



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ALGORITMOS GENÉTICOS APLICADOS AL
RECONOCIMIENTO DE FIRMA AUTÓGRAFA**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN COMPUTACIÓN**

PRESENTAN:

CARINA CARDOSO SUÁREZ

Y

NURIA LOZANO PERRUSQUÍA

DIRECTOR:

ING. STALIN MUÑOZ GUTIÉRREZ



MÉXICO, D.F.

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Í N D I C E

INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO 1.....	7
RASGOS CARACTERÍSTICOS DE LA FIRMA	7
1.1. Tipos de escritura	8
1.2. Medios utilizados para la escritura	9
1.3. Definición de firma.....	10
1.4. Grafoscopia	11
1.4.1. Elementos Estructurales de la grafía.....	12
1.4.2. Elementos generales o formales de la grafía.	14
1.4.2.1. Trazos.....	14
1.4.2.2. Rasgos.....	15
1.4.3. Gestos gráficos.....	16
1.5. Falsificación de la firma	17
1.5.1. Tipos de Falsificación.....	17
1.6. Métodos en grafoscopia	18
1.6.1. Cotejo de la firma.....	18
1.6.2. Método Grafomorfológico.....	19
1.6.3. Método Grafométrico.....	20
1.6.4. Método Galtoniano.....	20
CAPÍTULO 2.....	22
SISTEMAS AUTOMATICOS PARA EL RECONOCIMIENTO DE LA AUTENTICIDAD DE UNA FIRMA AUTOGRAFA.....	22
2.1. Recopilación de Datos.....	23
2.1.1. Biometría.....	23
2.1.2. Presentación	26
2.1.3. Dispositivos de Captura.....	28
2.2. Transmisión.....	29
2.2.1. Compresión.....	29
2.2.2. Transmisión	30
2.2.3. Expansión	30
2.3. Procesamiento de señales.....	30
2.3.1. Extracción de Vector de Características.....	30
2.3.1.1. Binarización.....	30
2.3.1.2. Eliminación de ruido.....	31
2.3.1.3. Extracción de vector de características.....	32

2.3.1.4. Post-Procesamiento.....	34
2.3.2. Control de Calidad.....	35
2.3.2.1. Características directas de la imagen.....	35
2.3.2.2. Propiedades tomadas a partir del vector de características.....	36
2.3.3. Almacenamiento.....	36
2.3.4. Reconocimiento de Patrones.....	37
Redes Neuronales.....	37
2.4. Decisión.....	40
2.4.1. Mediante el uso de redes neuronales.....	40
2.4.2. Evaluación y Rendimiento.....	41
2.4.2.1 Tasa de comparación única de falsa aceptación.....	41
2.4.2.2. La tasa de comparación única de falso rechazo.....	41
2.4.2.3. Distribuciones de distancia "Genuina", "Impostor" e "Interplantilla".....	42
CAPITULO 3.....	45
ALGORITMOS GENÉTICOS.....	45
3.1. Terminología ocupada para AG.....	46
3.2. Operadores genéticos.....	47
3.2.1. Simples.....	47
3.2.2. Diversidad.....	49
3.3. Algoritmo.....	51
3.3.1. Pseudocódigo.....	51
3.3.2. Parámetros.....	53
3.4. Extensiones y Variantes.....	53
3.4.1. Coevolución.....	54
3.4.2. Paralelos.....	54
3.4.3. Locales.....	55
3.4.4. Multiobjetivo.....	56
3.5. Utilización en sistemas biométricos.....	60
CAPITULO 4.....	61
DISEÑO DEL SISTEMA PARA LA VERIFICACIÓN DE LA AUTENTICIDAD DE UNA FIRMA AUTÓGRAFA OFF-LINE PROPUESTO.....	61
4.1. Recopilación de Datos.....	62
4.2. Transmisión.....	63
4.3. Reconocimiento de Patrones.....	63
4.3.1. Extracción del vector de características.....	63
4.3.3 Almacenamiento de Datos.....	71
4.3.4 Reconocimiento de Patrones.....	72

4.4. Decisión.....	72
4.5. Evaluación.....	73
CONCLUSIONES.....	76
APÉNDICE A.....	78
PRUEBA PERICIAL GRAFOSCÓPICA.....	78
Prueba pericial.....	79
Clases de peritos.....	79
Dictamen.....	80
Dictamen pericial grafoscópico.....	82
Cadena de custodia.....	84
APÉNDICE B.....	85
MÉTODOS DE COMPRESION Y DESCOMPRESION.....	85
JPEG (Joint Photographic Expert Group).....	85
JPEG-LS / JPEG2000.....	85
JBIG.....	86
APÉNDICE C.....	91
MÉTODO DE OTSU.....	91
APÉNDICE D.....	95
MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA EXTRACCION DE VECTOR CARACTERISTICAS.....	95
Código extendido de Sombras.....	95
Blobs.....	96
Densidad Local.....	96
Morfología Matemática.....	97
Grafometría.....	100
APÉNDICE E.....	101
METODOS ALTERNATIVOS PARA RECONOCIMIENTO DE PATRONES.....	101
Hidden Markov Models (Modelos Ocultos de Markov).....	101
Mezclas Gaussianas.....	103
APÉNDICE F.....	105
MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA DESCISIÓN.....	105
Métodos estadísticos.....	105
HMM y Cross-Validation (Verificación).....	105
Curvas DET (Detection Error Tradeoff).....	106
Redes neuronales.....	106
BIBLIOGRAFÍA.....	108

I N T R O D U C C I Ó N

Hoy en día la manera más conveniente para identificarse dentro y fuera del ámbito legal es la firma autógrafa. Su inclusión es obligada en contratos, identificaciones y todo tipo de documentos financieros. La verificación de la autenticidad de una firma se realiza en la mayoría de los casos por una persona que compara de manera visual la firma genuina (firma en que se tiene la seguridad de que pertenece al autor) con la firma cuestionada (firma que se necesita comprobar). La persona decide tras la inspección visual si la firma es original o se trata de una falsificación. Este proceso de verificación no está libre de errores. Con el objetivo de disminuir los errores humanos de verificación es que se ha propuesto desarrollar sistemas automáticos de reconocimiento de firma.

Dependiendo del momento en que se presenta la firma autógrafa a los sistemas, estos se clasifican en dos. Los sistemas fuera de línea (off-line) y los sistemas en línea (on-line). Los primeros comprenden aquellos que requieren de dispositivos de adquisición de imágenes a partir de documentos previamente firmados. Los segundos se realizan con dispositivos especiales que permiten capturar información dinámica de la realización de la firma en el momento de su presentación al sistema. Los dispositivos más utilizados en sistemas fuera de línea son los scanners, mientras que para los sistemas en línea los dispositivos típicos son las tablas digitalizadoras.

El análisis y diseño de los sistemas biométricos se auxilia en muchas ocasiones de la conceptualización hecha por Wayman[1]. Wayman propone 5 subsistemas que interactúan para poder realizar tareas de reconocimiento automático: obtención de datos, transmisión de datos, procesamiento de señales, almacenamiento y decisión.

Aunque los lineamientos de Wayman son suficientemente generales, el diseño y utilización de herramientas en cada uno de estos subsistemas depende fuertemente del tipo de biometría, y de los requerimientos particulares de cada sistema. En este trabajo se discuten y aplican dichos lineamientos particularizándolos al tratamiento de firmas.

La obtención de datos se puede realizar de diferentes formas. En el caso de la adquisición de la firma se utilizan distintas tecnologías dependiendo si el sistema es en línea o fuera de línea. La elección depende de los requerimientos del sistema y posiblemente restricciones de operación o adopción.

El módulo de transmisión de datos participa una vez que se tiene la biometría. Dependiendo de la capacidad de transmisión del medio, peso de la biometría y restricciones en los tiempos de respuesta del sistema se decide si es necesario aplicar métodos de compresión o no.

El módulo de procesamiento de señales se divide a su vez en tres: extracción de características, control de calidad y reconocimiento de patrones. Cada uno de estos aspectos tiene diferentes métodos, como es PDF (Función de Densidad de Probabilidad) para extracción del vector de características o el código extendido de sombra que tiene la misma finalidad. Para el reconocimiento de patrones se pueden considerar metodologías matemáticas o de probabilidad, como Modelos Ocultos de Markov, Redes Neuronales y Mezclas Gaussianas.

El presente trabajo tiene como objetivo comprobar la hipótesis de que la aplicación de algoritmos genéticos dentro de algunos procesos en un sistema de reconocimiento de firma autógrafa off-line mejora el desempeño¹ del sistema.

Para lograr esta empresa se modificó el diagrama de Wayman colocando un nuevo módulo en evaluación ligado con el modulo de decisión. Los algoritmos genéticos multiobjetivo fueron utilizados para identificar los componentes relevantes de los vectores característicos.

En el primer capítulo se desarrolla la investigación de la firma y los rasgos que la hacen única, tales como los elementos generales grafoscópicos, los elementos estructurales, etc. Además se le estudia como un factor importante e influyente en la sociedad así como el papel jurídico que desempeña. Se proporcionan los argumentos necesarios para que el presente trabajo sea enfocado a la firma off-line; es decir a las firmas plasmadas con anterioridad en documentos. Este sería el caso de los contratos en el ámbito legal y en el terreno financiero el de los cheques.

Una vez que se definió que la firma a verificar sería off-line, se investigaron diversos sistemas de reconocimiento de firma autógrafa off-line identificándose métodos aplicables a los diferentes módulos del sistema. La recopilación de estos métodos así como una breve explicación de ellos se ven plasmadas en el capítulo dos.

¹ medido a través de las tasas de falsa aceptación y de falso rechazo

El capítulo tres presenta las bases teóricas de los algoritmos genéticos, desde su definición, antecedentes, descripción de su metodología, diversos operadores genéticos, el pseudocódigo, parámetros. También se incluyen extensiones y variantes como paralelos, locales y multiobjetivo concluyendo con una discusión acerca de la utilización de los algoritmos genéticos en los sistemas de reconocimiento biométrico.

Una vez comprendido el funcionamiento y las ventajas que ofrecen los algoritmos genéticos es momento para presentar el diseño y desarrollo del sistema de reconocimiento de firma autógrafa off-line. El diseño se basa en el diagrama de sistemas biométricos de Wayman, sin embargo, se hicieron algunas adaptaciones. El enrolamiento de las firmas es a través de un formato de 14 celdas en papel, éste es digitaliza y guarda en jpg, para después extraer su vector característico con PDF (Probability Density Function), que con ayuda de los algoritmos genéticos multiobjetivo se logra un submuestreo eficiente dando solo las áreas de importancia; este vector es la entrada de una Red Neuronal de Base Radial que realiza el reconocimiento de patrones y por último se utiliza un umbral personalizado para la decisión. Este sistema se documenta en el capítulo cuatro.

Teniendo un sistema de reconocimiento de firma entrenado se procede a evaluar su desempeño, para ello se lleva a cabo el análisis de los resultados con el objetivo de poder comprobar la hipótesis planteada. Dicho análisis es elaborado en el capítulo cuatro.

Por último teniendo los resultados de la evaluación se exponen las conclusiones sobre esta tesis.

C A P Í T U L O 1

RASGOS CARACTERÍSTICOS DE LA FIRMA

El estudio de las características de la escritura, en especial de la rúbrica ha preocupado a las diferentes culturas desde su invención misma. Es por esto que se han desarrollado métodos y herramientas para su verificación que han ido evolucionando con el tiempo. Cada sociedad ha decidido cuáles son las reglas a seguir para dar validez a un proceso de examen / verificación de escritura y por lo tanto de firma.

Es por esto que nos pareció importante exponer por una parte un poco de la historia de la escritura y la firma, así como evolución y características estructurales, para poder comprender más a cabalidad el caso de estudio. Por otra parte abordamos las reglas que existen para que un proceso de verificación de escritura / firma tenga valor en un proceso legal en México para así plasmar un panorama de las convenciones que existen en nuestro país en el tema.

A continuación pasamos a la exposición de los puntos antes mencionados.

Una muestra clara de la evolución del ser humano es la creación de diferentes sistemas de escritura. Su desarrollo ha sido paulatino, aunque tenemos su manifestación desde los primeros grupos humanos.

En el periodo paleolítico y neolítico se observan manifestaciones tanto en las figuras, muescas, rayas, nudos etc. de la alfarería – que servían para recordar hechos u órdenes - como en las pinturas rupestres – que consistían en representaciones de animales a los que se les daba una relevancia mágica –que a pesar de no ser consideradas como parte de ningún sistema de escritura, sí pueden considerarse como las bases para los sistemas futuros.

En el caso de la pintura rupestre además de ser una manifestación pictográfica es el origen de la escritura ideográfica, ya que más que representar objetos, representa ideas. Con el paso de las generaciones, los objetos utilizados en las expresiones pictográficas fueron estilizándose y simplificándose. Los símbolos ya no representaban objetos, simbolizaban convenciones para ideas dadas (escritura ideográfica). Como en el caso de los jeroglíficos del antiguo Egipto o en los símbolos cuneiformes de los pueblos sumerios y babilonios. Sin embargo, estos tipos de escritura incluían elementos ideográficos, pictográficos y fonéticos (cuando un símbolo tiene un valor fonético asociado).

La inclusión de elementos fonéticos es la base de las primeras escrituras silábicas. Éstas surgen de la necesidad del comercio y son base de las primeras escrituras alfabéticas, cuyo invento es adjudicado a los fenicios que a través del comercio en el mar Egeo propagaron esta forma de comunicación, que fue adoptada por los griegos quienes le agregaron vocales así como estética a los símbolos. Posteriormente los griegos transfirieron este conocimiento a los romanos.

La forma de transmitir y conservar los escritos también ha sufrido grandes transformaciones desde sus inicios hasta nuestros días. Ha ido desde el tallado y pintura en piedra, roca y paredes, la utilización de tablillas de cera, papiros, pergaminos realizados con cuero de animales hasta el empleo del papel.

Hoy en día la escritura es parte esencial de nuestra forma de vida, es un medio de comunicación efectivo que permite llevar registro de todo tipo de hechos, deseos, anécdotas, acontecimientos, fórmulas, teorías, etc.

La firma autógrafa siendo la representación gráfica de la escritura manuscrita única, diferente en cada persona, es una clara manifestación de nuestra personalidad.

El estudio de la firma requiere que se especifiquen las características de su estructura, los métodos propuestos para su análisis y los métodos de prueba necesarios para demostrar si ésta pertenece a una persona en particular.

En este capítulo, además de un breve recuento histórico a cerca de la escritura, se realiza un análisis detallado de las características de una firma autógrafa a fin de identificar los elementos teóricos que nos lleven a sistematizar los pasos necesarios para la autenticación de ésta.

1.1. Tipos de escritura

La escritura resulta ser un proceso voluntario de integración neuromuscular donde se producen funciones fisiológicas y psicológicas interrelacionadas, cuya repetición permite adquirir la habilidad de los trazos gráficos que se convierten en actos automatizados [33].

La escritura, una vez que se aprende se transforma en un proceso voluntario mecánico automático. Cuando un sujeto escribe, no enfoca su voluntad al trazo de los elementos gráficos, sino a la elaboración del mensaje que desea plasmar mediante el texto. Pese a ser un proceso mecánico, la escritura guarda características únicas inherentes al individuo que la realiza, es decir, cada persona le imprime un "sello" que nadie más es capaz de repetir.

Sin embargo, de acuerdo a sus características generales la escritura puede agruparse en dos tipos:

Cursiva: Se caracteriza por la presencia de enlaces o soluciones de continuidad que se presentan entre las letras que forman una palabra debido a la rapidez en el trazo.

Script: Aquella que imita el tipo de letra de imprenta, que además carece de ligas, enlaces o soluciones de continuidad entre las letras, salvo la escritura cursiva de imprenta que imita la cursiva manuscrita.

1.2. Medios utilizados para la escritura

Como se mencionó en la introducción al capítulo, los materiales mediante los cuales conservamos los textos se han ido modificando y reemplazando con el paso del tiempo. El papel es el material que utilizamos actualmente y que ha sido empleado por más tiempo, que mediante el uso de diversos tipos de tintas y grafitos hace posible preservar y transportar los textos.

A continuación se realiza un breve descripción de los diferentes elementos necesarios para la escritura sobre papel:

Papel: Se obtiene mediante fibras de celulosa fuertemente adheridas entre sí, dispuestas en láminas delgadas y flexibles, para su elaboración se conjuntan tanto procesos físicos como químicos. La calidad del papel está determinada por su textura, la naturaleza de sus fibras y de las cargas, así como por la resistencia a la ruptura.

