

CAPITULO 4

DISEÑO DEL SISTEMA PARA LA VERIFICACIÓN DE LA AUTENTICIDAD DE UNA FIRMA AUTÓGRAFA OFF-LINE PROPUESTO

Para la elaboración de los módulos que conforman el sistema de verificación automática off-line fue necesario realizar la siguiente serie de consideraciones, mismas que obedecen al diagrama propuesto por Wayman [1], al cual se le aplicaron las siguientes modificaciones, para su adecuación al caso de estudio.

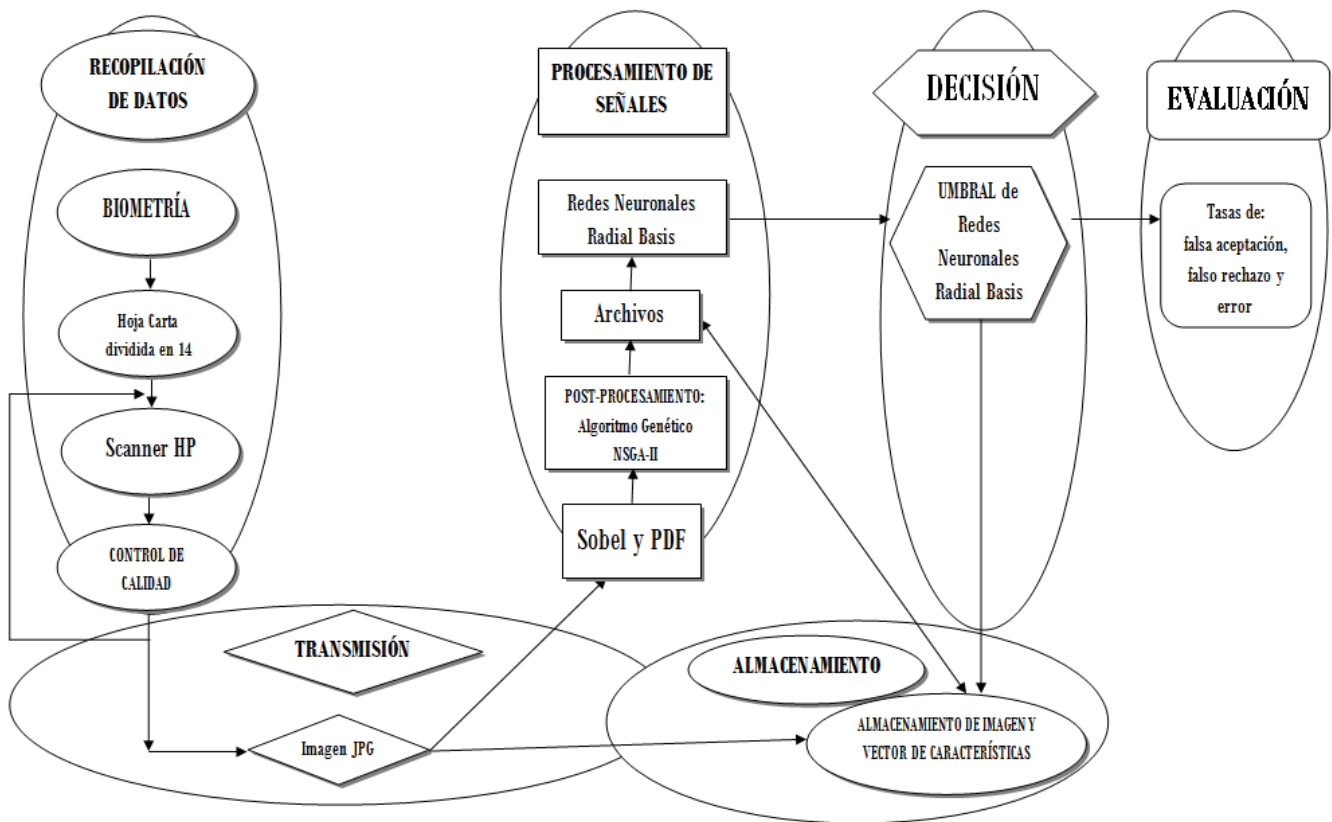


Figura 4.1. Diagrama tipo Wayman Modificado para su adecuación a las necesidades derivadas de las características propias del análisis off-line de una firma autógrafa.

4.1. Recopilación de Datos.

La adquisición de los datos se realizó por medio de hojas de papel bond blanco tamaño carta. Con 14 divisiones, ordenadas en 2 columnas y 7 renglones. Cada división fue de 9 cm de largo por 3.1 cm de ancho. Como la que se muestra en la Figura 4.2.

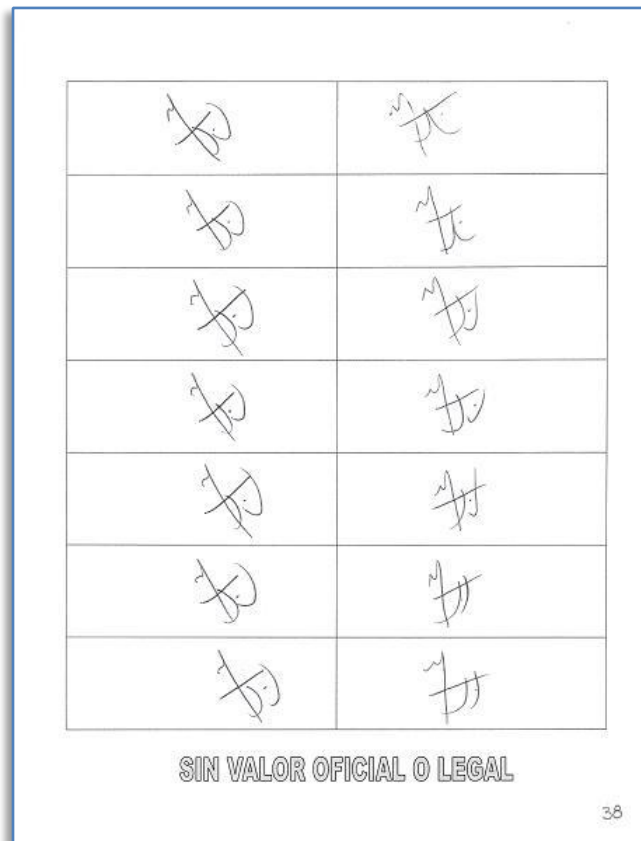


Figura 4.2. Ejemplo del formato de recolección de firmas utilizado que contiene un conjunto de firmas válidas para su utilización en el proyecto

Se enrolaron 42 personas que estamparon su firma 7 veces y que imitaron la firma de alguien más en igual número de ocasiones. La información recabada entonces constó de 588 grafos: 294 firmas originales y 294 falsificaciones.

