichas ecuaciones fueron desarrolladas por James Wayman [20].

2.4.2.1 Tasa de comparación única de falsa aceptación

Una comparación única de falso aceptado ocurre cuando una muestra es incorrectamente aceptada en una plantilla en una base de datos por una decisión de un subsistema causada por que la medida de distancia entre las dos que resultado menor que el umbral, τ , establecida por la política de decisión. La tasa de comparación única de falso aceptado, $FMR(\tau)$ puede ser calculada por medio de la integral de la función de distribución del impostor, $\psi_I(D)$, desde cero hasta el umbral, como:

$$FMR(\tau) = \int_0^{\tau} \psi_I(D) dD \quad \dots (1)$$

que se incrementa con el incremento en el umbral de decisión. Aunque en la práctica τ podría ser usado independientemente, nuestro análisis considerará τ como un valor único arreglado para cada usuario. La tasa comparación única de falso aceptado puede ser vista en la Figura 2.5 como el área bajo la curva de ψ_I entre el origen y el τ [20].

2.4.2.2. La tasa de comparación única de falso rechazo.

La comparación de falso rechazo ocurre cuando una muestra es incorrectamente no aceptada en una plantilla de concordancia verdadera para un subsistema de decisión causada por que la distancia entre las dos es más grande que el umbral predefinido. La tasa única de comparación de falso no aceptado es de, $FNMR(\tau)$, puede ser dada como:

$$FNMR(\tau) = \int_{\tau}^{\infty} \psi_G(D) dD = -1 \int_0^{\tau} \psi_G(D) dD \quad \dots (2)$$

donde $\psi_G(D)$ es la función de distribución de probabilidad genuina. $FNMR(\tau)$ se decrementa con el incremento en el umbral de decisión. La tasa de comparación única de falso rechazo puede verse como la Figura 2.5 como el área bajo la curva de ψ_G en lado derecho de τ . Es claro que las ecuaciones de las tasas de falsa aceptación y de falso rechazo representan factores en competencia basándose en

el umbral y que se pueden establecer en base en riesgos comparativos de los errores en los sistemas de falsa aceptación y falso rechazo [20].

Tasa de Comparación de Hardware.

La tasa de comparación "uno-uno" o "aceptación en frío", C , es el número de comparaciones por segundo, para una muestra única en una plantilla única de la base de datos, realizada por el Hardware. Es una función de la velocidad de procesamiento de Hardware, el tamaño de la muestra, y la eficiencia para el algoritmo de aceptación. La disponibilidad de sistema debe ser considerada cuando el número de predicciones y comparaciones que pueden realizarse sobre periodos de tiempo mayores, como un día o un mes.

La arquitectura de gran escala (N grande) para los sistemas biométricos es modular, en el sentido de que la velocidad de procesamiento se puede diseñar para alcanzar siempre cualquier requerimiento, aunque no hay duda que hay un límite en la velocidad cuando los requerimientos son muy grandes. En general, una comparación única debe de tomar como mucho unos pocos millones de operaciones [20].

2.4.2.3. Distribuciones de distancia "Genuina", "Impostor" e "Interplantilla"

Otro punto que se puede discutir en este apartado es la representación gráfica de histogramas que se aproximen a las funciones de distribución de probabilidad de una distancia "Genuina", "Impostora" e "Interplantilla", propuestos por Wayman [20].

Para comenzar es necesario definir " D ", que es el escalar positivo enviado del modulo de Reconocimiento de Patrones al modulo de decisión en un sistema biométrico (Figura 2.1), para cada comparación de una muestra de plantillas. Podemos presumir, sin perder la generalidad, que D se incrementa con la diferencia de incrementos entre la muestra y la plantilla. Llamaremos a esta medida una "Distancia", reconociendo que esta será tal, si solo si, técnicamente resulta de un vector de comparación en un espacio métrico [20].