Las características inherentes del papel tienen un rol especialmente importante cuando se pretende verificar un texto manuscrito, ya que particularmente la alteración de un escrito implica la modificación de la estructura de la hoja de papel, ya sea al borrar, raspar o tachar.

Tinta: Sustancia líquida o semilíquida, de color y de composición variada, cuya finalidad es quedar impresa en el papel por tiempo indefinido [33].

Las sustancias con las que se han elaborado las tintas también han sido susceptibles al paso del tiempo, las tintas primitivas se componían hollín de carbón más algún adherente. Hoy en día las tintas utilizadas para los bolígrafos están fabricadas con resinas y compuestos químicos, resultando en una sustancia de consistencia pastosa. Las tintas modernas ofrecen distintas cualidades, la durabilidad es una de las principales, pero entre otras podemos encontrar la intensidad y brillantez del color.

Debido a que existe una gran variedad de tintas en la actualidad las características de durabilidad y brillantez proveen 2 valiosos parámetros de comparación para la verificación de la escritura.

Pluma: Se trata del elemento que nos permite realizar los trazos de tinta sobre el papel. Éste no se abstrae de los cambios generacionales. En los inicios de la utilización de la tinta sobre el papel y hasta el siglo XIX se utilizaron plumas de ave, que fueron sustituidas por plumas de acero fabricadas en una variedad de tipos muy grande.

A mediados del siglo XIX aparece el bolígrafo, que en la actualidad es, sin duda alguna, el instrumento más utilizado para escribir a mano. La presentación más común del bolígrafo tiene generalmente forma cilíndrica o de caras hexagonales de plástico, con un largo de 15cm y un diámetro de 5 a 10mm aproximadamente, con una esfera de acero inoxidable diminuta insertada en la punta del tubo de tinta que se ubica dentro del cuerpo del cilindro. Las grafías se estampan sobre el papel al con la tinta adherida a la esfera cuando ésta rota.

1.3. Definición de firma

Firma: "...vocablo del latín *firmare* que significa afirmar, dar fuerza, es un término en donde su significado etimológico concuerda con el contenido que actualmente se le reconoce, es decir, se trata del conjunto de signos manuscritos, legibles o no, que una persona estampa en un documento asumiéndose, generalmente, que reconoce el contenido del documento, pues es **la manera de "darle autenticidad o para obligarse a lo que en él se dice"** [33].

La firma suele ser un grafismo corto que por sus características puede considerarse dentro de los 3 siguientes tipos: legible, ilegible y mixto, es decir, que cuenta con algunos elementos legibles y otros ilegibles. De forma similar, los grafismos de tipo legible o mixto pueden presentarse con escritura cursiva, script o bien mixta.

En otras épocas las firmas se finalizaban con adornos para hacerlas únicas. Actualmente la firma se ha **desprendido de estos "adornos", los signos ilegibles que pueden conformarla también pretenden una singularidad**, son una expresión de personalidad e intentan evitar posibles falsificaciones por la complicación de los trazos.

Entre los criterios más destacados [33] para clasificar una firma se encuentran:

- a) su dirección
- b) su ubicación respecto al texto
- c) su proporción
- d) la presión muscular respecto al texto manuscrito.

Por la valoración social, cultural y jurídica asignada a una firma, y por ser una modalidad de la escritura, participa de los elementos estructurales y generales de ésta, como son: dimensión, dirección, velocidad, presión, inclinación, angulosidad, proporción, enlaces, ornamentación, etc.

Una firma es la máxima expresión personal de automatismo gráfico, ella generalmente reúne pocos elementos pues en el mejor de los casos se escribe un nombre y apellido, y generalmente se introducen otros elementos ilegibles. Su dictamen y observación pericial deben centrarse en los **elementos de "fondo" de la escritura, aquellos elementos que no se refieren estrictamente a la forma de las letras**).

1.4. Grafoscopia

La elaboración del proyecto nos encaminó a una investigación respecto a la terminología, metodologías y convenciones reconocidas para el estudio, la identificación y reconocimiento formales de firmas autógrafas. Éstos son utilizados en los casos, de naturaleza primordialmente legal o jurídica, en los que la autoría de cierta firma se encuentre en entredicho y se requiere la participación de personal especializado que emita una valoración calificada sobre el origen de la misma².

Exponemos en forma general la terminología para dar justo crédito al estudio formal de las reglas que en el mundo real deben cumplirse para que la persona calificada debe tomar en cuenta para realizar una identificación o verificación justa y acreditable para una expresión gráfica dada. Las metodologías mencionadas nos parecieron importantes para contextualizar nuestro caso de estudio, y son las reconocidas actualmente, al menos dentro del sistema legal de nuestro país.

Definición de Grafoscopia.

²Prueba pericial: Apéndice A de este documento.

“... estudio objetivo de la escritura manuscrita para establecer respecto de la persona que la estampó, si corresponde o no, a su puño y letra, es decir, si es auténtica o falsa.” [33].

La grafoscopia tiene como objetivo establecer si una grafía es auténtica o falsa, esto exige establecer un punto de valoración fundamental, la relación de autenticidad de una escritura o firma respecto de **la cuestionada. Lo que exige forzosamente contar con un patrón o “cuerpo” de grafos de los cuales no se tenga duda de su autenticidad a los que se denomina indubitables**, que será el material contra el que se contrastará la escritura o firma etiquetada como falsa.

La sistematización del estudio de la grafoscopia lleva a su división en tres temas, éstos son:

- a) Elementos estructurales de la grafía.
- b) Elementos generales de la grafía.
- c) Gestos gráficos.

1.4.1. Elementos Estructurales de la grafía

Hacer mención a la estructura de un objeto es referirse a la distribución y orden de las partes de un todo, pero siendo más específicos y pensando en los elementos que componen las partes de esta estructura, entonces se habla de las partes esenciales que conforman dicho todo. En este caso, el objeto es la firma.

La firma según Del Val Latierro Felix, **“... está formada por un conjunto de líneas.** Si estas líneas forman parte esencial de la letra, se denominan trazos, los cuales pueden ser, a su vez rectos, curvos y mixtos. **Y los curvos cóncavos y convexos” [33].**

En forma general, la configuración de los trazos guarda una semejanza indiscutible, pues obedece a los mismos criterios estructurales, es decir, la forma o manera en que usualmente se configura cada trazo. Por lo que aun cuando la escritura sufre pequeñas variaciones de individuo a individuo, generalmente éstas no impiden su lectura.

Algunos autores señalan a los siguientes como elementos estructurales del grafismo [33]:

Angulosidad. Se da cuando en los trazos predomina la forma angular sobre la curva y la frecuencia en que esto sucede. Los trazos cuyo movimiento es de arriba hacia abajo, a los que comúnmente corresponden a mayor precisión y por ende son más gruesos se les denomina como magistrales. Éstos se unen entre sí mediante curvas llamadas de enlace, si éstas se sustituyen por la formas angulares totales o parciales se habla de angulosidad.

Dimensión. Existen dos tipos de proporciones: la altura de las letras y la extensión de la escritura. La altura es la proporción que guarda las letras mayúsculas respecto de las minúsculas; la extensión es la prolongación de la escritura en su recorrido. Estas dimensiones guardan una proporción de acuerdo al espacio disponible para escribir.

Dirección. En su desplazamiento a la derecha, la escritura debe colocarse sobre una línea horizontal, a esto se le llama trazo normal. Puede suceder que el autor de a su escritura una dirección descendente o ascendente respecto a la horizontal; más raramente se da a la escritura una dirección ondulada, a veces ascendente y a veces descendente.

Enlaces. **La escritura conocida como "cursiva" tiene como característica la continuidad entre trazos lo que define un enlace entre cada letra.**

El enlace se puede presentar con arco, en ángulo, o con cortes. Los enlaces pueden presentarse en el trazo de toda una palabra, a lo que se le denomina ligado o intenso. Cuando comprende el enlace de varias letras de la misma palabra se llama medio. Reducido o desarticulado cuando se enlazan menos de cuatro letras. O fragmentado cuando se enlaza por sílabas o por letras.

Es tan importante el análisis e la cantidad de enlaces, como el estudio de la forma en que estos se presentan, es decir, si el enlace se observa de forma horizontal, o de arriba hacia abajo, etc.

Inclinación. Es el ángulo con respecto a la vertical con que se generan las grafías. Este elemento también guarda parámetros de uniformidad con un margen de aproximadamente entre 5° y 10° de variabilidad. De modo que al estudiar la escritura ese grado de variabilidad determina, aunado a otros elementos estructurales, si la escritura puede pertenecer o no a determinado autor.

Presión. La fuerza o energía necesaria para estampar la grafía, es llamada presión o presión muscular. Para tomar en consideración la presión es importante tomar en cuenta el instrumento con el que se imprime (tipo de pluma, bolígrafo, lápiz, etc.) ya que la presión al escribir varía dependiendo del punto con el que se escriba. La presión muscular ejercida al escribir puede clasificarse en 4 tipos: fuerte, media, débil y mixta.

Velocidad o Rapidez. Tiempo empleado en estampar la escritura. Generalmente tiene que ver con la habilidad o práctica para realizar el trazo. La velocidad también es clasificada como **espontaneidad ya que quien carece de habilidad tendrá una escritura lenta "concentrándose" en**

los trazos, y quien ya domina la realización de la grafía lo hace más rápidamente lo hace **“concentrándose” más en el mensaje que en los trazos de la misma.**

De acuerdo a su velocidad (tiempo de ejecución) la escritura se clasifica en: lenta, pausada, rápido y precipitada. Por el tipo de ejecución puede clasificarse en: lanzada, contenida e irregular.

Orden y regularidad. Se refiere a la colocación de letras, palabras y sobre todo renglones que permiten observar un conjunto con alineación equilibrada, con relación a los márgenes del papel o soporte.

1.4.2. Elementos generales o formales de la grafía.

Los elementos generales o formales del grafismo se ocupan de las características que conforman las rectas, curvas y trazos mixtos de las grafías. Este análisis se centra en observar si para un mismo elemento las curvas son cóncavas o convexas, si éstas son amplias o cerradas, si los rasgos son finos o gruesos, o ambos, en un mismo elemento etc.

A las líneas que no son esenciales a la forma y estructura de los elementos se les denomina rasgos (pequeñas variantes u ornamentos).

Trazos y rasgos gráficos.

1.4.2.1. Trazos.

La escritura manuscrita se lleva a cabo de una forma que puede considerarse estándar. En el caso de la escritura arábiga generalmente se comienza a realizar el grafo de una letra de arriba abajo y de izquierda a derecha.

Los grafos que se escriben de arriba hacia abajo generalmente tienden a emplearse mayor presión muscular y por lo que tienden a tener un mayor grosor (gruesos). En cambio las líneas de los trazos que van hacia arriba, laterales y de enlace se presentan regularmente con menor presión muscular, por lo que son de menor grosor (perfiles o finos).

Al trazo se le puede clasificar de la siguiente manera: si el trazo parte de la línea del alineamiento básico hacia arriba, sobresaliendo en forma vertical se le llama hampa y si el trazo parte de la línea del alineamiento pero hacia abajo se le llama jamba, es decir lo opuesto a hampa.

Un ejemplo de hampa es la "l", "b" y "t" y de hampa "g", "j" y "y", pero por ejemplo la *f* manuscrita combina tanto hampa como jamba.

A su vez las hampas y las jambas se distinguen en estrechas, cortas, alargadas y amplias.

1.4.2.2. Rasgos.

Aquellas líneas que sirven de complemento u ornamento en una grafía se les llaman rasgos, esto se clasifican en:

- a) Punto de ataque o inicial. Corresponde al punto en que empieza el trazo de una letra.
- b) Punto final. Cuando concluye el trazo de la línea complementaria u ornamental.
- c) Enlace. Consiste en las líneas que sirven de unión entre las letras.


Rasgos peculiares son aquellos rasgos que pueden presentarse en una firma al principio, final o en el desarrollo de los trazos de ésta. Estos rasgos pueden modificar de modo imperceptible o de manera notoria a la firma, por lo que estos tipos de rasgos resultan fundamentales para identificar al autor de una grafía.

A continuación se mencionaran algunos rasgos peculiares:

- a) Botón o parada inicial. Es el punto de ataque y se aprecia por la acumulación de la tinta.
- b) Arpón. Puede aparecer tanto en el punto inicial como final y se observa como un pequeño vértice que semeja la punta o extremo de un arpón.
- c) Gancho. Curva vuelta hacia dentro o regresiva sea en el punto inicial o final, a la izquierda o a la derecha, o en la parte inferior o superior.
- d) Gaza. Espacio entre dos línea paralelas ligeramente curvas unidas en un extremo que **generalmente es una pequeña curva o vértice alargado. Ejemplo la letra " l "**

- e) Lanzada. Rasgo curvo que se muestra en la misma letra para rodearla o enlazarla. Ejemplo: "



- f) Bucle. Pequeña especie de lanzada colocada generalmente en el punto final de la letra.
- g) Ojal. Pequeña abertura redondeada que aparece como un adorno de la letra, semejante a un ojal. "  ".

h) Arco. Trazo curvo que aparece en forma de semicírculo, que puede ser completo e incompleto.

Ejemplo " a".

i) Espuela. Rasgo que se adosa o **adiciona al comienzo de las letras. Ejemplo " /".**

j) Patín. **Pequeña raya horizontal ya sea en la parte superior o inferior de las letras. Ejemplo " R".**

k) Tilde. **Rasgo pequeño y horizontal que complementa a la letra " t".**

l) Angulo. Gramas de la letra, que aparecen formando vértices con ellos ángulos.

m) **Curva. Cuando en la letra se presentan curvas en el cuerpo. Ejemplo " s".**

n) Nudo. Espiral incompleta que generalmente aparece en el punto de ataque.

o) Espiral. Espiral completa.

p) Línea regresiva sobre sí. Son las líneas verticales que se trazan de arriba abajo que retornan **de abajo a arriba sobre sí mismas, o casi sobre sí mismas. " p".**

q) Ovalo. Rasgo parecido a un huevo.

1.4.3. Gestos gráficos.

Se define como el conjunto de particularidades que aparecen como constantes en la escritura de una **persona y que permiten "individualizar" su escritura. El gesto gráfico se produce como un estado de automatización individual que revela las características personales de su autor. El gesto gráfico es entonces el conjunto de fenómenos personales, como velocidad, ritmo, angulosidad, dimensión, dirección, altura, etc., que se producen en la escritura y que varía de persona a persona.**

Los gestos gráficos pueden agruparse de la siguiente manera:

1. *Gestos gráficos evidentes.* Hace referencia a la configuración y ubicación de puntos de ataque; forma, dirección y ubicación de los rasgos o puntos finales; características de los signos de puntuación; referencias inter-gramaticales, interlineales, inter-proporcionales y de alineamiento básico; y diferencias de grado de presión, aceleración, proporcionalidad o desenvolvimiento.
2. *Gestos gráficos no evidentes.* Gestos que se pueden constatar a través de mediciones como la altura de la rúbrica respecto a la dimensión del espacio destinado para la firma.
3. *Gestos gráficos invisibles.* También llamados imperceptibles, pues no pueden identificarse mediante un examen superficial de la grafía. Entre ellos encontramos la amplitud de los

ángulos, curvas y óvalos, variaciones de dirección al final del renglón o la altura y calidad de los enlaces.

1.5. Falsificación de la firma

El término falsificación deriva del latín falsificatio que significa lo que es falso, obrar con engaño o que falta a la verdad [33]. Cuando esta alteración tiene lugar o es plasmada en un documento ocurre un **caso de la llamada "falsedad documental"**. En la actualidad existen diversas y variadas formas de llevar a cabo la falsificación de una firma.

1.5.1. Tipos de Falsificación.

La comparación de un documento manuscrito o una firma de origen dudoso o incierto plantea la necesidad de una clasificación para los tipos de falsificaciones actualmente reconocidas. A continuación se presenta la clasificación propuesta en [33]:

- 1) Por la extensión de la escritura: total y parcial.
- 2) Por la forma:
 - a) Imitación. Como su nombre se indica es cuando se trata de imprimir una grafía lo más semejante a una no propia.
 1. Por calco. Consiste en tratar de reproducir o copiar la firma original. Es indispensable contar con el grafo original como modelo. En falsificación por calco las copias pueden obtenerse: a contraluz (transparencia), a través de un papel carbón al sobrescribir la firma, o por el método de punta seca, calcando la firma con un bolígrafo sin tinta, por ejemplo, para después seguir los surcos que éste dejó.
 2. Servil. Consiste en que la persona reproduce la firma, teniendo a la vista originales, o bien, porque el falsificador la conoce o la recuerda, tratando de imitar en lo posible la grafía de la firma genuina por lo que carecerá de la habilidad y espontaneidad de la original.
 3. Libre o a mano libre. El falsificador se preocupa más por lograr una rapidez similar a la grafía autentica. Es decir, ya que la firma genuina corresponde a una persona diestra con habilidad en su escritura, al optar por una falsificación *libre* se sacrificará el cuidado de la semejanza de los trazos de la grafía auténtica por lograr parecido con la velocidad y destreza de dicha grafía.
 4. Por Sello. La falsificación se presenta a través de un sello.
 - b) Alteración. Consiste en la modificación que sufre el documento en que consta la firma autentica.