Para esto se solicitó a los participantes que firmaran con bolígrafo negro de punto mediano y que realizaran la firma dentro de los límites de cada rectángulo.

Posteriormente todos los formatos tamaño carta fueron escaneados mediante el scanner del *Equipo Multifunción HP PSC 1315*.

Después, seleccionamos las firmas válidas para su ingreso al sistema, es decir, aquellas firmas que estuvieran contenidas completamente dentro del rectángulo establecido para ellas. Condición establecida previamente como necesaria para que un conjunto de grafos fuera ingresado.

Esta selección de firmas tuvo como resultado la eliminación de una sola hoja, debido a que algunos de los grafos ahí estampados invadían o se superponían a los límites del rectángulo donde debían estar contenidos, condición que consideramos como necesaria para enrolar a cualquier individuo para formar parte del proyecto. Por lo que finalmente se enroló un total de 41 individuos, lo que representa 574 firmas: 287 originales y 287 falsificaciones.

4.2. Transmisión.

Esta etapa no fue necesaria debido a que todo el proceso se realizó en una sola computadora. Sin embargo, es necesario aclarar que la compresión de datos tal como se mencionó en el punto 4.1 está dada por la salida proporcionada por el scanner, por lo que se trata de un archivo con una compresión tipo JPG en escala de grises.

4.3. Reconocimiento de Patrones.

4.3.1. Extracción del vector de características.

Pre-procesamiento.

Se realizó con la finalidad de segmentar la imagen original en cada una de las 14 imágenes individuales de firmas. En este caso, el pre-procesamiento se realizó a través del método de Gradiente de Sobel, mismo que sirvió para detectar los bordes de la tabla contenida en la hoja blanca (formato de adquisición de firmas) que delimita cada rúbrica para poder encontrar los puntos de corte tanto verticales como horizontales tal como se muestra en la figura 4.2.

Posteriormente, se establece un umbral de activación tanto para los bordes horizontales como verticales. Ya que varios puntos sobrepasan dicho umbral y es necesario uno solamente, se calcula la derivada sobre el vector de índices para incluir sólo los cambios importantes. Una vez obtenida ésta, se definió un segundo umbral de activación sobre la derivada este umbral que es efectivamente el

tamaño de la señal (numero de renglones) de cada firma a extraer. A continuación se encontraron los índices que exceden el umbral de activación sobre la derivada, se definieron los cortes respecto a la señal de índices original.

Aislamos la señal de la firma dejando cierta holgura para evitar que se incluyeran los bordes de los marcos, recurrimos a las diferencias nuevamente para determinar el tamaño de cada segmento, dividimos entre 2 para determinar un desplazamiento o padding de corte, incluimos un cero al final para que fuera posible conformar las operaciones matriciales. Los cortes definitivos resultan de las anteriores más el padding, al transponerlo y redefinir los cortes como parejas renglón inicial y renglón final sólo tomamos los 7 primeros que corresponden con las firmas. Lo que da como resultado firmas individuales tal como se muestra en la figura 4.3.

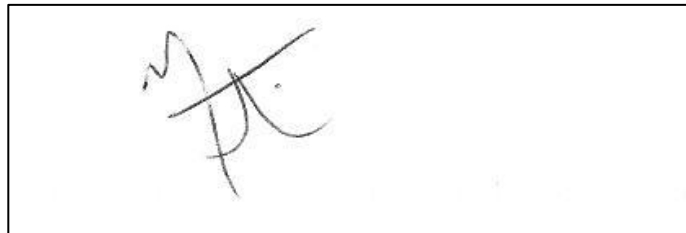


Figura 4.3. Firma recortada obtenida a partir de la plantilla utilizando Gradiente de Sobel para destacar los bordes y encontrar los puntos de corte.

Extracción del vector de características.

La extracción del vector de características se realizó a través de Función de Densidad de Probabilidad para cada una de las 560 firmas. Este proceso se describe en forma general en el capítulo 2, por lo que en este apartado sólo se hará mención de los cambios que fueron necesarios para el caso que nos ocupa. Mostrándose también algunos ejemplos de los histogramas resultantes.

Los cambios sobre la idea original [8] se realizaron al obtener los valores de la dirección del gradiente, en vez de adicionar $\Pi/2$ se sumaron 2Π . Esto se debió a que se utilizó la función atan2 de Matlab, que preserva el valor de las ordenadas, tanto para valores positivos como para negativos. Al agregar el valor de 2Π se logró utilizar el rango completo de ángulos proporcionados por la función atan2.

Por esto la fórmula en cuestión se modificó, quedando de la siguiente manera:

$$\theta(m, n) = a \tan 2 \left(\frac{G_y}{G_x} \right) + 2\pi \quad \dots (1)$$

La información de la dirección $\theta(m,n)$ ha sido limitada por el rango $0 \leq \theta(m,n) < 2\pi$, por lo tanto $H_w(\theta_i)$ es valuada para el rango de θ_i con un incremento de grado y está definida por:

$$H_w(\theta_i) = \sum_{m=1}^{N_m} \cdot \sum_{n=1}^{N_n} \lambda_w(\theta_i, m, n) \quad \dots (2)$$

$$\text{Donde } \lambda_w(\theta_i, m, n) = |\nabla|(m, n) \quad \dots (3)$$

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

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

$$\text{Si no } \lambda_w(\theta_i, m, n) = 0 \quad \dots (4)$$

$$\text{Con } \Delta_\theta = \frac{2\pi}{360} \quad \dots (5)$$

Por efecto de las ecuaciones (3) y (4) anteriores, que entregan más peso a la localización de píxeles en los pasos de los niveles de grises siguiendo la línea de la firma, es posible disminuir gradualmente la influencia del ruido residual localizado en el área del fondo.