Llamaremos a la distribución "Genuina" $\psi_G(D)$, como se muestra en la Figura 2.5. Es dependiente de ambos del dispositivo y de la medición. Esta distribución "Genuina" es una medida de la repetitividad de un patrón biométrico. La repetitividad es impactada en forma negativa por cualquier factor que cause cambios en la medición. Tales factores generalmente se acumulan con el tiempo, así que la distribución "Genuina" parece dispersarse en la dirección del incremento de distancia en el paso del

tiempo. Este fenómeno es llamado "Envejecimiento de la plantilla", aunque la muestra cambie, no la plantilla almacenada, es responsable de este decremento de repetitividad.

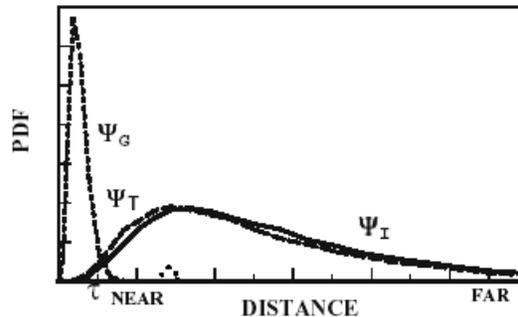


Figura 2.5. Gráfica de histogramas que representan las funciones de probabilidad de la distancia "Genuina", "Impostor" e "Inter-plantilla", la relación entre ellas y el umbral; ejemplo propuesto por Wayman [20].

De forma similar para una serie de comparaciones de muestras entre diferentes usuarios, o de plantillas no propias, podemos construir un histograma que aproxime la función de probabilidad de la distancia del "Impostor", $\psi_I(D)$. Existen varios caminos para realizar esto. El histograma "Impostor", puede construirse con la comparación de cada muestra con una única plantilla no propia [20].

Consecuentemente para todas las aproximaciones excepto todas aquellas que comparan cada muestra a una única plantilla no propia, el histograma resultante para la distribución del impostor es mucho más suave que el histograma usado para construir la distribución del "genuino", incluso si se utilizó el mismo número de puntos para datos independientes para la construcción de ambas. Sin embargo, el número de comparaciones independientes ("grados de libertad") resultante de cada método, necesitó el desarrollo de intervalos de confianza, que no puede exceder el número de muestras independientes.

En forma ideal las distribuciones genuina e impostar estarán separadas (no traslapadas), permitiéndonos discriminar completamente entre comparaciones genuina e impostor utilizando un umbral de distancia [20]. Por supuesto, este caso nunca se da en la práctica; pues una parte del problema reside en las grandes distancias entre muestras y las plantillas de concordancia verdaderas causadas por los cambios en la medida biométrica subyacente, del censor de esta presentación, o el mismo censor. Se ha notificado, en la práctica, que $\psi_G(D)$ es usualmente bimodal, la segunda moda coincidente con la primera moda de $\psi_I(D)$. Esto significa que los cambios en las medidas biométricas, o de esta presentación, han causado que el individuo claramente parezca un impostor [20]. Se realiza la hipótesis que en un sistema general, la distancia "genuina" no se incrementa lentamente con los cambios en los patrones biométricos, pero sufre incrementos rápidamente con los cambios al pasar un

umbral particular. En cualquier caso, un sistema biométrico en general muestra un significativo sobre posición en las colas de las distribuciones de "impostor" y "genuino".

Existe una tercera distribución, la distribución inter-plantilla, $\psi_T(D)$, la cual expresa las particularidades entre las plantillas. En la práctica, únicamente las plantillas y las distancias de comparación genuina pueden estar disponibles para el investigador. Las muestras reales pueden ser descartadas por el sistema. En el caso de un sistema que crea plantillas de una única muestra, las muestras son plantillas. En este caso, la distribución de inter-plantilla es idéntica a la distribución del impostor.

El un sistema biométrico general podría utilizar muestras tomadas de una única sesión de "en rol" para crear la plantilla, o puede actualizar la plantilla al hacer movimiento del porcentaje ponderado de las muestras presentadas a través del tiempo. Los modelos de simulación nos han mostrado que, en estos casos, la distribución inter-plantilla es más cercana al origen que la distribución del impostor, y consecuentemente, no es un buen representante para calcular la relación entre la tasa de "falso aceptado" y "falso rechazado" como función de umbral de decisión.