1. Por supresión. Busca eliminar una parte de la escritura por borrado, raspado o por lavado.
 2. Por adición. Cuando ocurre a través de retoques, intercalados o añadidos.
 3. Mixta. Es la alteración del documento tanto por supresión como por adición.
- c) Por ocultación. Se da cuando el autor de la grafía disfraza la propia firma porque no desea que se percaten que le pertenece.
1. Anónima. Quien los redacta busca disimular su grafía para ello puede emplear escritura de molde o script, cuando generalmente usa cursiva o viceversa.
 2. Auto Falsificación. El autor busca eludir la responsabilidad del escrito negando que la firma en un documento le pertenezca.
 3. Mano izquierda. Es el empleo de la mano izquierda, cuando la persona es diestra.
- 3) Falsificación burda. Se realiza sin tomar en cuenta la configuración de la firma, es decir, no guarda similitud, semejanza o parecido entre la firma original y la cuestionada.

1.6. Métodos en grafoscopía

La grafoscopía como ciencia busca establecer la autenticidad de una grafía para lo que es necesario que un perito calificado lleve a cabo una comparación entre grafías que sin duda alguna sean originales y aquellas de procedencia dudosa.

1.6.1. Cotejo de la firma.

Para poder establecer la autenticidad de o la falsedad de una firma es necesario llevar a cabo un cotejo (Confrontación de documentos). Sin embargo, para poder realizar este proceso sobre una firma es necesario contar con un documento indubitable; es decir, un documento que contenga una firma que sea genuina sin lugar a dudas. Para que un documento sea pericialmente indubitable debe constar de las siguientes características:

1. Original. El documento debe ser original, no copias, ni fax sólo original.
2. Coetánea. Debe corresponder a la fecha más cercana a la que se haya señalado como tal en la firma cuestionada.
3. Numerosa. Se procurará el mayor número de grafías auténticas (repeticiones).
4. Extensa. Además del número estas deben ser extensas, debe contarse con el mayor número de símbolos posibles (cotejo de escritura manuscrita)

5. Genuina. El carácter de genuina se da cuando la firma se realiza ante un funcionario.
6. Espontanea. Es decir que no exista algún factor externo que la modifique tanto al autor como al medio.
7. Información del autor. De ser posible se pedirán datos necesarios del autor, por ejemplo, su edad, su salud física, estado mental, etc.

Una vez que se tiene un documento indubitable, para poder concluir que una firma objeto de estudio se corresponde a la indubitable se llevará a cabo un proceso que busca establecer concordancias y semejanzas de los detalles importantes de la escritura y desechar aquellas que aunque puedan presentar una similitud carecen de importancia. Será posible establecer puntos característicos para la comparación y en la medida de convergencia o divergencia de esos puntos se fundamentará la opinión del perito grafólogo. La comparación resultará en una identificación positiva o negativa dependiendo del grado de concordancia y semejanzas.

Dicho proceso está conformado por alguno de los métodos de análisis que a continuación se exponen.

1.6.2. Método Grafomorfológico.

Este método es expuesto en el Libro "El Manual del Juez"; es la comparación formal, que consiste en cotejar el grafismo del documento en que aparece la firma que genera duda con el grafismo en los documentos indubitados o auténticos.

Para realizar este método, Billy Prior Bates, genera 12 puntos que deben constatarse para asegurar autenticidad o falsedad de la firma.

1. Uniformidad
2. Irregularidades
3. Tamaño y Porción
4. Alineación
5. Espacios
6. Grado de alineación
7. Presión en el ataque
8. **Tildes de la "t" y los puntos de la "i"**
9. **Palotes curvos, perpendiculares, con mesetas o combinadas de las letras "m" y "n"**
10. Lazos, gazas o bucles

11. Formación de los círculos
12. Puntos de ataque iniciales y finales

Con estos 12 puntos se puede resumir que el cotejo consta de analizar los elementos generales así como las particulares de ambas firmas para después con éstos realizar la comparación entre ambas y decir si es o no una firma autentica.

1.6.3. Método Grafométrico.

La grafometría es la medición de todos y cada uno de los elementos (grammas) que conforman la grafía. Este método tiene como objetivo identificar los valores constantes con un índice medible [33] por ejemplo inclinación los rasgos de la firma.

Para poder realizar esta medición de los datos grafométricos es indispensable contar con los siguientes criterios.

1. Las mediciones deben efectuarse bajo el mismo sistema o criterio; es decir, para conocer su inclinación es necesario trazar una recta del punto más alto al punto más bajo y de esta una perpendicular que nos diga el grado de inclinación.
2. Utilizar los medios materiales para obtener resultados precisos (reglas, retículas, etc.)
3. En el caso de utilizar aumento, este debe ser el mismo para la firma dudosa e indubitada.
4. Establecer la correspondencia o divergencia de las mediciones entre la grafía cuestionada y la original.

Sin embargo, cabe aclarar que este método no es muy solicitado.

1.6.4. Método Galtoniano.

Consiste en obtener fotografías o negativos de las firmas indubitadas. Después de en su caso obtener sus negativos, éstos se superponen para así obtener una positiva. El resultado es que los trazos que resaltan corresponden a los más frecuentes y son la esencia de la firma, los demás aparecen más difuminados. A su vez, de este resultado se obtiene un negativo que se contrasta con el negativo de la firma cuestionada y se establece o no su semejanza.

A manera de conclusión:

Como mencionamos con anterioridad, tener acceso a las conceptualizaciones expuestas en este capítulo nos proporcionó elementos para contextualizar el valor e importancia del reconocimiento de una firma autógrafa en el mundo real. Sin embargo, estos conceptos no son utilizados propiamente por los sistemas computacionales de reconocimiento de este tipo de patrón biométrico, incluido el nuestro, ya que éstos se enfocan al reconocimiento e identificación por la similitud entre imágenes tanto en el tiempo como en la frecuencia.

Otra muy importante tarea en la que nos ayudó este capítulo en particular fue para tomar la decisión de que nuestro sistema fuera para el reconocimiento de firmas en la modalidad offline. Pues a pesar de que no se dispone de los datos correspondientes a la velocidad, angulosidad y presión ejercidos al momento del estampado de la firma este tipo de reconocimiento cobra relevancia en el mundo real ya que en la inmensa mayoría de los casos donde una firma se encuentra en entredicho no se cuenta con datos dinámicos de dicha escritura. Con lo que se cuenta es con un cúmulo de papeles donde hay tanto firmas de las que no hay duda sobre su autenticidad como aquellas de las que hay duda sobre su procedencia y es mediante la comparación de las diferentes características de ellas que se toma una decisión sobre su procedencia.

Consultar el Apéndice A para conocer en qué consiste una prueba pericial grafoscópica.

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, definirlas 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:

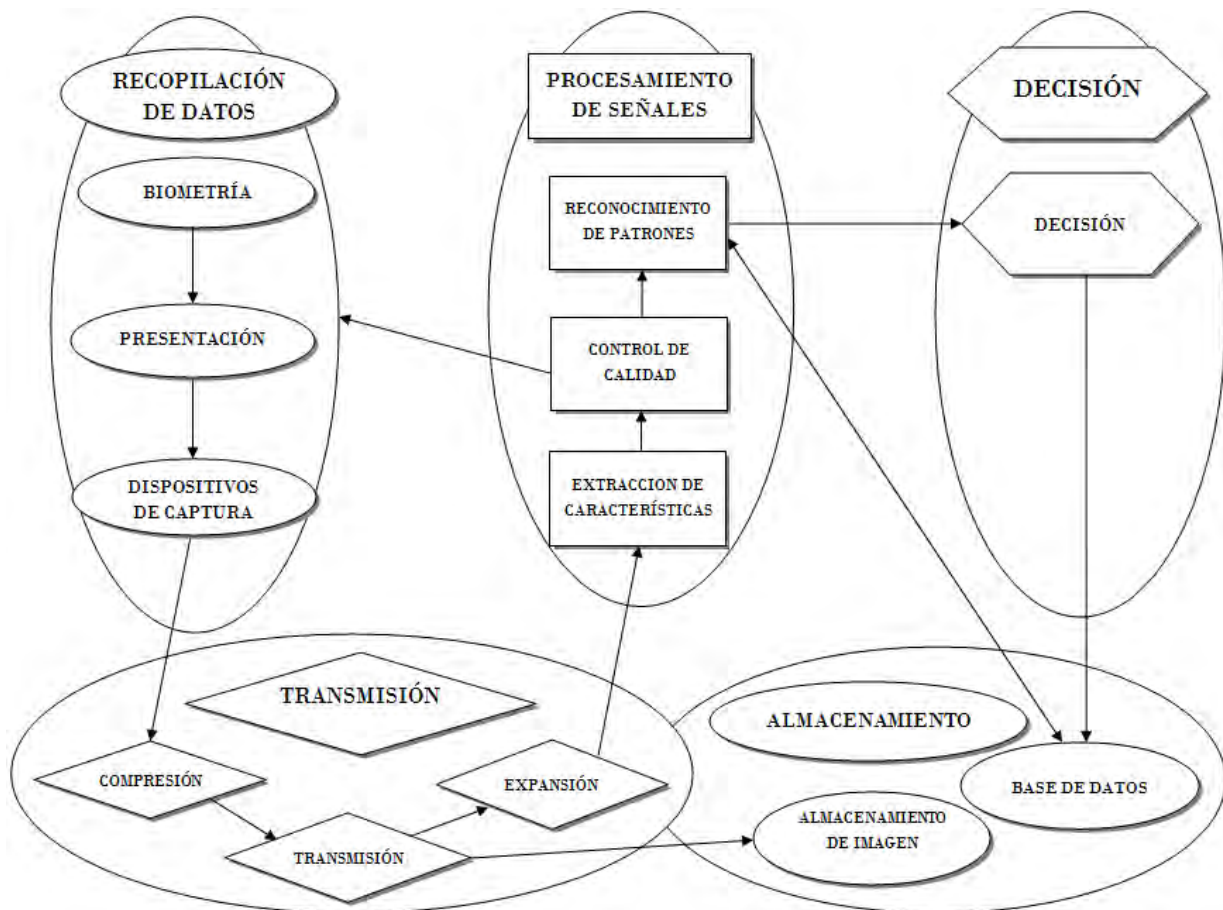


Figura 2.1. Sistema biométrico general, basado en esquema del sistema biométrico de Wayman [1]

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 dilatación 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 $\{g(m,n)\}^{Nm,Nn}$ y produce el gradiente de imagen compuesta tanto de intensidad $\{|\nabla|(m,n)\}^{Nm,Nn}$ como de dirección plana $\{\theta(m,n)\}^{Nm,Nn}$. 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:

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

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

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

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 píxeles 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.

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

$F_w(\theta)$ 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].

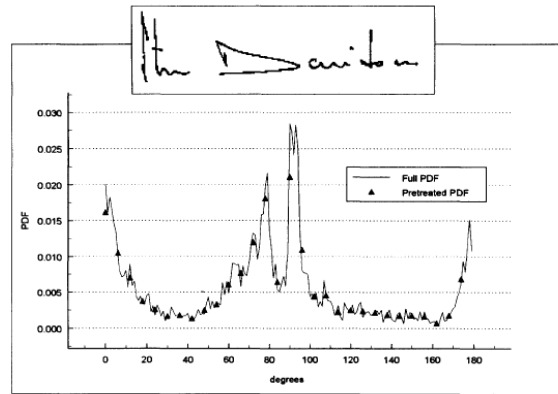


Figura 2.2. Gráfica de un genuino espécimen de la firma, donde se muestra el total direccionamiento PDF, basada en el artículo Drouhard Jean-Pierre [8]

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 caracterísitcas.

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.

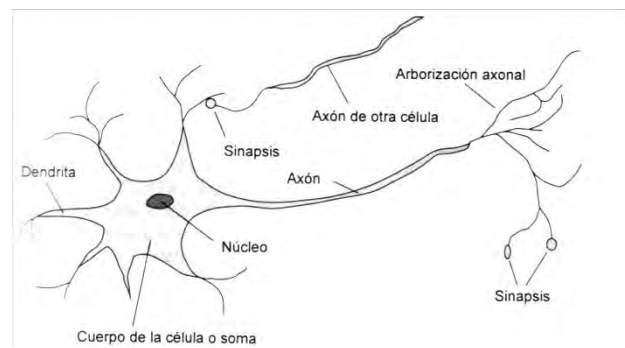


Figura 2.3. Fisiología de una neurona [22]

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.

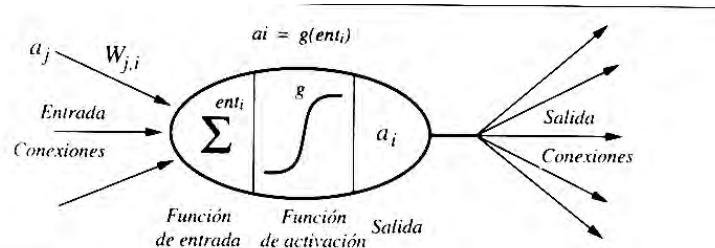


Figura 2.4. Representación de una neurona artificial [22] donde a_i es el valor de activación de la unidad i , W_{ij} es el peso de enlace que está entre la unidad j y la unidad i y g es la función de activación.

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 (Figura2.1), 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.

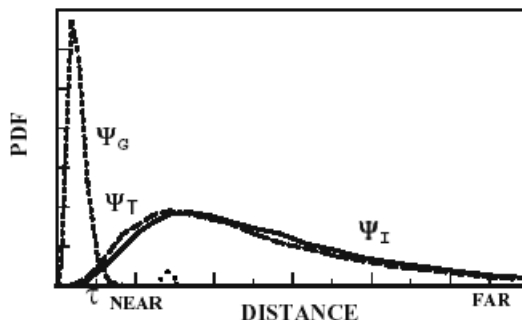


Figura 2.5. Gráfica de histogramas que representan las funciones de probabilidad de la distancia “Genuina”, “Impostor” e “Inter-plantilla”, la relación entre ellas y el umbral; ejemplo propuesto por Wayman [20].

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 significante 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.

C A P Í T U L O 3

ALGORITMOS GENÉTICOS.

Los algoritmos genéticos forman parte del área de investigación de la computación evolutiva, esta a su vez al conjunto de métodos usados para definir procedimientos heurísticos que pueden ser aplicados a un amplio conjunto de diferentes problemas. Estos métodos son conocidos como meta-heurística. Dicho de otra manera la meta-heurística puede ser vista en general como algoritmos de sistemas que pueden ser aplicados para diferentes problemas de optimización con modificaciones pequeñas y relativas para adaptarse a problemas específicos [26]. Teniendo en cuenta la definición de meta-heurística, podemos empezar a desglosar una de sus áreas de interés que es la Computación Evolutiva, para después poder a través de los conceptos de ésta filosofía, llegar a la definición de algoritmo genético y las eficientes soluciones que esta técnica proporciona.

La computación evolutiva toma al modelo natural de evolución biológica originalmente propuesto por Charles Darwin en su *Teoría de la evolución*. La que explica el cambio adaptativo de las especies por el principio de selección natural, que favorece a las mismas para la supervivencia y para evoluciones futuras que les ayuden a adaptarse mejor a sus condiciones ambientales (concepto comúnmente conocido como "*la supervivencia del más apto*", sin embargo, fue acuñado por H. Spencer, seguidor de Darwin que quería explicar la teoría de Darwin aparentemente tautológica). Además de la selección, otro factor al que Darwin otorga importancia es a la ocurrencia de pequeñas variaciones supuestamente unidireccionales y aleatorias entre los fenotipos. Estas mutaciones predominan a través de la selección si prueban que son importantes para la adaptación de la especie al medio actual, de otra forma perecen. La primordial fuerza conductora de la selección se da en el fenómeno natural de generación de descendencia. Bajo condiciones ambientales ventajosas, el tamaño de la población crece exponencialmente, este proceso es limitado generalmente por la limitación de recursos. Cuando los recursos dejan de ser suficientes para sostener a todos los individuos que conforman la población, los organismos con mutaciones contarán con una ventaja selectiva para explotar los recursos con mayor eficiencia.