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

$$F_w(\theta_i) = \frac{H_w(\theta_i) - Md(H(\theta_i))}{Ds(H(\theta_i))}, \text{ para todo } \theta_i \quad \dots (6)$$

Donde el valor discreto de la direccionalidad θ_i , está definido en el rango de $0 \leq \theta_i < N_\theta$ con $N_\theta = 360$. Entendiéndose Md como la media y Ds como la desviación estándar. Esta normalización es una contribución original de este trabajo y se incluye para disminuir la influencia de componentes dominantes de los vectores PDF.

Post-Procesamiento.

Para mayor claridad, el post-procesamiento se expone en dos partes:

1. **Filtro.** Se uso un filtro direccional $F_w'(\theta)$ definido para suavizar $F_w(\theta)$ con una distribución binomial [8] en el lapso de siete canales teniendo:

$$F_w'(\theta_i) = \frac{1}{64}F_w(\theta_i - 3) + \frac{3}{32}F_w(\theta_i - 2) + \frac{15}{64}F_w(\theta_i - 1) + \frac{5}{16}F_w(\theta_i) + \frac{15}{64}F_w(\theta_i + 1) + \frac{3}{32}F_w(\theta_i + 2) + \frac{1}{64}F_w(\theta_i + 3) \quad \dots (7)$$

A continuación se muestra la gráfica obtenida para el enrolado 1, después de aplicarse el filtro binomial.

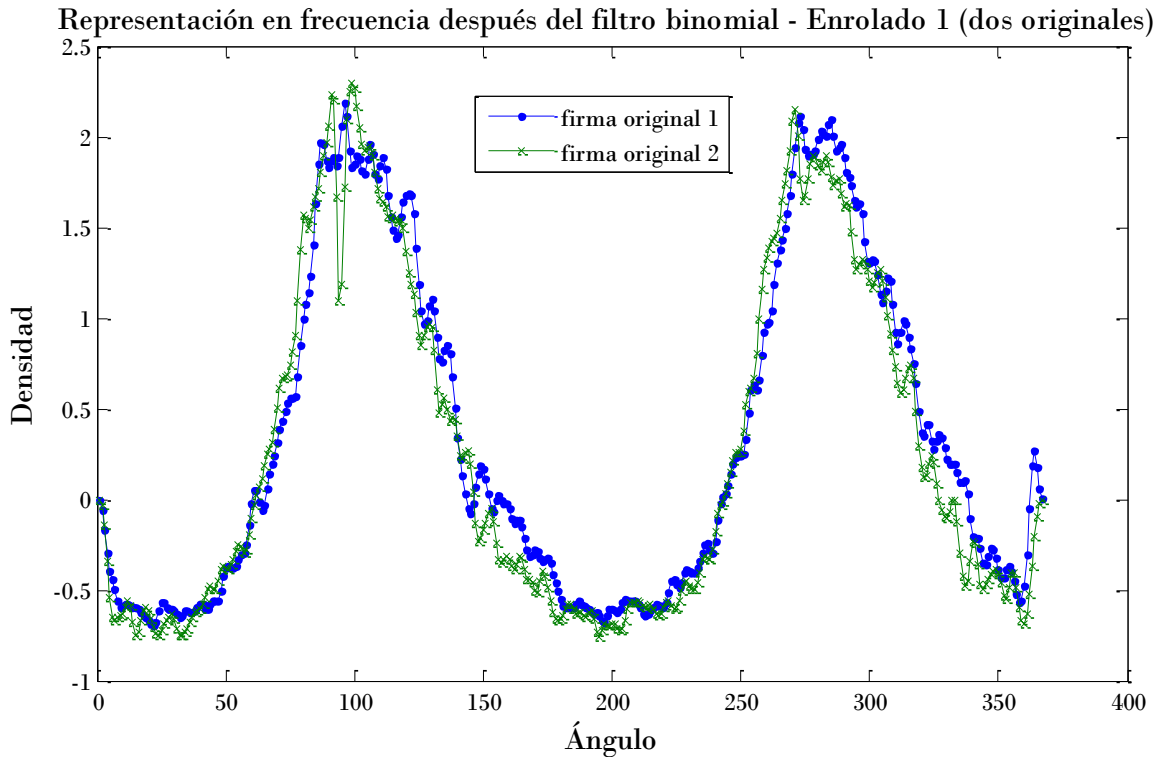
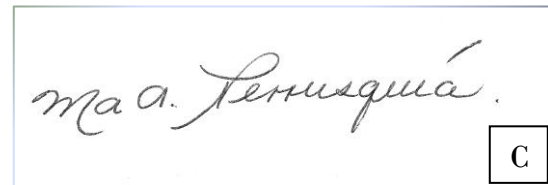
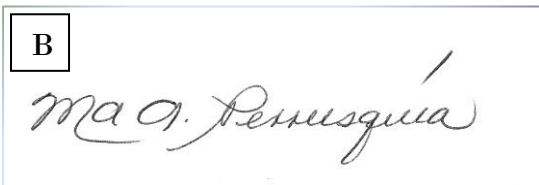
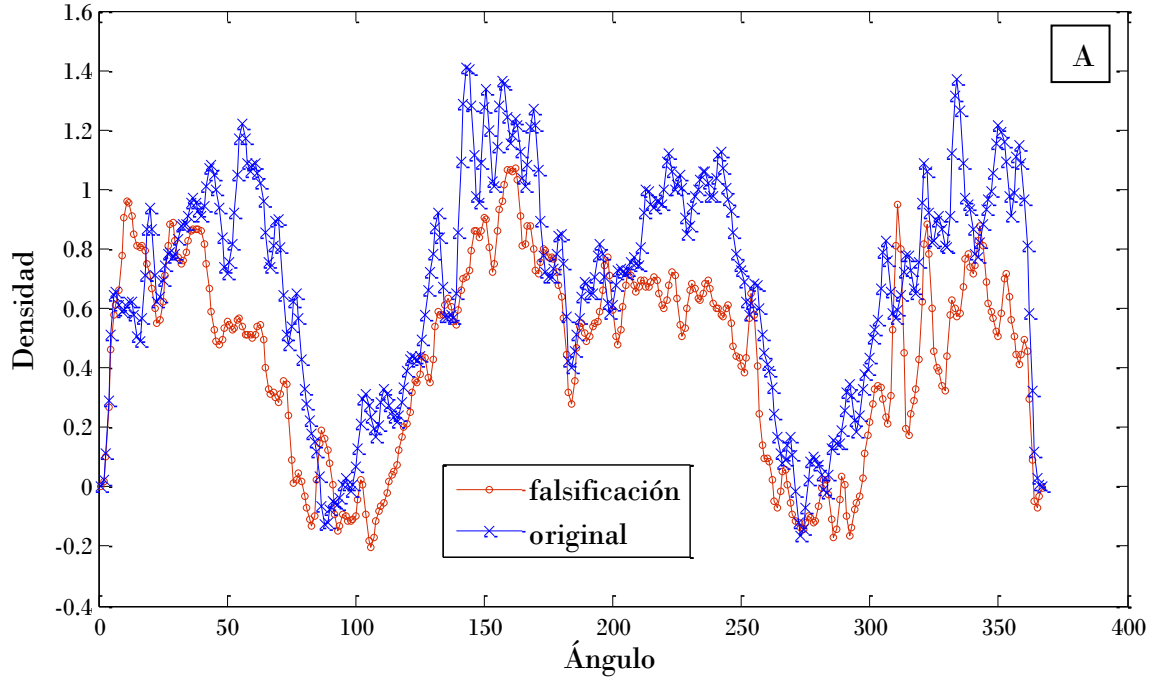