La bioquímica y genética modernas han ampliado la teoría darwiniana mediante hallazgos microscópicos concernientes a mecanismos hereditarios. La teoría resultante se conoce como la Teoría sintética de la evolución o *neodarwinismo*.

Teniendo en consideración ambas teorías, existen conceptos importantes como son: gen, cromosoma, genotipo, fenotipo, adaptación, transferencia y mutación.

Partiendo de las teorías y conceptos anteriormente expuestos, es posible decir que existe un marco biológico que sustenta el hecho de que los procesos naturales tienen una orientación hacia la sucesión de improvisaciones sobre las características genéticas de sus individuos con el fin de obtener cada vez mejores respuestas de éstos a sus condiciones ambientales.

La Computación Evolutiva puede dividirse en tres campos de estudio: Estrategias Evolutivas, Algoritmos Genéticos (AG), Programas Evolutivos y Programación Genética.

Sin embargo, solo uno de estos tres nos interesa y es Algoritmo Genético que se define como un algoritmo de búsqueda basado en mecanismos de selección natural y genética natural [29].

Los algoritmos genéticos han demostrado ser una estrategia enormemente poderosa y exitosa para resolver problemas, demostrando de manera espectacular el poder de los principios evolutivos. Se han utilizado algoritmos genéticos en una amplia variedad de campos para desarrollar soluciones a problemas difíciles o más difíciles que los abordados por los diseñadores humanos. Además, las soluciones que consiguen son a menudo más eficientes, más elegantes o más complejas que nada que un ingeniero humano produciría [30]. Un ejemplo de esto es la aplicación para predecir la estructura tridimensional de una proteína, basándose en la secuencia de aminoácidos que la componen. Este fue desarrollado por Schulze-Kremer. Utilizaba números reales para representar los famosos "ángulos de torsión" entre los enlaces peptídicos que conectan a los aminoácidos.

3.1. Terminología ocupada para AG

Como se menciona en la introducción existen conceptos importantes que son necesarios para conceptualizar el funcionamiento de un algoritmo genético por lo que se detallan a continuación:

Gen. Es la característica, el símbolo o indicador (Figura 3.1).

Cromosoma. Es la cadena generada (Figura 3.1).

Alelo. Valor que toma de la cadena.

Genotipo. La estructura; la configuración del cromosoma.

Fenotipo. Las soluciones actuales

Individuo. Genotipo + Fenotipo.

Adaptación. Es la estrecha relación (y en algunos casos idéntica) del individuo con el valor de la función objetivo de la solución representada por éste [30].

Población. Conjunto de individuos.

Función Objetivo. Es la función a la que es sometido cada individuo de una población para saber cual es cuantitativamente el valor o medida de su aptitud, utilidad o lo bueno que es para maximizar la función.

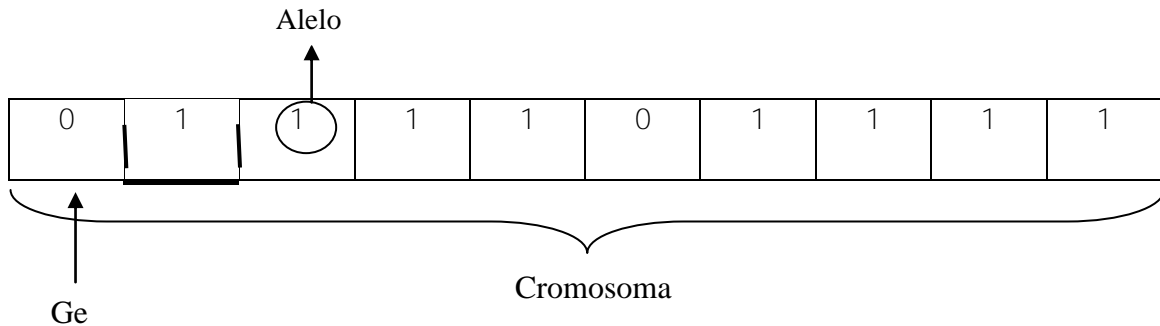


Figura 3.1. Representación de un cromosoma en algoritmos genéticos

3.2. Operadores genéticos

Son aquellas operaciones que se realizan sobre la población inicial para crear nuevas generaciones [1]. Se dividen en simples y de diversidad.

3.2.1. Simples.

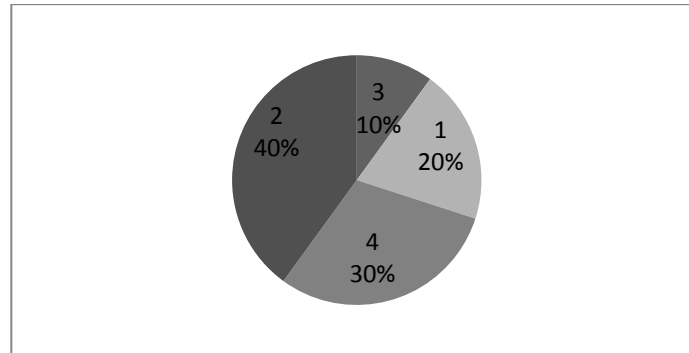
a. Selección. Es el proceso en el que cada cadena individual es copiada en concordancia a los valores de la función objetivo. Es decir solo aquellas cadenas que tenga el más alto valor de aptitud serán parte de la siguiente generación.

Ésta puede ser implementada de muchas formas, entre ellas están:

Roulette Wheel. En este procedimiento cada cadena actual de la población tiene un pedazo de la ruleta en proporción de su aptitud, la suma de las aptitudes nos da un total que permite crear para cada cadena un porcentaje de su aptitud [28].

No.	Cadena	Aptitud	% de Total
1	01101	169	14.4
2	11000	576	49.2
3	01000	64	5.5
4	10011	361	30.9
Total		1170	100.0

Tabla 3.1 basada en el ejemplo proporcionado por Goldberg [28]



“Roulette Wheel” basado en la Tabla 3.1 del ejemplo dado por Goldberg [28].

Para la reproducción, en este ejemplo, simplemente se gira la ruleta cuatro veces, la cadena donde quede después del giro será copiada y depositada en un conjunto que será tentativamente la nueva población. Por ejemplo, cuando se gira la ruleta ponderada la cadena1 tiene un 0.1440 posibilidades de salir mientras la cadena2 tiene un 0.492 de posibilidades de salir escogida, en consecuencia las cadenas selectas serán aquellas con mayor índice de probabilidad, es decir mayor aptitud.

Ranking. Éste se basa en el método de Selección, la probabilidad de selección de un individuo no depende tan solo de su valor aptitud como en el caso de la selección proporcional, pero sí de la aptitud relativa en comparación con otro miembro de la población: es decir, este es comparado en un rango de la población total cuando todos los individuos son ordenados en incremento o decremento basados en el valor de su aptitud [30].

Torneo. Parte del principio de que cierto número de individuos tenga participación en el torneo y de este se selecciona el mejor de los participantes para sobrevivir en la próxima generación. Los miembros del torneo son escogidos al azar y el tamaño de participantes en el torneo es pequeño, que va desde 2 a 10 individuos típicamente. El proceso del torneo es repetido μ veces para seleccionar una población de μ miembros.

b. Crossover (Recombinación).

Este método se puede dividir en tres:

Cruza de un solo punto. Este se da en dos pasos; primero, se escogen pares de forma aleatoria, segundo, de forma aleatoria se escoge un número del 1 al $l-1$ (donde l es la longitud de la cadena) al que se llamará k , posteriormente dos cadenas nuevas se crean al intercambiar los caracteres contenidos entre las posición $k+1$ y la longitud l . Ejemplo.

$$A_1=0110|1$$

$$A_2=1100|0$$

Supongamos que aleatoriamente se escogió que $k=4$ (punto de cruce |). El resultado del crossover da dos nuevas cadenas donde la prima significa las cadenas que forman una nueva generación.

$$A'_1=0110|0$$

$$A'_2=1100|1$$

Cruza multi-punto. Este operador crossover utiliza un número predefinido de puntos distribuidos uniformemente en el cromosoma y la cruce se realiza intercambiando la cadena comprendida entre el par de puntos de cruces tanto del padre como del hijo.

Cruza uniforme. Este operador crossover fue originalmente definido para trabajar con cadenas binarias. El operador intercambia cada bit con una probabilidad entre los dos padres. La probabilidad de intercambio tiene un valor de la mitad, sin embargo los ajustes son posibles.

c. Mutación.

La mutación como operador genético puede hacer que exista una alteración aleatoria del valor en cualquier posición de la cadena.

3.2.2. Diversidad.

Los métodos de diversidad extienden a los algoritmos genéticos para el dominio que requiere el mantenimiento y la localización de soluciones múltiples. Mientras tradicionalmente GAs se dedica principalmente a realizar la optimización, los métodos de diversidad son más adecuados a los problemas de clasificación y máquina de aprendizaje, etc.

Los métodos de diversidad se dividen de acuerdo a su estructura y comportamiento. En la actualidad, **existen dos muy exitosos que son el de "Fitness sharing" y "Crowding", ambos métodos son capaces** de localizar y mantener múltiples soluciones dentro de una población, si esas soluciones tienen idénticas o diferentes aptitudes.

a. Fitness Sharing (Sharing). Es un mecanismo de escalamiento de aptitud que modifica únicamente la fase de asignación de aptitud de un GA. Sharing puede ser usado en combinación con otros mecanismos de escalamiento, pero debería ser el último en aplicarse, justo antes de la selección [31].

Para una función multimodal la perspectiva de maximización, parte de la siguiente idea que es como sigue: Si se requieren individuos similares para compartir la ganancia o la adaptabilidad, entonces el número de individuos que pueden residir en cualquier porción grafica de la función de adaptabilidad está limitado por adaptabilidad de dicha porción de la gráfica. Los resultados del método de Sharing se dan cuando los individuos son colocados en regiones óptimas de la representación grafica de la función de adaptabilidad. El número de individuos que reside cerca de cualquier pico teóricamente será proporcional a la altura del pico [31].

El método de Sharing funciona al disminuir la adaptabilidad de cada elemento de la población por la cantidad relacionada al número de individuos similares. Específicamente, un elemento del método **shared fitness, F' , es igual a su anterior aptitud F dividido por el tamaño del nicho. El número de individuos del nicho es la suma de la función de sharing (sh), es decir:**

$$F^{(i)} = \frac{F(i)}{\sum_{j=1}^{\mu} sh(d(i,j))}$$

La función sharing es una función de distancias d entre dos elementos de poblaciones; este regresa a '1' si los elementos son idénticos, o '0' si ellos cruzan algún umbral de desigualdad, y un valor intermedio para niveles intermedios de desigualdad. El umbral de no similaridad es especificado por la constante σ_{share} ; si la distancia entre los elementos de las dos poblaciones es grande que o igual para σ_{share} esto hace que no afecte a otros de la función. Una función sharing común es:

$$sh(d) = \begin{cases} 1 - (d/\sigma_{share})^\alpha \\ 0 \end{cases}$$

Donde α es una constante para regular la forma de la función sharing.

Mientras se distingue la naturaleza de los nichos basándonos en el fenotipo, los nichos GAs pueden emplear cualquier medida de distancia para genotipo o fenotipo. Escoger el apropiado depende de cómo se resuelva el problema [31].

b. Crowding. En la técnica de Crowding, se inserta un nuevo elemento a la población para reemplazar elementos similares. Para determinar la similaridad, como en el método de sharing se utiliza una medida de distancia, ya sea fenotípica o genotípica. El método de Crowding tiende a esparcir a sus individuos entre los picos más prominentes de espacio de búsqueda. A diferencia del método de sharing, crowding no asigna elementos proporcionalmente en los picos de aptitud, en cambio, el número de individuos reunidos alrededor de un pico está mayormente determinado por la influencia que el operador crossover muestra sobre los individuos para hacerlos permanecer en el pico [31].

Para reemplazar elementos similares, crowding se esfuerza para mantener la diversidad preexistente de la población. Aun así, los errores de reemplazamiento pueden ser prevenidos algunas veces manteniendo individuos en picos de vecindarios deseados. El algoritmo determinístico de crowding es diseñado para minimizar el número de reemplazamientos erróneos y de esta forma permitir diversidad efectiva.

El crowding determinístico de trabaja como sigue. Primero agrupa la población en $\mu/2$ pares. Entonces se cruzan estos pares y mutan para una nueva generación. Cada descendiente compite con cada uno de los padres que lo produjo. Para cada par de la descendencia, 2 torneos de padre-hijo son posibles. El Crowding determinístico fuerza a que los elementos más similares compitan (tanto como padre e hijos) [31].

3.3. Algoritmo.

3.3.1. Pseudocódigo.

A continuación se presenta el pseudocódigo basado en el artículo de Abdelmalik Moujahid, Iñaki Inza y Pedro Larrañaga [40]:

BEGIN

Generar una población inicial.

Calcular la función de evaluación de cada individuo.

WHILE NOT Terminado DO

BEGIN /* Producir nueva generación */

FOR Tamaño población/2 DO

BEGIN /*Ciclo Reproductivo */

Seleccionar dos individuos de la anterior generación,
para el cruce. Cruzar con cierta probabilidad los dos
individuos obteniendo dos descendientes.

Mutar los dos descendientes con cierta probabilidad.

Calcular la función de evaluación de los dos
descendientes mutados.

Insertar los dos descendientes mutados en la nueva generación.

END

IF la población ha convergido THEN

Terminado := TRUE

END

END

3.3.2. Parámetros.

La extracción del conjunto de parámetros estándar para algoritmos genéticos no es trabajo trivial. Sin embargo, Bäck, apoyándose en distintos autores, propone los siguientes parámetros [35]:

Parámetros	Valores
Probabilidad de mutación	$p_m=0.001$
Operador de recombinación	$r_{\{0.6,2\}}$
Longitud por objeto variable	$l_x=30$
Tamaño de la población	$\mu=50$

Probabilidad de mutación. La tasa de mutación (p_m) es la probabilidad de que dos individuos seleccionados sean recombinados para crear nuevos individuos. Esta probabilidad es variable, sin embargo, comúnmente se toma la De Jong [35] que es $p_m=0.001$.

Operador de recombinación. El operador de recombinación nos indica el número de puntos de cruce y la probabilidad que debe ser aplicada, en este caso Bäck sugiere dos puntos de cruce y la probabilidad de 0.6.

Longitud de la cadena por variable objeto (variable de decisión). En algoritmos genéticos se trabaja con cadenas binarias de longitud fija, estas son divididas en n segmentos de igual tamaño solo cuando las variables están en el mismo dominio l_x , cada segmento codificado corresponde a una variable de decisión. El valor de l_x , depende de la resolución que se quiera para el rango o dominio de cada variable. Sin embargo Bäck por razones de comparación con estrategias evolutivas y programación evolutiva donde esta variable debe ser de alta precisión le da un valor de 30bits.

Tamaño de la población. Es el número de individuos con los que cuenta una población, este parámetro es dado por Bäck en referencia a trabajos realizados por De Jong y J.J. Grefenstette.

3.4. Extensiones y Variantes.

Con el afán de robustecer a los Algoritmos Genéticos Simples (AGs), varios investigadores proponen operadores y métodos de desarrollo naturales, que son capaces de lograr éste objetivo; mediante el uso de multi-criterios o de trabajar poblaciones de forma paralela (diferentes procesadores). Por lo que a continuación se describen algunos de ellos:

3.4.1. Coevolución.

Se define coevolución ...**“Al cambio en la composición genética de una especie (o grupo de especies) como respuesta a un cambio genético en otra. De esta manera más general y estricta, la coevolución es un cambio recíproco en especies que interactúan”...** [36].

Dentro de la computación evolutiva se han desarrollado algunos enfoques coevolutivos en los que generalmente se usan dos o más especies que se relacionan en alguna de estas modalidades que son: simbiosis, competencia, depredador, presa, parasitismo y que evolucionan de manera independiente a través de un algoritmo genético (propio), en la mayoría de los casos [36].

3.4.2. Paralelos.

Cuando se toma un algoritmo genético simple y queremos realizar paralelos con éste, podemos seguir tres enfoques distintos, esto son:

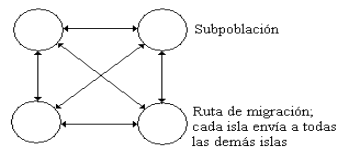
- Cada procesador opera independientemente en una población aislada de individuos, **compartiendo los “mejores” con los otros procesadores mediante el operador *migración***. Se suelen llamar algoritmos de grano grueso.
- Cada procesador hace una parte de cada paso del algoritmo (selección, cruce y mutación) sobre la población común. Llamados algoritmos de grano fino.
- Utilizar una implementación híbrida que sea combinación de las dos anteriores.