Figura 4.4. En esta figura se muestran dos vectores de características correspondientes a 2 firmas originales del enrolado 1, en el eje de las abscisas se describe la densidad y en el de las ordenadas el ángulo. Como puede observarse el eje de las ordenadas describe más de 360, esto se debe a la aplicación del filtro binomial.

Como puede verse en la Figura 4.4 la variación entre los vectores de características de 2 de las firmas para el primer enrolado no es significativa. En este caso, la curva correspondiente al segundo grafo obtenido para ese individuo, etiquetada como *Original 2*, presenta una magnitud mayor que la curva etiquetada como *Original 1* en los rangos de 27 a 50 y de 202 a 259.

Representación en frecuencia después de filtro binomial: firma original vs. falsificación (Enrolado 35)



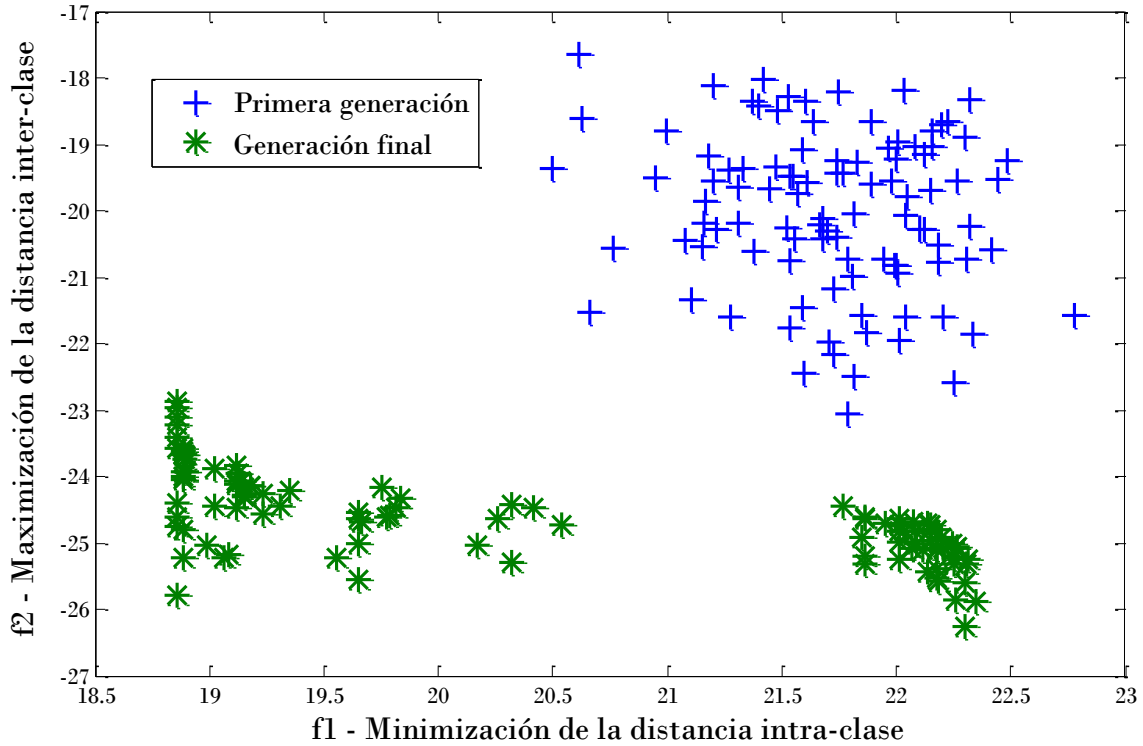
Figuras 4.5. Vectores de una firma auténtica y una falsificación de una de las personas enroladas y sus correspondientes grafos.

- A. En este gráfico se muestran dos vectores característicos que pertenecen a una falsificación y una firma original del enrolado 35; observamos que la grafica de falsificación no presenta coincidencias para la mayoría de los puntos y que las distancias entre las no coincidencias son amplias. Aunque, existen rangos donde los puntos o el comportamiento de las graficas son similares.
- B. Primer firma original plasmada por el enrolado 35 representada en la figura A por el histograma cuyos puntos están marcados con “x”
- C. Falsificación del tipo *skill forgery* obtenida tomando como base la rúbrica presentada en la figura B y cuyo histograma está marcado en la figura A con “o”

2. **Submuestreo.** Este proceso se realizó con la finalidad de obtener regiones representativas de cada una de las firmas, pues al observar las representaciones que ejemplifica la figura 4.5, se notó la existencia de áreas de coincidencias o de comportamientos similares entre las firmas.

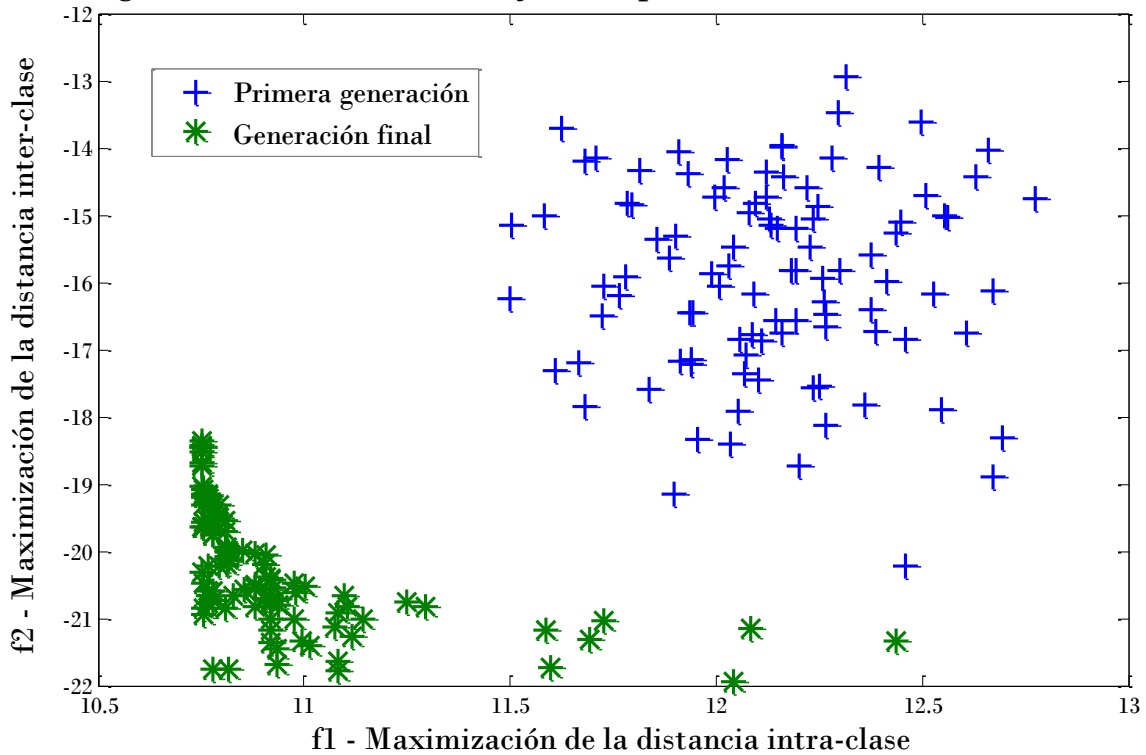
Para poder llevar a cabo esta labor se utilizaron algoritmos genéticos multiobjetivo; ya que estos nos proporcionan la ventaja de optimizar más de un objetivo a la vez, esta es la razón de que se utilizara NSGA-II [42] descrito en el Capítulo 3. En la Figura 4.6 se muestran las gráficas de soluciones obtenidas para la firma de los enrolados 1 y 35.

Algoritmo Genético Multiobjetivo tipo Pareto NSGAI - Enrolado 1



A

Algoritmo Genético Multiobjetivo tipo Pareto NSGAI - Enrolado 35



B

Figuras 4.6 A y B Comportamientos del Pareto NSGAI sobre los vectores característicos respectivos

En las figuras 4.6 A y B se muestra la representación de la población inicial (+), y la población final (*), para las firmas después de haber aplicado el algoritmo genético del tipo NSGA-II en 600 generaciones de 100 individuos. Cada individuo representa una máscara de submuestreo aplicada a los vectores de características obtenidos con PDF. Para la simulación se utilizaron los vectores siguientes:

- 4 vectores de firmas originales del enrolado en cuestión
- 4 vectores de firmas falsificadas también del enrolado en cuestión
- 4 vectores de firmas originales de diferentes enrolados obtenidos aleatoriamente para cada iteración.

El eje de las ordenadas corresponde al objetivo f_1 , minimizar la distancia intra-clase, es decir la distancia entre los grafos del mismo enrolado. El eje de las abscisas comprende el objetivo f_2 , maximizar la distancia inter-clase, es decir la distancia entre los grafos de un enrolado y los no generados por éste.

$$f_1 = \sum_{i=0}^4 (Do_{ij})$$

$$f_2(t) = \sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^4 (Df_{ij} + Da_{ij}(t))$$

Un individuo perteneciente a la población final obtenida mediante el NSGA-II se convertirá en una máscara individualizada para una persona enrolada. Dicho individuo se obtendrá mediante un medoide.

Dicho medoide se calculó al obtener una matriz de distancias de la Población Final. Al sumar los elementos por columna, se obtiene el índice del elemento con el menor valor, el cual nos indica el medoide que es valor más representativo de la Población Final. Tal como se ilustra en la figura 4.7 para el enrolado 35.

Después de que se identifica la máscara, ésta es aplica al vector de características proporcionándonos la gráfica de la Figura 4.8.