Cada procesador genera de forma independiente su propia subpoblación inicial de individuos. Después cada procesador lleva a cabo k generaciones de individuos, para lo que debe evaluar la capacidad, seleccionar los padres de la siguiente generación y realizar los cálculos de cruce y mutación en su subpoblación.

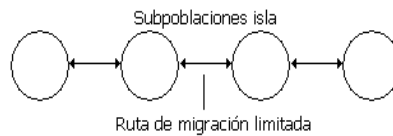
Para después de k generaciones los procesadores comparten sus mejores individuos con los otros procesadores y debido a la incorporación de la migración, ahora los cambios en una población no sólo proceden del cruce y la mutación, sino también de la introducción de nuevas especies. El operador de migración es responsable de varias tareas necesarias para realizar el intercambio de individuos; entre ellas seleccionar los emigrantes, enviar los emigrantes, recibir los inmigrantes e integrar los inmigrantes.

Los dos enfoques de **migración más populares son el modelo de la isla y el modelo de la ‘pasarela’ o ‘trampolín’ (stepping stone)**.

En el modelo isla, se permite enviar los individuos a cualquier subpoblación:



En el modelo de la 'pasarela' (stepping stone), la migración está limitada, ya que sólo se permite que los emigrantes se desplacen a las subpoblaciones vecinas



Se implementan algunos operadores genéticos (selección, cruce y mutación) en paralelo en la población global.

Existen cuatro estrategias de paralelización:

En el método centralizado, el maestro envía algunos individuos a los procesadores esclavos, los cuales calculan un número conocido de generaciones y envían sus resultados de vuelta al maestro, que ejecuta el algoritmo de cruce para la población completa.

El método semi-distribuido consiste en clusters de procesadores trabajando con el método centralizado e intercambiando soluciones entre ellos.

El método distribuido es la estrategia de grano grueso tradicional, donde cada procesador tiene su propia subpoblación e intercambia los mejores individuos cada cierto tiempo.

La implementación totalmente distribuida consiste en el método distribuido sin ningún intercambio de individuos, cada procesador ejecutando su propio algoritmo secuencial sobre una subpoblación sin comunicación.

3.4.3. Locales.

Para Lozano y García [38], los algoritmos genéticos locales (AGL) son procedimientos que iterativamente refinan soluciones dadas y que la diferencia con procedimientos de mejora iterativa clásicos reside en el uso de operadores genéticos para realizar el refinamiento.

Por lo que ellos proponen que un AGL esté basado en un AG estacionario que emplea un método de Crowding para favorecer la formación de nichos en la población. El AGL cruza iterativamente la solución actual, inicialmente dada, con individuos de la población pertenecientes a nichos cercanos a éste. Después, si el nuevo descendiente es mejor que la solución actual, ésta se inserta en la población por medio del método por agrupamiento llamado selección con torneo restringido y el descendiente se acepta como nueva solución actual.

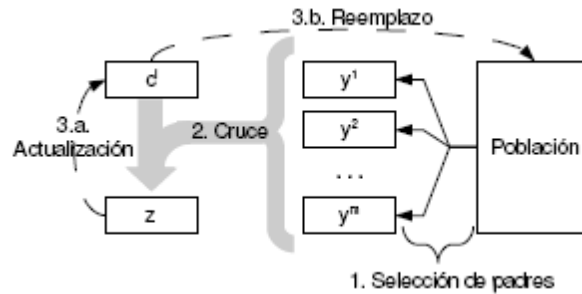


Figura 3.2. Esquema de un AG, propuesto por Lozano y García [38].

3.4.4. Multiobjetivo.

Se le llama un problema Multiobjetivo ó Multicriterio cuando en éste existen varios criterios que se deben cumplir para encontrar una solución simultáneamente. Por ello, la cualidad de un individuo es mejor descrita no por un escalar si no por una medida vectorial.

En un problema con objetivos no conmensurables en conflicto la mejora a cualquier combinación de estos objetivos representará una mejora en la solución total siempre y cuando no ocurra una degradación de los objetivos restantes. Por ser esto posible, entonces la solución actual se considera **como optima en "Sentido Pareto", "Pareto Optimo" o "No Dominada"**. El conjunto de todas las soluciones no dominadas es conocido como Frontera Pareto.

Los enfoques actuales para optimización multiobjetivo con algoritmos evolutivos se dividen en tres grupos [31]:

1. Función de Agregación. Los objetivos son numéricamente combinados dentro de una sencilla función objetivo para ser optimizada.

2. Basados en la población. Diferentes objetivos afectan la selección o des-selección de diferentes partes de la población en turno. Las aproximaciones basadas en categorías separadas de la población de acuerdo a cada objetivo también entran en esta categoría.
3. Basado en Pareto. La población es jerarquizada haciendo uso directo de la definición de dominancia de Pareto.

Existen varios métodos, sin embargo; en este apartado solo discutiremos éstos:

- **Acercamiento por la suma de los pesos.** Los n objetivos f_1, \dots, f_n son ponderados y sus pesos son llamados w_1, \dots, w_n . La suma de todos los factores es una medida escalar de costo para cada individuo. Esta medida puede ser usada como la base para la selección. Este método es ampliamente conocido, es intuitivo y simple de implementarse y puede ser usado prácticamente con todos los optimizadores.

Descripción Formal.

$$f(a_i) = \sum_{k=1}^n \omega_k f_k(a_i)$$

- Método de ϵ -perturbación. Se da cuando los objetivos son tratados como restricciones y solo uno es tratado como función

$$\text{Minimizar } f_k(\vec{x}),$$

$$\text{Sujeto a } f_j(\vec{x}) \leq \epsilon_j \quad \forall j \neq k$$

$$\vec{x} \in F$$

Para encontrar una solución Pareto-óptima, en un conjunto de valores de ϵ_j se escoge una función objetivo j -ésima (donde $j \neq k$). Posteriormente, el objetivo simple es limitado para resolver el problema de optimización, encontrando una solución A . Este procedimiento se continua con diferentes valores de ϵ_j para encontrar diferentes soluciones Pareto-óptimo.

- Clasificación por Pareto. Otro método muy simple para asignar la aptitud es utilizar los valores de aptitud que se reflejen directamente en la relación de prevalencia [34]. Las Figura 3.3 y la Tabla 3.2 ilustran las relaciones de Pareto en una población de 15 individuos y sus correspondientes valores objetivo f_1 y f_2 , ambos objeto de minimización. Para lograrlo, podemos imaginarnos dos diferentes aproximaciones:

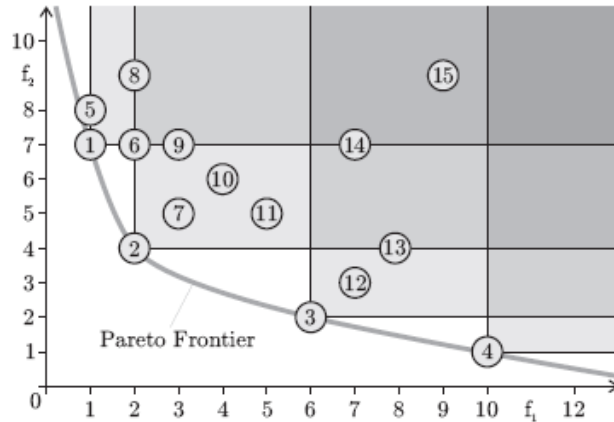


Figura 3.3. Ejemplo de escenario para una clasificación por Pareto [34].

Para cada individuo, se asigna un valor inversamente proporcional al número de individuos que se impone, como $v(p_1 \cdot x) = \frac{1}{|\{p_2 \in \text{Pop} : p_1 \cdot x > p_2 \cdot x\}| + 1}$. Se ha llenado la columna "Ap. 1" de la Tabla 3.2 con tal tipo de adaptación para la optimización por Pareto, por ejemplo, el caso especial donde la relación de la dominancia de Pareto se utiliza para definir la prevalencia. Los individuos que dominan a muchos otros obtendrán un valor de adaptabilidad menor que aquellos a los que se imponen muchos. Al revisar estos valores, la desventaja de esta aproximación es evidente: promueve a los individuos que residen en las regiones más saturadas de espacio del problema y desestima aquellos de las áreas de exploración escasa.

X	prevalece a	es prevalectido por	Ap. 1	Ap. 2
1	{5,6,8,9,14,15}	∅	1/7	0
2	{6,7,8,9,10,11,13,14,15}	∅	1/10	0
3	{12,13,14,15}	∅	1/5	0
4	∅	∅	1	0
5	{8,15}	{1}	1/3	1
6	{8,9,14,15}	{1,2}	1/5	2
7	{9,10,11,14,15}	{2}	1/6	1
8	{15}	{1,2,5,6}	1/2	4
9	{14,15}	{1,2,6,7}	1/3	4
10	{14,15}	{2,7}	1/3	2
11	{14,15}	{2,7}	1/3	2
12	{13,14,15}	{3}	1/4	1
13	{15}	{2,3,12}	1/2	3
14	{15}	{1,2,3,6,7,9,10,11,12}	1/2	9
15	∅	{1,2,3,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14}	1	13

Tabla 3.2. Tabla de la relación de dominancia de Pareto para la población que se ilustran en la Figura 3.3. [34]

Al hacer esto, logra exactamente lo contrario a lo que deseamos. En vez de explorar el espacio del problema y entregar una exploración amplia de la frontera de los candidatos a la mejor solución posible, centra todo esfuerzo en una trayectoria única. Obteniéndose únicamente un subconjunto de las soluciones mejores, incluso es posible que este método de asignación de la adaptabilidad lleve a una convergencia prematura a un óptimo local. Un buen ejemplo para este problema son los 4 individuos no-prevalentes {1, 2, 3, 4} de la frontera de Pareto. Donde la mejor adaptabilidad es asignada al elemento 2, seguido por el elemento 1. Aunque el individuo 7 es dominado (por 1), su adaptabilidad es mayor a la adaptabilidad del elemento no-dominado 3.

El candidato a solución 4 obtiene la adaptabilidad 1, la peor posible, ya que no prevalece a ningún otro elemento. Sus oportunidades de reproducción son igualmente bajas que aquellas del individuo 15 que es dominado por todos los demás elementos, excepto 4. Por lo tanto, ambos candidatos de solución muy probablemente no serán seleccionados y se desvanecerán en la siguiente generación. La pérdida del candidato 4 reducirá en gran medida la diversidad e incluso incrementará la concentración en el área cercana a 1 y 2 ya de por sí saturada.

Un acercamiento mucho mejor para la asignación de adaptabilidad basado directamente en la prevalencia se propuso por primera vez por Goldberg. En éste, la idea es asignar el número de individuos que prevalecen para cada candidato a solución. De esta forma, no ocurren los **efectos negativos previamente expuestos. Como se muestra en la columna "Ap2" de la** misma tabla, todos los 4 individuos no-prevalentes ahora tienen la mejor adaptabilidad posible 0. Por esto, la presión de exploración se aplica a un área mucho más amplia de la frontera de Pareto. Esta otra clasificación por Pareto se lleva a cabo, primero: removiendo todos los individuos no-prevalentes de la población y asignándoles el valor 0. Después, se realiza lo mismo con el resto de los individuos dominados únicamente por aquellos con clasificación 0 (ahora no-dominados) se removerán y obtendrán la categoría 1. Este procedimiento se repite hasta que a todos los candidatos de solución se les ha asignado una adaptabilidad propia. El algoritmo propone una forma simple de realizar la Clasificación de Pareto. Debido a que seguimos la idea de comparadores de más libre prevalencia en vez de relaciones de dominancia de Pareto, nos **referiremos en forma simultánea a este acercamiento como "Prevalence ranking"** (Comparación por prevalencia).

El algoritmo NSGA-II propuesto por Kalyanmoy Deb [42] se basa en el cálculo de este **"prevalence ranking"** al que se denomina pareto ranking. Deb mejora el cálculo de las

fronteras Pareto de $O(mN^3)$ descrito en el párrafo anterior a $O(mN^2)$ además de incorporar métodos de diversidad basados en distancias dentro de cada frontera.

3.5. Utilización en sistemas biométricos.

Los algoritmos genéticos han sido ocupados en una gran diversidad de problemas, por eso, nos es raro pensar que también puede ayudarnos a resolver algunos aspectos de los sistemas biométricos, por ejemplo un sistema de reconocimiento de locutor [39], a través de un algoritmo genético simple nos ayudan a realizar la búsqueda del vector característico en la población total, haciendo un proceso de verificación.

Sin embargo, para identificación o reconocimiento de patrones de firma no se encontró ningún documento, lo que no significa que no lo podamos utilizar en la parte de búsqueda o como una herramienta que apoye a otras para encontrar la mejor solución o estructura en el caso de modelos ocultos de Markov [41].

Por lo anterior se propone incluir a los algoritmos genéticos como una herramienta más para poder mejorar un sistema biométrico, en este caso en especial el de reconocimiento de una firma autógrafa.

El desarrollo de nuestro proyecto se describe en el capítulo siguiente.

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.

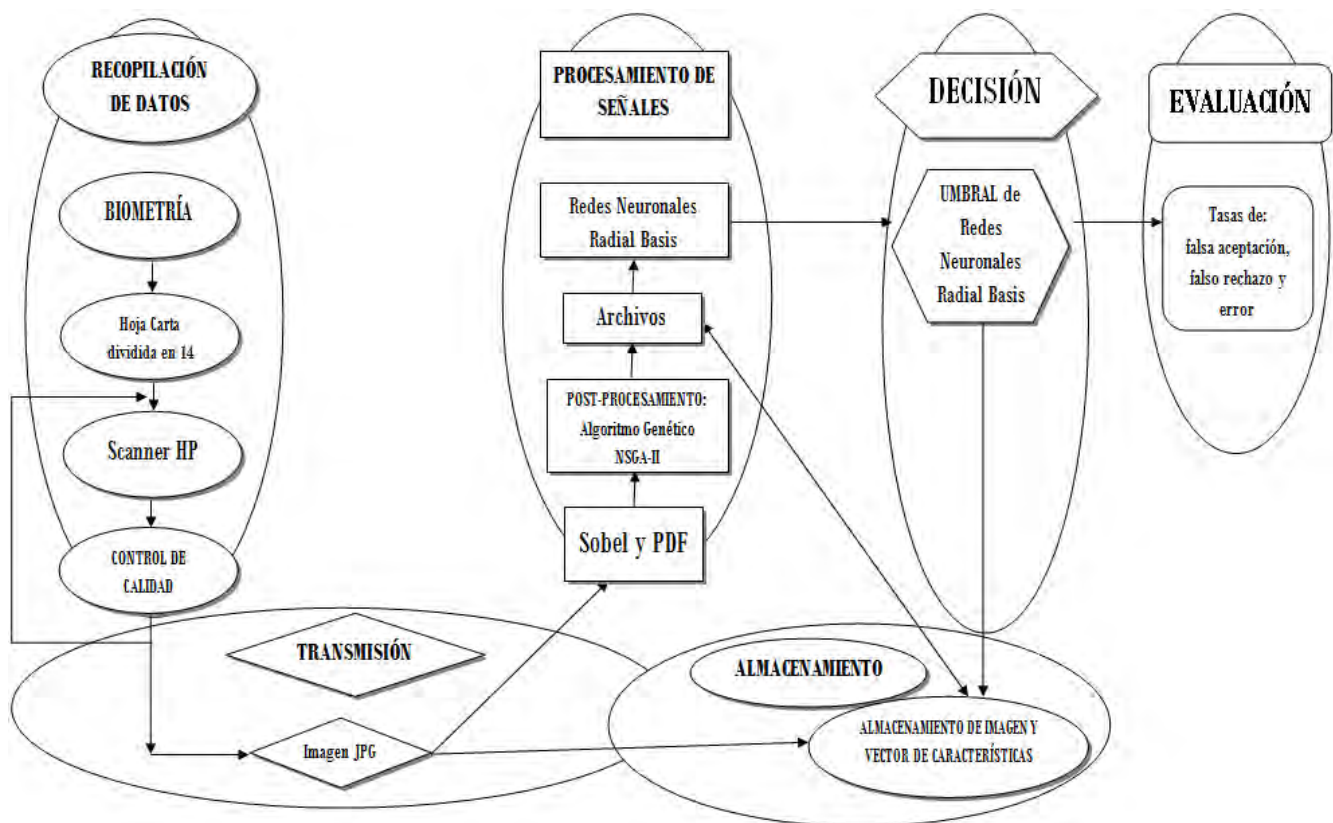


Figura 4.1. Diagrama tipo Wayman Modificado para su adecuación a las necesidades derivadas de las características propias del análisis off-line de una firma autógrafa.

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.

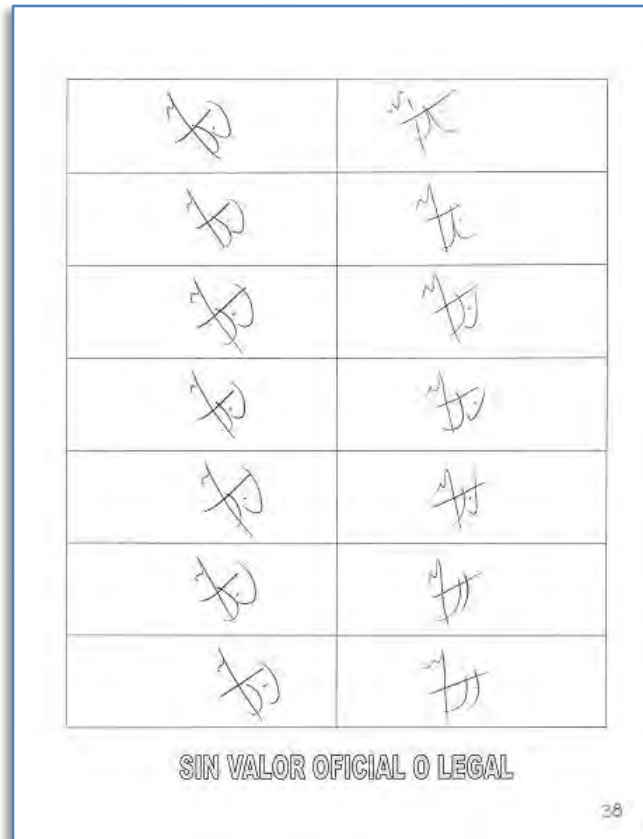


Figura 4.2. Ejemplo del formato de recolección de firmas utilizado que contiene un conjunto de firmas válidas para su utilización en el proyecto

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.

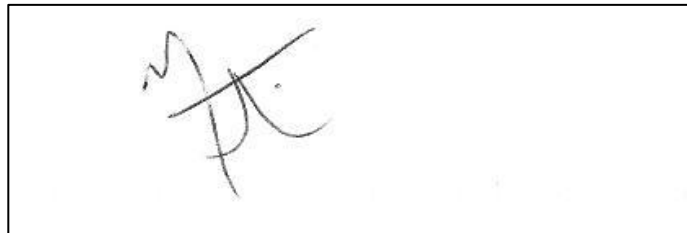


Figura 4.3. Firma recortada obtenida a partir de la plantilla utilizando Gradiente de Sobel para destacar los bordes y encontrar los puntos de corte.

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:

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

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.

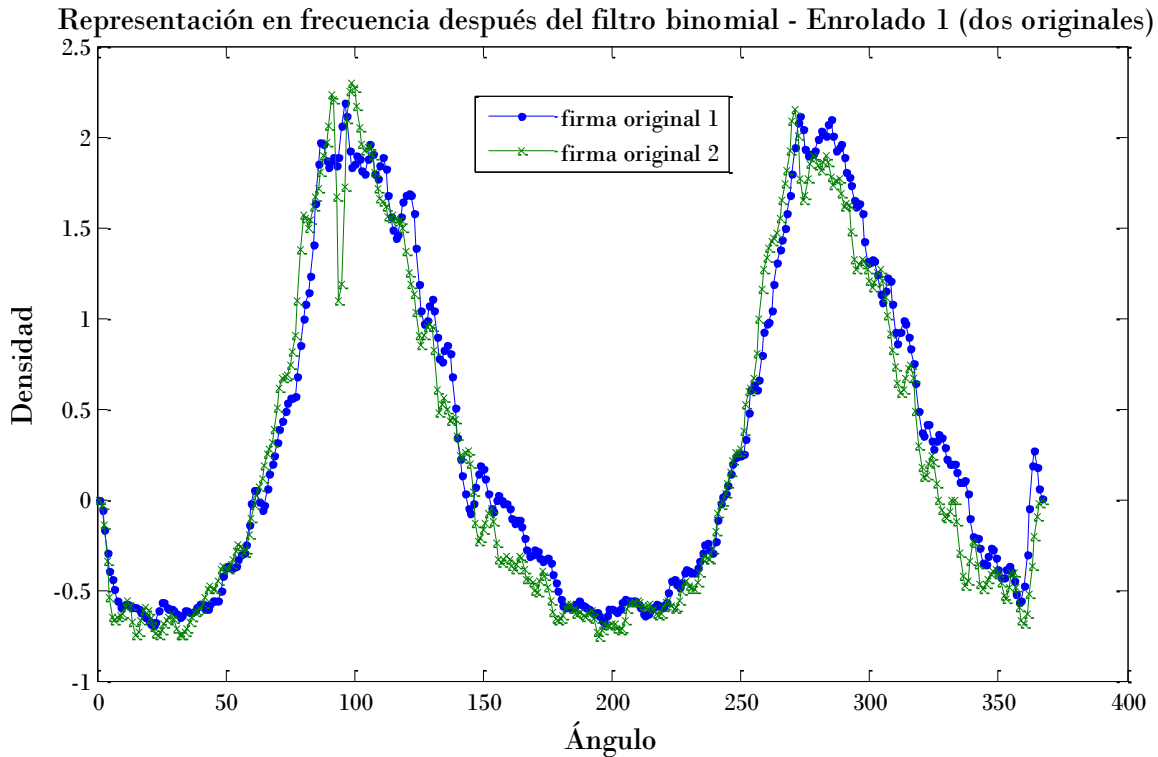
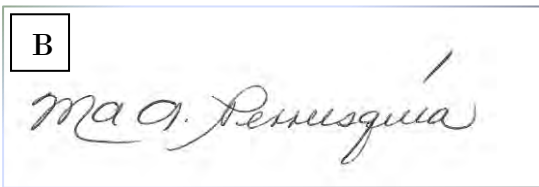
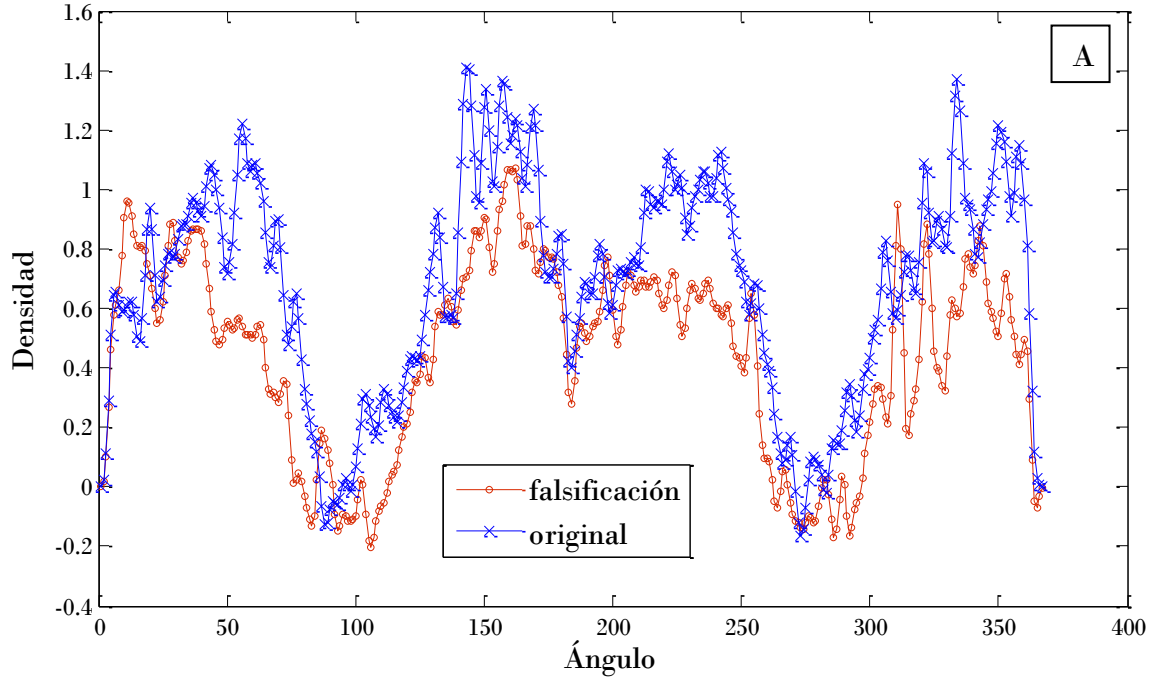


Figura 4.4. En esta figura se muestran dos vectores de características correspondientes a 2 firmas originales del enrolado 1, en el eje de las abscisas se describe la densidad y en el de las ordenadas el ángulo. Como puede observarse el eje de las ordenadas describe más de 360, esto se debe a la aplicación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



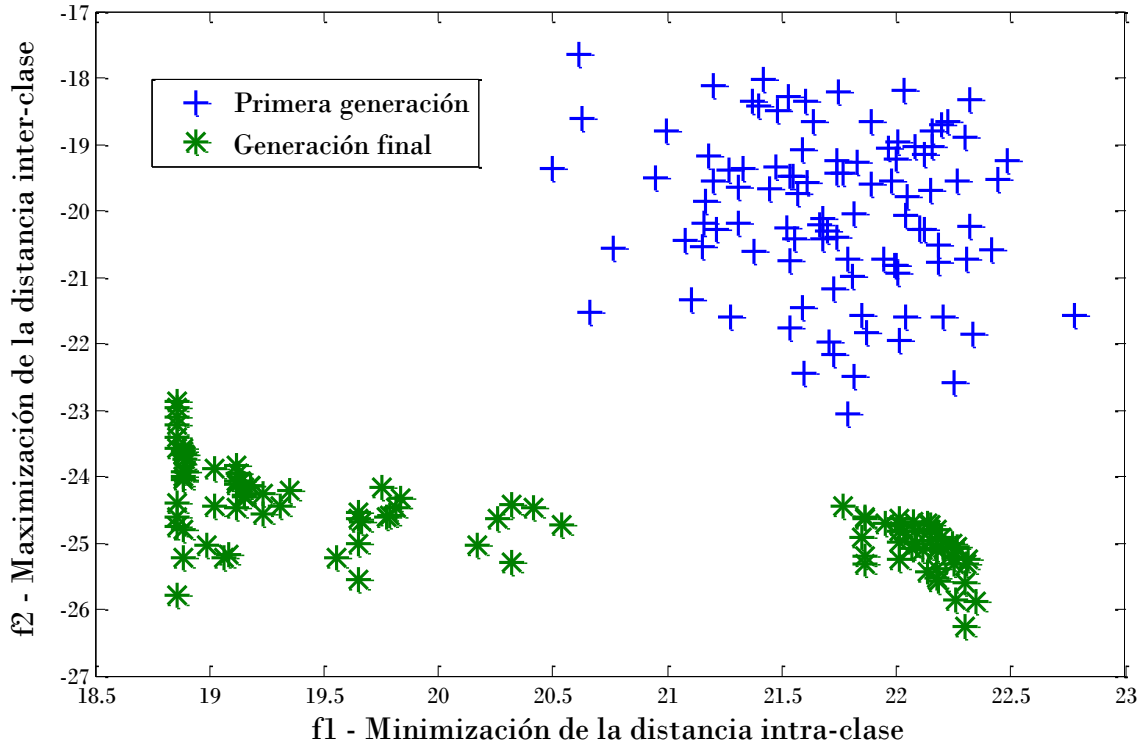
Figuras 4.5. Vectores de una firma auténtica y una falsificación de una de las personas enroladas y sus correspondientes grafos.

- 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”

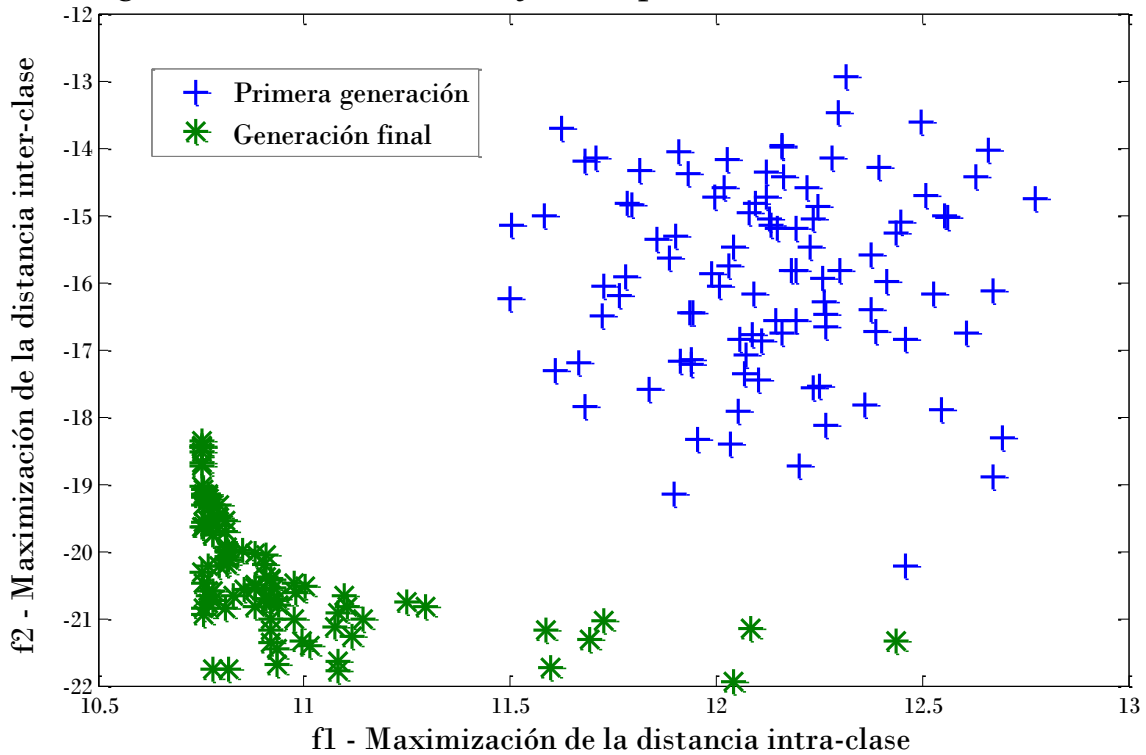
2. **Submuestreo.** Este proceso se realizó con la finalidad de obtener regiones representativas de cada una de las firmas, pues al observar las representaciones que ejemplifica la figura 4.5, se notó la existencia de áreas de coincidencias o de comportamientos similares entre las firmas.

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



Algoritmo Genético Multiobjetivo tipo Pareto NSGAI - Enrolado 35



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

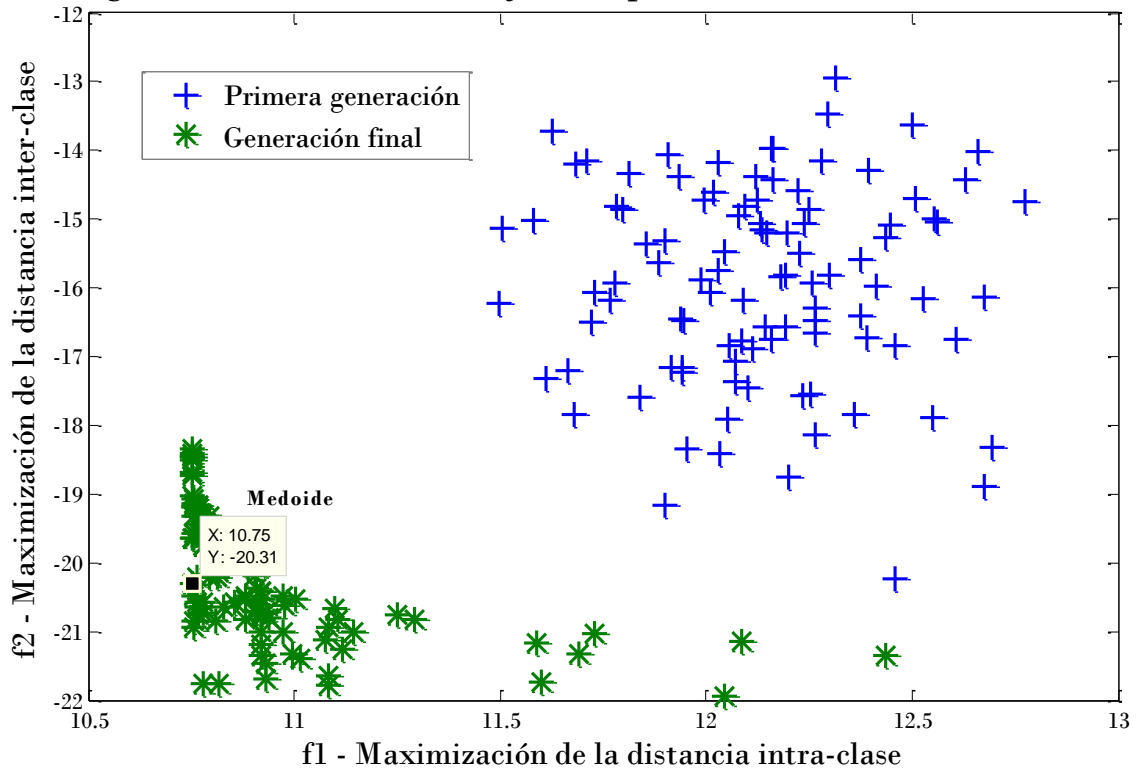


Figura 4.7. En esta figura se ilustra la ubicación del medoide que fue tomado como máscara.