Algoritmo Genético Multiobjetivo tipo Pareto NSGAI - Enrolado 35

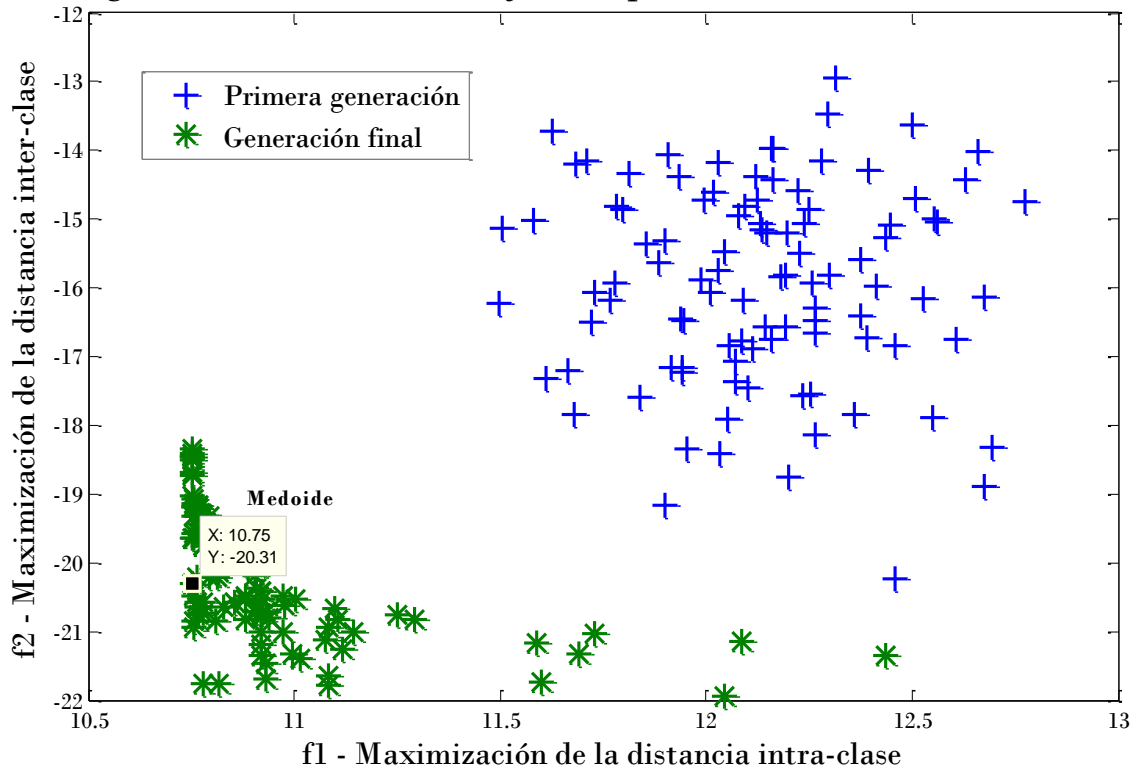


Figura 4.7. En esta figura se ilustra la ubicación del medoide que fue tomado como máscara.

Aplicación de la máscara al vector de características

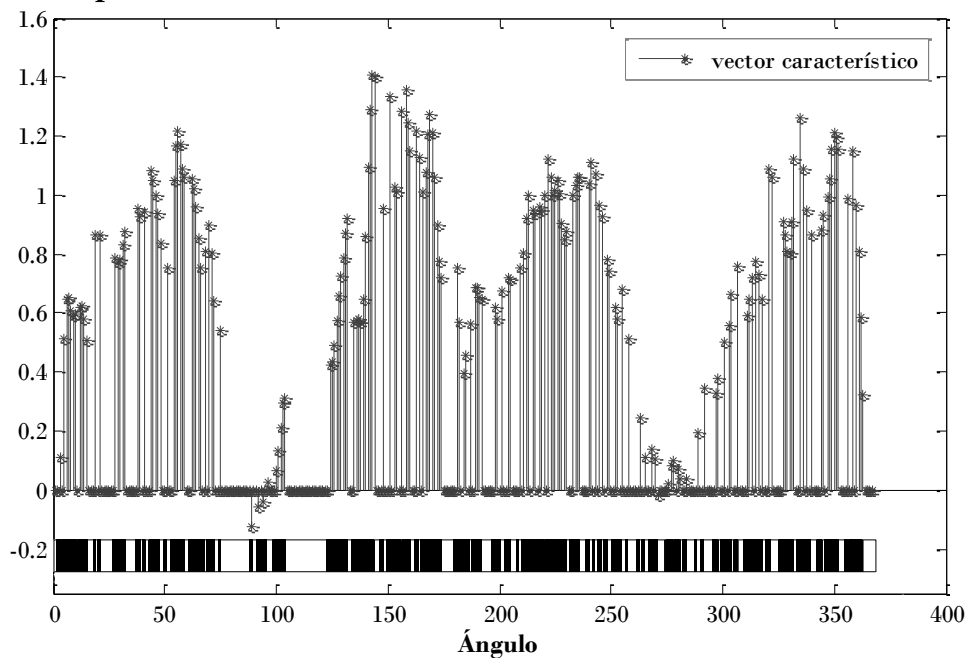


Figura 4.8. Como se ilustra en la gráfica, la máscara nos proporcionó las áreas representativas de cada uno de los vectores de las firmas de cada enrolado, pues recordando que en sus curvas en frecuencia se observan los comportamientos que pueden considerarse como los más complicados debido a los cruces y las superposiciones entre las curvas originales y sus falsificaciones.

La Figura 4.8 muestra el comportamiento del enrolado 35. Que se utilizará en el nodo de entrada de la red neuronal individual tipo Radial Basis que finalmente tomará una decisión respecto a la autenticidad del grafo a prueba.

4.3.3 Almacenamiento de Datos

Para este proyecto decidimos conservar todos los datos obtenidos desde la adquisición, por lo que contamos tanto con las hojas de formato llenas como con lo que propiamente conforma un *Almacén de datos biométricos*, es decir las firmas escaneadas y recortadas y los vectores de características asociados a éstas.

Las firmas digitales se encuentran en un sistema ficheros de formato JPG ordenados de acuerdo al número asignado al enrolado y al número de rubrica de que se trate de 1 a 7 en orden ascendente con los prefijos "o" y "f" de acuerdo al tipo de firma del que se tratara original o falsificación.

Los vectores de características también se encuentran ordenados en forma similar.

Tenemos dos conjuntos de estos vectores: Uno que contiene toda la información en frecuencia correspondiente al grafo en cuestión. El otro que conserva solamente la información que de acuerdo al algoritmo genético aplicado se consideró como relevante para el análisis de las firmas.

Todos los archivos se encuentran en el árbol de carpetas que se describe a continuación

bd firmas

Escaneadas Almacén de hojas de formato escaneadas

Firmas

ES Contiene firmas JPG recortadas

M Máscaras de submuestreo

RB Contiene centroides, matrices de pesos (W), (ϕ) y desviaciones estándar (ds)

VC Vectores de características

4.3.4 Reconocimiento de Patrones.

Este proceso se lleva mediante una Red Neuronal de Base Radial; pues esta es de carácter Local ya que las funciones alcanzan un nivel cercano al máximo de su recorrido cuando el patrón de entrada $f_k(n)$ está próximo al centro de la neurona.

Esta red consta de: una entrada que es el Vector Característico afectado por la máscara, una capa intermedia (centroides), una función de base radial (ϕ), función de activación (ds), pesos (W) y una salida, tal como se muestra la **Figura 4.9**.

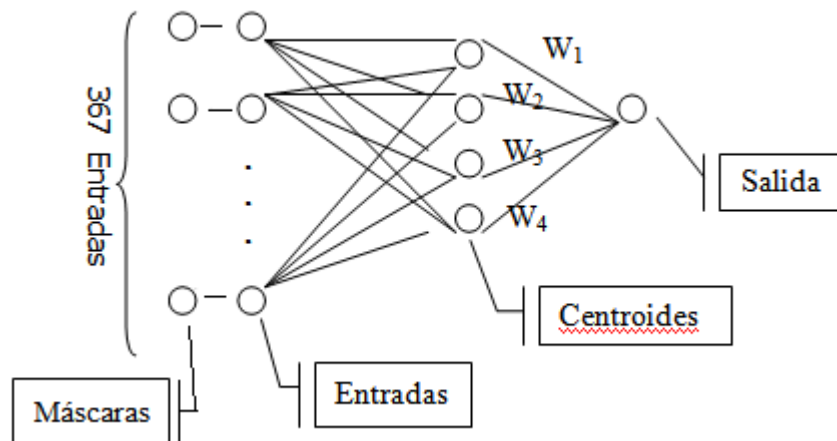


Figura 4.9. Esquema de la red Radial Basis Utilizado

Para la fase de entrenamiento, se tomaron como centroides cuatro de las firmas originales y se afectaron con la máscara de submuestreo obtenida con el algoritmo genético. A partir de los centroides se obtuvieron los pesos; representados por una matriz; para esto fue necesario obtener tanto ϕ como D [43]; teniendo en cuenta que esto son para cada persona enrolada.

4.4. Decisión.

En esta fase se determinó un umbral por cada enrolado; con éste se estableció si la firma era falsa o verdadera. Para calcular el umbral se evaluaron las 4 falsificaciones entrenadas de prueba y 4 falsificaciones aleatorias en la red neuronal. El umbral de decisión, en general diferente, para cada uno de los enrolados se definió como la suma del valor de respuesta máximo τ_{\max} más un porcentaje del mismo $T(\tau_{\max}, \alpha) = \tau_{\max} + \alpha \tau_{\max}$.

Una vez terminada la fase de entrenamiento de la red neuronal guardamos los siguientes parámetros necesarios para poder continuar con la fase de verificación:

1. Centroides.
2. Función de base radial
3. Función de activación (ds)
4. Matriz de Pesos (W)

Al realizar la fase de verificación en la red neuronal para cada firma se obtuvo un único valor resultante. Este valor se comparó con el umbral. Cuando el resultado fue mayor, entonces se corroboró que la firma era original, cuando fue menor se consideró como una falsificación.

4.5. Evaluación.

Para el análisis de resultados se propuso, probar el sistema con varios umbrales. Para obtener dichos valores de umbral se realizaron tanto incrementos como decrementos en porcentaje del valor máximo obtenido al probar en la red neuronal 4 Firmas Falsificadas Entrenadas.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla siguiente:

Δ umbral	FR	FA skill	FA random
-96.50%	8.13%	26.83%	8.17%
-96.30%	8.13%	26.83%	8.15%
-96.25%	8.13%	26.86%	8.11%
-96.20%	8.13%	26.83%	8.09%
-96.00%	8.13%	26.83%	8.03%
-95.00%	8.13%	26.02%	7.80%
-80.00%	10.57%	23.58%	5.75%
-60.00%	10.57%	21.14%	4.90%
-40.00%	12.20%	18.70%	4.39%
-20.00%	12.20%	15.45%	4.07%
-15.00%	12.20%	14.63%	3.96%
-10.00%	13.01%	13.01%	3.84%
-5.00%	13.82%	12.20%	3.82%
-1.00%	15.45%	12.20%	3.80%
1.00%	15.45%	12.20%	3.76%
2.00%	16.26%	12.20%	3.76%
5.00%	17.20%	12.20%	3.64%
15.00%	22.76%	12.20%	3.64%

Tabla de Resultados: Porcentajes de Error de: Falso Rechazo de una firma original (**FR**), Falsa Aceptación de una falsificación entrenada (**FA skill**) y Falsa Aceptación de una falsificación aleatoria (**FA random**).

Como se muestra en la **Tabla de Resultados**, el porcentaje de Falsa Aceptación obtenido para las firmas aleatorias (*Random Forgeries*) es bajo. Esto muestra que la distribución de distancia inter plantilla se traslapa con la distribución de la plantilla genuina en muy poca área. Este resultado se logró gracias a que para el cálculo del umbral incluimos 4 firmas aleatorias, que afectaron el valor del umbral de tal forma que la mayoría de las firmas aleatorias fuera rechazada.

De la misma manera se observa que mientras menor sea el porcentaje en que se afecta al umbral, la tasa de falso rechazo (**FR**) disminuye sin embargo ésta no disminuye en forma lineal, como se observa en la gráfica Figura 4.10. La gráfica muestra la relación inversa entre la tasa de falso rechazo y las falsas aceptaciones tanto para falsificaciones entrenadas como para falsificaciones aleatorias. La gráfica ilustra que la caída en la tasa de falsa aceptación para falsificaciones aleatorias cae de manera prácticamente lineal con una pendiente moderada. El caso de la tasa de falsas aceptaciones para falsificaciones entrenadas cae rápidamente para estabilizarse pasando el punto de cruce (Equal Error Rate) con la gráfica de tasa de falsos rechazos.

Con respecto a "**FA skill**" tasa de Falsa Aceptación para las Firmas Falsificadas (*Skill Forgeries*), ésta es como se suponía inversa a **FR** ya que su comportamiento muestra que entre más bajo es el umbral es más alto este índice. Llegando a un total de 26.83%; también ilustrado en la Figura 4.10.