Aplicación de la máscara al vector de características

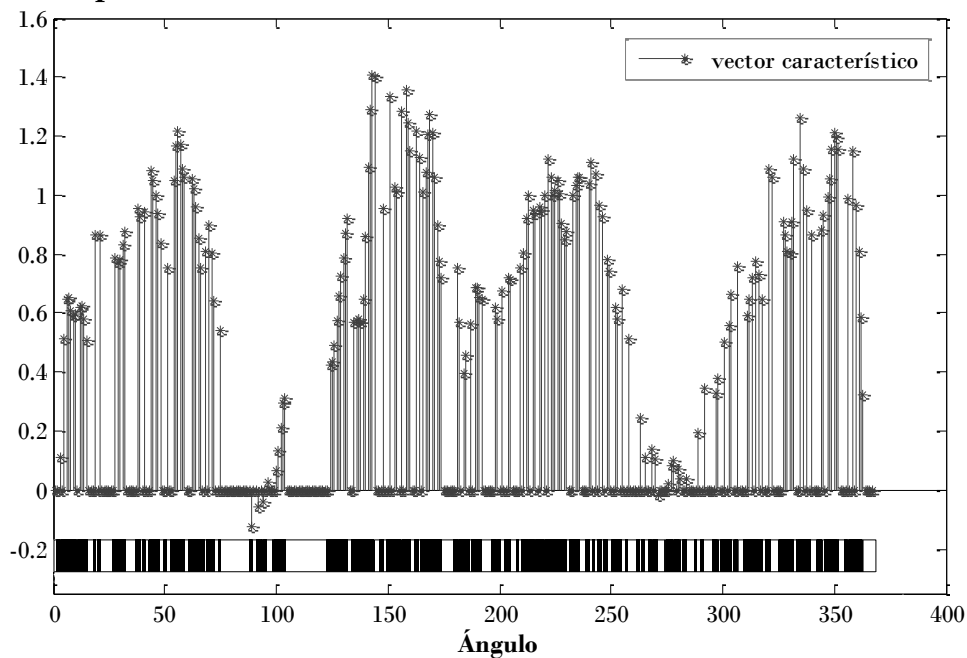


Figura 4.8. Como se ilustra en la gráfica, la máscara nos proporcionó las áreas representativas de cada uno de los vectores de las firmas de cada enrolado, pues recordando que en sus curvas en frecuencia se observan los comportamientos que pueden considerarse como los más complicados debido a los cruces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

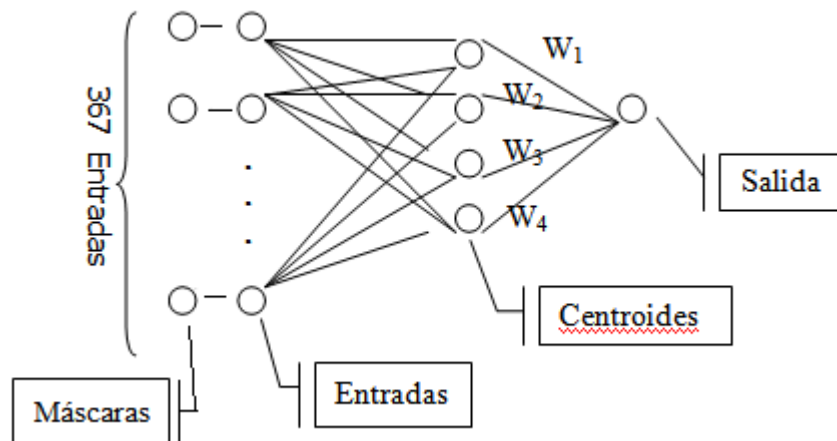


Figura 4.9. Esquema de la red Radial Basis Utilizado

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.

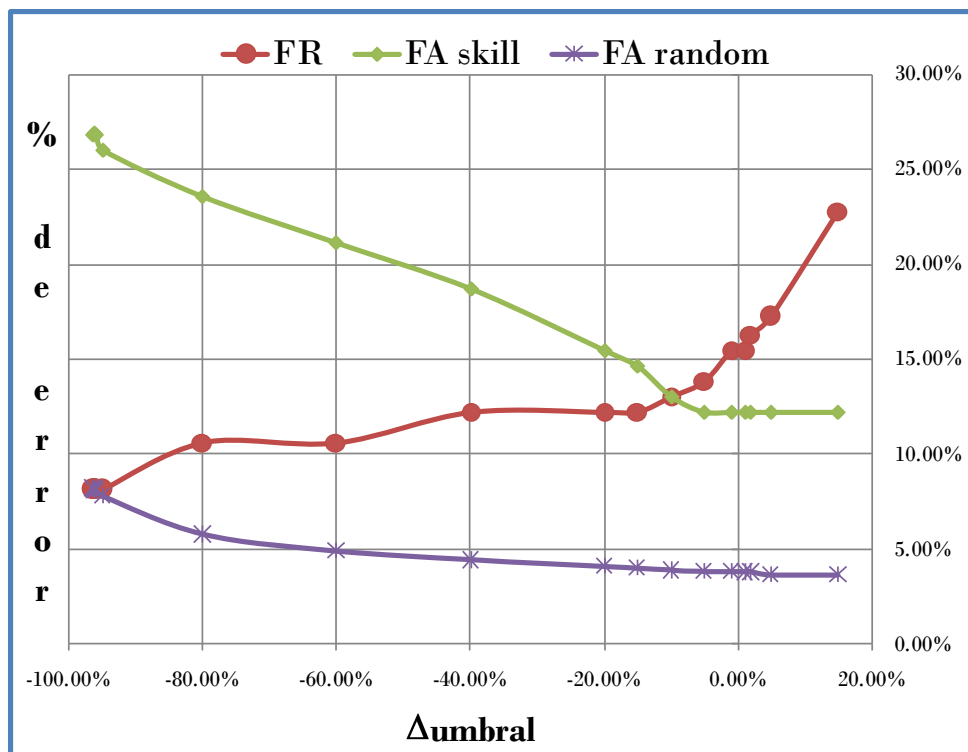


Figura 4.10. Representación gráfica del comportamiento de sistema con respecto a incremento del valor máximo obtenido (Δ umbral) al probar el sistema con 8 firmas autógrafas; compuesta con 4 firmas aleatorias y 4 firmas falsificadas.

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):

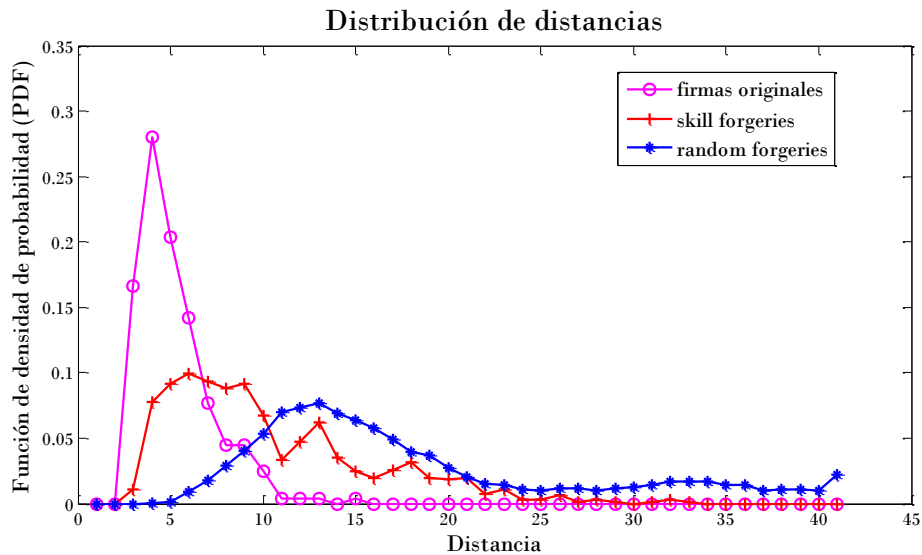


Figura 4.9. Distribución de distancias registrada para el proyecto

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 sombrados 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.

C O N C L U S I O N E S

A través de las bases teóricas obtenidas e implementadas durante el desarrollo de este trabajo se propusieron nuevas herramientas que anteriormente no habían sido utilizadas para la resolución de esta clase de problema. La exploración de estas herramientas nos permitió identificar una gama de posibilidades que al aplicarse podrían disminuir las tasas de falsa aceptación y falso rechazo en sistemas off-line.

El sistema desarrollado, descrito en el capítulo 4, se basó en el esquema propuesto por Wayman [2].

Este esquema describe dentro de su módulo de "reconocimiento de patrones" la extracción del vector característico. Misma que se realizó mediante PDF [8] (Función de Densidad de Probabilidad) que proporciona características generales de la firma. La caracterización mediante PDF incluye una etapa de submuestreo a intervalos regulares. Aquí se propuso la obtención de las regiones más representativas de la firma, con la finalidad de lograr una mejor distribución de distancias.

Es en este punto donde entran los Algoritmos Genéticos. Los AG Multiobjetivo NSGA-II[42] nos brindan la posibilidad de encontrar una población de soluciones que aproximan la frontera Pareto. Nuestro caso de estudio incluye dos objetivos, minimizar la distancia intra-clase y maximizar la distancia inter-clase por lo que mediante la aplicación de NSGA-II es posible encontrar soluciones optimizadas que combinen ambos criterios.

Para escoger la mejor opción dentro de la frontera Pareto, se utilizó un medoide el cual nos proporcionó las máscaras individuales que operaron sobre los vectores de características y que como ya se mencionó nos suministró un vector filtrado el cual solamente representa las áreas de interés. Este último vector se utiliza como entrada a una Red Neuronal de Base Radial, que al igual que los Algoritmos Genéticos es una herramienta poco usada en el procesamiento y reconocimiento de la firma autógrafa off-line. Generalmente de utilizarse redes neuronales, estas serían del tipo perceptrón.

La red de base radial nos proporcionó una muy buena efectividad al darnos porcentajes bajos de falsa aceptación y falso rechazo, con lo que se prueba que su utilización condujo a que el sistema mostrara robustez y fuera innovador.

Después de probar el sistema con un grupo de 123 firmas; en las que se incluyen originales, falsificaciones (Skill Forgeries) y aleatorias (Random Forgeries) cambiando el valor de umbral en cada etapa de la prueba se obtuvieron los resultados que se muestran en la *Tabla de Resultados* presentada en el Capítulo 4. Aquí se observa que el valor de la Tasa de Falsa Aceptación para

falsificaciones tanto entrenadas como aleatorias comparado con la Tasa de Falso Rechazo tienen un comportamiento inverso, ya que al incrementarse una, la otra disminuye.

También se verificó el desempeño del sistema sin la aplicación de máscara de submuestreo utilizando un umbral en el punto que corresponde a la Tasa Equal Error Rate ($\Delta_{\text{umbral}} = -10\%$). Los resultados obtenidos reportan una mejora, de 3 puntos porcentuales para falso rechazo, y más de 1 punto porcentual para ambas falsas aceptaciones entre los resultados arrojados por el sistema después de aplicar la máscara al vector característico.

Por otra parte, nos es preciso mencionar que las aportaciones propias de este trabajo demostraron ser valiosas para el mismo. Es el caso de las Redes Neuronales de Base Radial que aportaron una manera eficiente para lograr la verificación de la firma. Hasta donde llegó el alcance de esta investigación son herramientas que no habían sido aplicadas al reconocimiento de firma autógrafa.

Es importante señalar que en este trabajo cada enrolado tuvo su propio módulo generado de acuerdo a sus características individuales.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, podemos concluir que el rendimiento del sistema presenta una mejoría con la utilización un vector de características con enmascaramiento. Dicha mejoría, pese a no ser determinante, nos permitió ver la funcionalidad y las aplicaciones que pueden tener los Algoritmos Genéticos Multiobjetivo dentro de esta área de investigación. Además, el desarrollo del proyecto nos da pauta para nuevas ideas de cómo emplear los GAs dentro del reconocimiento de firmas autógrafas. Para nostras fueron una gran herramienta que hizo la diferencia.

A P É N D I C E A

PRUEBA PERICIAL GRAFOSCÓPICA

Es en el ámbito judicial donde se realizan la gran mayoría de las solicitudes para el análisis grafoscópico formal. Es a causa de las dudas que alguna de las partes pueda tener respecto a la autenticidad de un grafo o grafos presentes en un documento que se deriva la necesidad de contar con personal con conocimientos especializados que maneje los mecanismos y procesos regulados por los Códigos Procesales (civiles, penales, laborales, etc.) para emitir los documentos señalados como pruebas, en este caso la pericial.

Prueba

En el entorno jurídico una prueba se define como:

“justificación de la verdad de los hechos controvertidos en un juicio, hecha por los medios que autoriza y reconoce por eficaces la ley...”[33]

Para esclarecer una impugnación jurídica se aplican las máximas “el que afirma debe probar” y “el que prueba gana”.

En la jerga jurídica prueba tiene varias acepciones, según el punto de vista que se tenga en consideración:

- a) Si se le considera un *objeto*, se refiere a la materia o tema a probar. Para la grafoscopia se traduce en si la escritura o firma es falsa o auténtica.
- b) Tomándola como *órgano de prueba*, se trata de la persona física que participa en el proceso con los conocimientos del objeto de prueba. Es decir, el perito en grafoscopia.
- c) Como *medio de prueba*, se trata del pronunciamiento hecho por la persona física respecto al objeto de la prueba. En este caso, el dictamen que el perito emite.

Ya que las pruebas son parte fundamental de un proceso legal, están reguladas por la ley en la materia de que se trate (civil, penal, mercantil, laboral). Obedeciendo a los principios que garanticen la libertad en su desarrollo y la igualdad de las partes en el procedimiento.

Prueba pericial

Cuando en los asuntos que se someten a la decisión de los jueces se plantean temas que necesitan de conocimientos científicos o técnicos que están fuera del dominio común, y que debido a su grado de especialización no los posee un juez, se solicita el apoyo de una persona que cuente con dicho conocimiento para que quede a cargo de emitir la prueba judicial. Esta persona debe ser ajena (un tercero) al proceso judicial que se lleva a cabo.

Una prueba pericial en lo que respecta al **objeto** se convierte en el cuestionario a resolver por el perito. Según lo dicte la ley, puede ser que el perito deba limitarse a responder preguntas propuestas con antelación, sin ampliar las respuestas a cuestiones no planteadas, realizando operaciones y experimentos propios de su ciencia para ello.

Vista como **órgano de prueba** la pericial debe cumplir con dos tipos de condiciones:

- a) De carácter *objetivo*. El perito debe ser una persona calificada. Debe contar con un título en la materia que debe estudiar, o bien, debe contar con los conocimientos y experiencia si la materia sobre la que se realice el peritaje no requiera de un título.
- b) De naturaleza *subjetiva*: El perito debe siempre conducirse con imparcialidad, si el perito tiene alguna causa que le impida realizar su labor, como tener un vínculo familiar con alguno de las partes, debe excusarse de realizar su tarea.

Como **medio de prueba**, la pericial se plasma en el documento llamado dictamen.