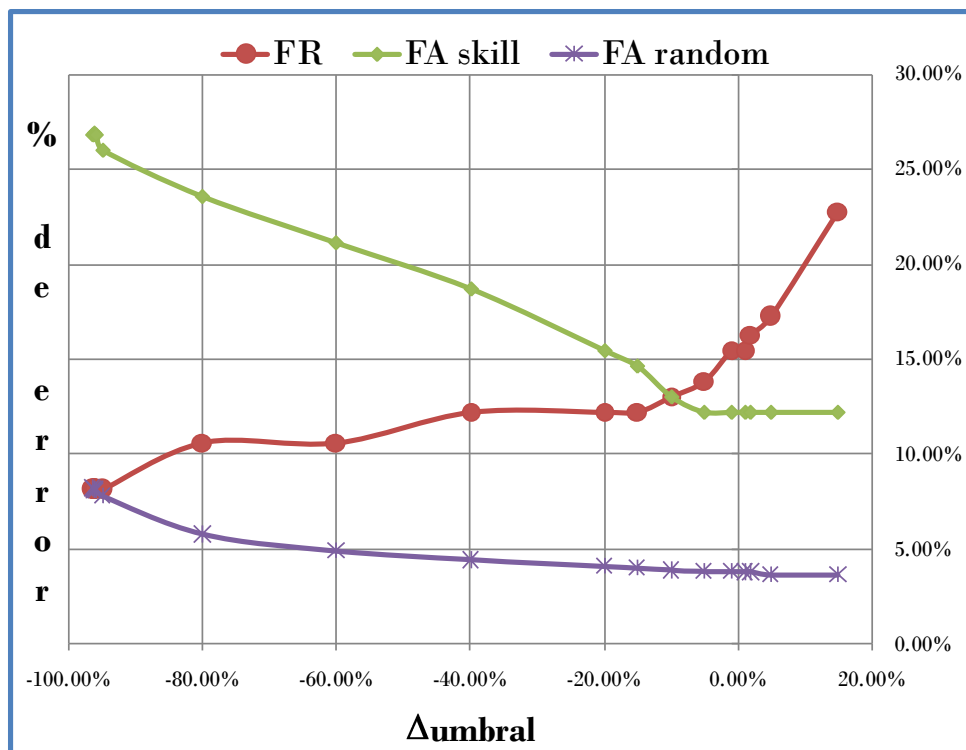


Figura 4.10. Representación gráfica del comportamiento de sistema con respecto a incremento del valor máximo obtenido (Δ umbral) al probar el sistema con 8 firmas autógrafas; compuesta con 4 firmas aleatorias y 4 firmas falsificadas.

A continuación se presenta la gráfica de distribución de distancias, en esta se observa como hemos mencionado, la distribución de cada una de las plantillas (genuina, falsificada e interplantilla):

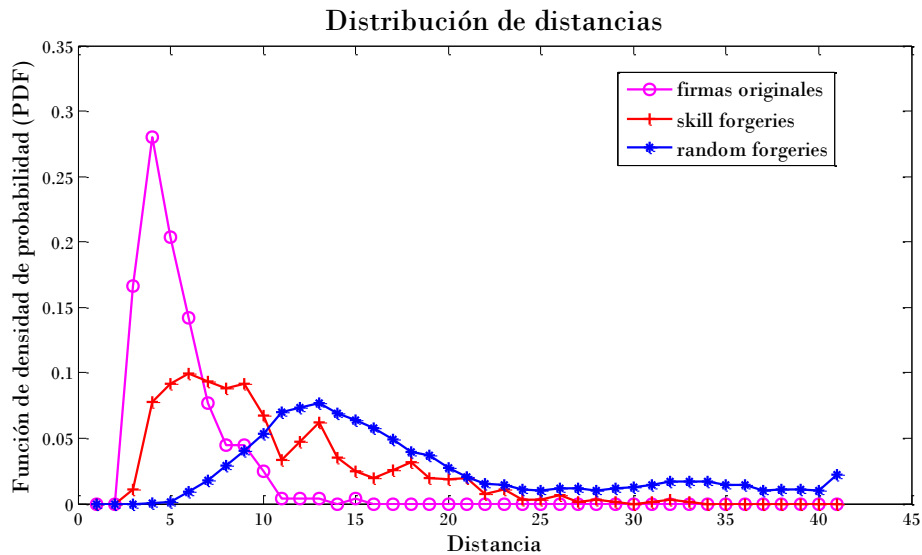


Figura 4.9. Distribución de distancias registrada para el proyecto

En la Figura 4.9 se observa que el comportamiento de distribución aleatoria tiene poco traslape, sin embargo la genuina y la falsificación tiene un traslape mayor por lo que los umbrales tienden ser de los más altos y más bajos según correspondan, estos puntos de cruce (Equal Error) se muestran sombreados en la tabla anteriormente mencionada.

De manera similar probamos los resultados arrojados por el sistema con el PDF sin la afectación de máscara y con una afectación de $\Delta_{\text{umbral}} = -10\%$. Obteniéndose los siguientes resultados:

Δ_{umbral}	FR	FA skill	FA random
-10.00%	16.26%	14.63%	4.96%

Se escogió probar al sistema sin la aplicación de una máscara con una afectación al umbral de -10.00% debido a que, en las pruebas realizadas con máscara, éste es el valor donde la tasa de falsa aceptación para falsificaciones entrenadas (**FA skill**) y la tasa de falso rechazo (**FR**) se igualan. Punto denominado como **Equal Error Rate**.

Como se puede observar en la tabla el valor obtenido en la tasa **FR** sin aplicar máscara es 3 puntos porcentuales mayor que la tasa obtenida con la misma, mientras que los valores de **FA skill** y **FA random** también presentan una mejora con la aplicación de la máscara. A pesar de que la diferencia entre los resultados arrojados por el sistema con y sin la aplicación de la máscara, si se reporta una ligera mejoría en el desempeño del sistema ya que los porcentajes de error en sus 3 variantes se redujeron después de la aplicación del Algoritmo Genético.