Clases de peritos

Por una parte, un perito puede clasificarse en titulado o práctico. Siendo un perito titulado aquel que cuenta con una educación formal en una institución reconocida por el Estado y que cuenta con un título y una cédula profesional que abalen sus conocimientos. Un perito práctico es aquel que cuenta con los conocimientos suficientes y carece de título, para aquellas materias en que la ley no exija dicho título para su ejercicio.

Además de la clasificación anterior un perito puede clasificarse en oficial o privado. Un perito oficial es todo perito reconocido por la ley y los tribunales como un auxiliar para la impartición de justicia o bien un servidor o empleado público o de alguna dependencia descentralizada o desconcentrada, independientemente si éste es titulado o práctico.

Dictamen

El dictamen se plasma en un documento que también puede ser llamado informe.

El dictamen pericial tiene el fin específico de auxiliar a un juez en un área específica del conocimiento científico, artístico o técnico relacionado con los hechos presentados a su conocimiento como parte de un escrito realizado dentro de un proceso con el único objetivo de presentar formalmente los hechos antes mencionados.

Este dictamen demanda el cumplimiento de requisitos de forma y fondo:

- Requisitos de forma

“... Número de expediente, autoridad a quien va dirigido, nombre y domicilio del perito, la mención de que se comparece como perito y la referencia de la forma en que se acredita su calidad de perito... fecha y firma”[33]

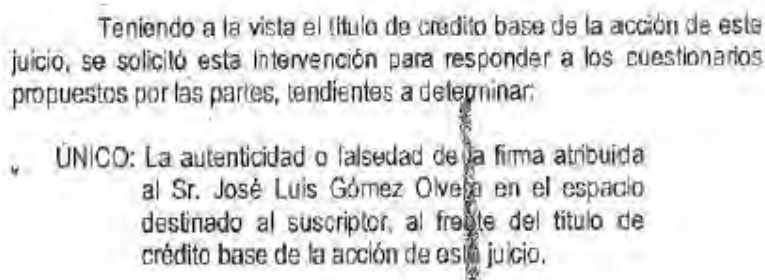


Imagen 1. Carátula de una prueba pericial grafoscópica, en esta pueden identificarse los elementos de forma, como a quien va dirigido, el número de expediente, nombre del perito, etc.

- Requisitos de fondo

Básicamente, un dictamen debe cumplir con los siguientes elementos comunes:

- a) Determinar el objeto de la pericia. Se recomienda transcribir el o los pliegos de las cuestiones propuestas para el estudio del perito. El resultado del peritaje puede tener a manera de resumen estos puntos o cuestiones, aclarando que así se está haciendo, pero siempre explicando que todas las cuestiones propuestas se estudiarán y en su caso se resolverán.

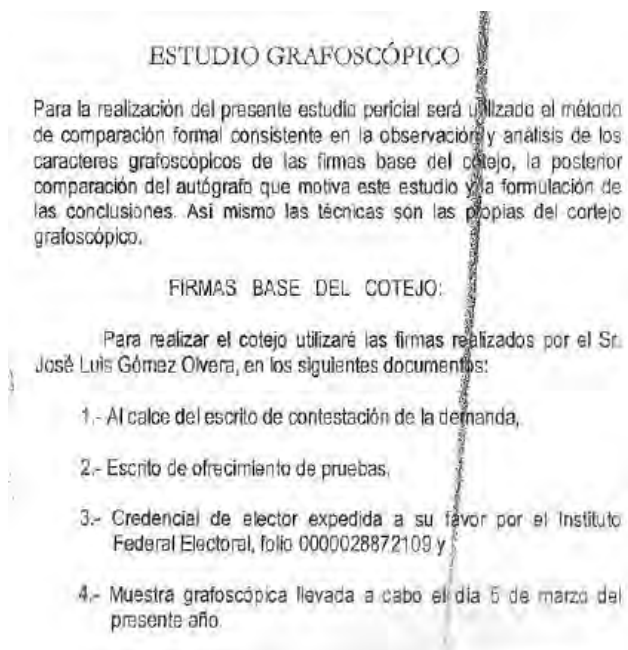


Teniendo a la vista el título de crédito base de la acción de este juicio, se solicitó esta intervención para responder a los cuestionarios propuestos por las partes, tendientes a determinar:

UNICO: La autenticidad o falsedad de la firma atribuida al Sr. José Luis Gómez Olvera en el espacio destinado al suscriptor, al frente del título de crédito base de la acción de este juicio.

Imagen 2. Requisitos de fondo: cuestión propuesta para el estudio del perito

- b) Señalar la metodología que se empleará, desde la observación del objeto material de la pericia, su reconocimiento, hasta su descripción. Así mismo, se debe incluir las operaciones, estudios o análisis de la ciencia o técnica que se aplicarán como apropiados para la clarificación de las cuestiones planteadas en la pericial.



ESTUDIO GRAFOSCÓPICO

Para la realización del presente estudio pericial será utilizado el método de comparación formal consistente en la observación y análisis de los caracteres grafoscópicos de las firmas base del cotejo, la posterior comparación del autógrafa que motiva este estudio y la formulación de las conclusiones. Así mismo las técnicas son las propias del cotejo grafoscópico.

FIRMAS BASE DEL COTEJO:

Para realizar el cotejo utilizaré las firmas realizadas por el Sr. José Luis Gómez Olvera, en los siguientes documentos:

- 1.- Al calce del escrito de contestación de la demanda,
- 2.- Escrito de ofrecimiento de pruebas,
- 3.- Credencial de elector expedida a su favor por el Instituto Federal Electoral, folio 0000028872109 y
- 4.- Muestra grafoscópica llevada a cabo el día 5 de marzo del presente año.

Imagen 3. Metodología utilizada.

- c) Presentar las conclusiones de manera clara, precisa y resumida, y de ser posible respondiendo concluyentemente a las cuestiones planteadas.

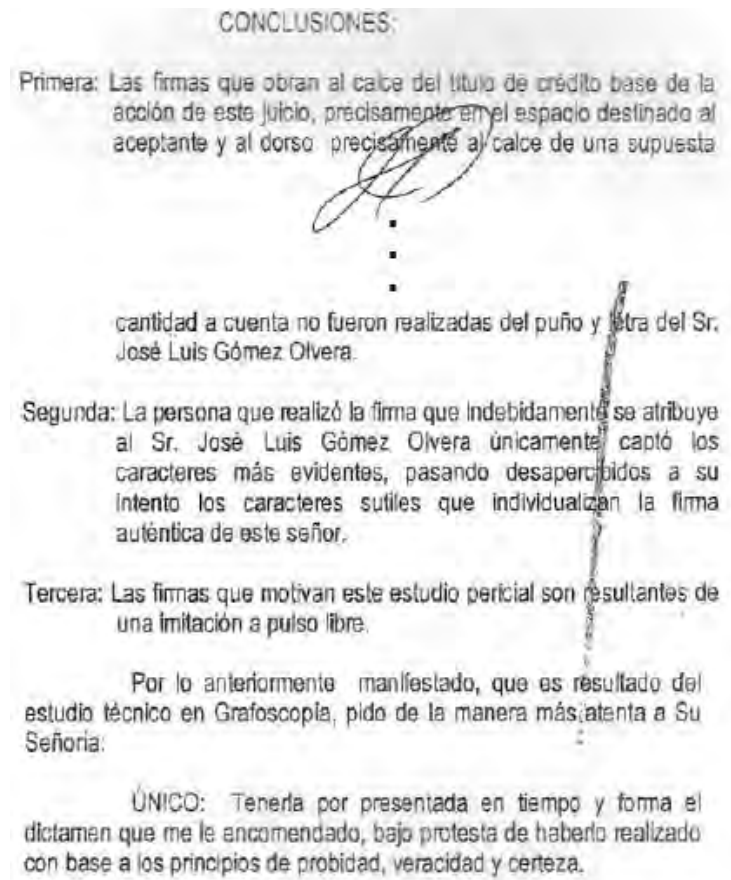


Imagen 4. Conclusiones y respuesta a la cuestión planteada al peritaje

Dictamen pericial grafoscópico

En nuestro país un perito grafoscopista pertenece a la clasificación de práctico. Con el objetivo de justificar los medios por los cuales adquirió los conocimientos en esta materia, presentará copia de las constancias que acrediten sus conocimientos a este respecto.

El dictamen pericial debe cumplir con los requisitos y condiciones exigidas para toda prueba: objeto, órgano de prueba y medio de prueba. Para que pueda concretarse el objeto de la pericia, además, este dictamen se concretará a responder a las cuestiones propuestas y se materializará en forma escrita para su presentación al juez.

Los requerimientos de forma son exactamente los antes planteados.

En lo que toca a los requerimientos de fondo, como ya se mencionó es recomendable una transcripción de los puntos a estudiar para así precisar el objetivo de la prueba. Presentando un resumen agrupando los asuntos que así lo permitan para hacer más claros los resultados del dictamen.

“... Todo dictamen pericial grafoscópico, parte del *objeto*, de las cuestiones planteadas, y será la ley que regule la materia (civil, penal, laboral, etcétera) la que determine si el perito exclusivamente se ocupe de responder las preguntas o cuestiones formuladas o extenderse a otras que pudiesen ser, a su juicio, de interés para la prueba, hacerlo siempre y cuando sea conveniente, para una mejor y precisa respuesta.”

Generalmente, cuando se lleva un problema de autenticidad de firma ante un juez, la parte interesada propone una prueba pericial caligráfica, cuando debería solicitarse una grafoscópica, error que resulta no tener importancia al precisar el objeto de prueba. Recae una mayor importancia en los cuestionamientos planteados para que resuelva el perito.

Una vez establecido el objeto de la prueba pericial, habitualmente en el dictamen se indican los documentos en que aparece la escritura o firmas individuales para su comparación incluyendo solamente el conjunto de escritura o de firmas señaladas por las partes en el proceso y aprobadas por la autoridad correspondiente. De incluir grafos no incluidos en el conjunto aprobado, el dictamen podría impugnarse. Para preservar el principio de seguridad jurídica y asegurar mejores condiciones posibles para el desarrollo del cotejo, es común que la ley reglamente los documentos que pueden utilizarse como *indubitables para cotejo*.

El perito debe manifestar en su dictamen que su estudio se realizó por cotejo sobre originales tanto de los documentos cuestionados como de indubitables y precisar quién y dónde se los mostró. En el caso de que alguno de los documentos fuera copia, debe precisar que así lo era y las circunstancias por las cuales su estudio se realizó en este tipo de documento.

Después de precisar el *objeto*, la escritura o firma cuestionada y las indubitables, el perito debe señalar la metodología utilizada en su estudio. Explicando las operaciones realizadas, presentando ejemplos del proceso, en fotografías, copias, fotocopias, ilustraciones, etc. Debe ser un estudio fundamentado, preciso, detallado con conclusiones claras y objetivas.

El perito debe tener siempre en cuenta que su dictamen debe satisfacer los siguientes requisitos de fondo:

Objetivo: No se realizarán consideraciones subjetivas como “supongo que ...”, “probablemente ...” sin que éstas cuenten con sustento en el material propuesto para su consideración.

Claro: Se empleará lenguaje sencillo, evitando en la medida de lo posible expresiones técnicas. Cuando éstas se utilicen, se explicará el significado de los términos utilizados.

Preciso: Abordará únicamente las cuestiones planteadas.

Además, como requisitos de forma, el perito dejará constancia de:

Exposición las cuestiones a resolver (de preferencia incluyendo el pliego de las mismas)

Estudio Las preguntas resueltas, también debe exponerse la metodología utilizada.

Resultados Las conclusiones a las que se llegó con base en el estudio y las metodologías utilizadas

En la práctica los peritos cuentan con las siguientes opciones, en lo correspondiente a la extensión de un peritaje:

Cotejos periciales detallados en los cuales se realiza un análisis de los elementos indubitados describiendo sus características estructurales, generales y particulares, especialmente los trazos y rasgos y, de estos últimos, los idiotismos que se hayan observado. A continuación se realiza un proceso similar sobre la firma de origen dudoso. Después, se procede a realizar una comparación de ambas dudosas e indubitadas mediante un análisis análogo a los anteriores. Siguiendo esta forma de construcción para el informe pericial, el especialista debe evaluar la pericia y el magistrado se enfocan a leer rigurosamente la conclusión.

Por otra parte, el dictamen donde el cotejo se explica en forma breve, concisa y categórica

Cadena de custodia.

El procedimiento que debe cumplirse para conservar y manipular los elementos probatorios, los documentos donde se encuentre la escritura o firma dudosa y las indubitables es llamado “cadena de custodia”. Tiene como objetivo impedir que se deterioren, sustituyan, inhabiliten y aún se destruyan dichos documentos, para que de esta forma se lleve a cabo su peritaje.

Desde el punto de vista la grafoscopia, la *cadena de custodia* es una medida de aseguramiento pericial que pretende conservar la propiedad de los elementos a estudiar por el perito [33].

A P É N D I C E B

MÉTODOS DE COMPRESION Y DESCOMPRESION.

JPEG (**J**oint **P**hotographic **E**xpert **G**roup)

[12] Método de compresión sofisticado lossy/lossless aplicable a imágenes de color y de escala de grises. Éste fue diseñado como una metodología para imágenes de tonos continuos, cuyo estándar (ISO/IEC IS 10918-1 | ITU-T Recommendation T.81 o ITU-T. IS 10918) consta de cuatro partes:

- Parte 1. Estándar JPEG básico, que define varias opciones y alternativas para la codificación de imágenes fijas con calidad fotográfica.
- Parte 2. Establece reglas y pruebas para asegurar que el software se ajuste a lo establecido en la parte 1.
- Parte 3. Establece un conjunto adicional de formatos para mejorar el estándar, que incluyen el formato SPIFF.
- Parte 4. Define métodos para el registro de algunos de los parámetros usados en JPEG extended.

El formato de archivo y la aplicación de referencia para desarrolladores de software fueron agregadas por C-Cube Microsystems, y se difundió públicamente con el nombre de JFIF. Probablemente la contribución más importante fue la implementación de software abierto que el Grupo Independiente JPEG que fue incorporada por varias compañías dentro de una variedad de productos tales como editores de imágenes y navegadores de Internet.

JPEG-LS / JPEG2000

JPEG-LS

Surgió de la revisión realizada al método lossless JPEG, ya que ésta podía mejorarse significativamente, para poder ofrecer un estándar de imágenes digitales que prácticamente no tuvieran pérdida de datos, las que serían de especial utilidad en la industria de imágenes médicas. El nuevo estándar se definió para la compresión lossless efectiva, y compresión prácticamente sin pérdidas, de imágenes de tonos continuos. Para que fuera prácticamente sin

pérdidas, se acordó en la necesidad de un esquema que garantizara un error máximo para la diferencia entre los datos obtenidos de la imagen original y los de la imagen reconstruida.

JPEG2000

JPEG 2000 es un sistema de codificación de imagen que usa técnicas de compresión de alto nivel, basadas en la tecnología de duración y frecuencia de onda. Su arquitectura debería llevar por si misma a un rango de usos muy amplio, desde en cámaras digitales portátiles, hasta la industria de impresión y publicación de medios, imágenes médicas, así como otros sectores clave.

El estándar JPEG 2000 está integrado por 12 partes bien definidas, que son descritas a continuación:

1. El núcleo del sistema de codificación (planeado para licencia y derechos de autor gratuitos – nótese bien patente NO gratuita)
2. Extensiones (características agregadas y sofisticación del núcleo)
3. Mecanismo JPEG 2000
4. Conformación
5. Software de referencia (implementaciones disponibles en Java y C)
6. Formato de archivos de imagen compuestos (documentación de imagen, para aplicaciones de impresión y publicación y tipo fax)
7. Ha sido abandonada
8. JPSEC (aspectos de seguridad)
9. JPIP (protocolos interactivos y API)
10. JP3D (imágenes volumétricas)
11. JPWL (aplicaciones wireless)
12. Formato básico de archivo de media ISO (común con MPEG-4)

JBIG

JBIG es la abreviación para el 'Joint Bi-level Image experts Group' Grupo Conjunto de Expertos en Imágenes bi-nivel. Este fue (y es) un grupo de expertos nominados por los integrantes de estándares internacionales y de las grandes compañías para producir estándares para la codificación de imágenes bi-nivel, quienes trabajan sobre los estándares ISO e ITU-T y son responsables por los estándares JPEG y JBIG.

JBIG ha desarrollado IS 11544 (ITU-T T.82) para la compresión lossless de imágenes bi-nivel. Puede utilizarse también para la codificación de imágenes en escala de grises y de color con un número limitado de bits por píxel. Puede verse como una forma de codificación fax símil. Ofreciendo entre un 20 y un 80% de mejora en la compresión sobre los métodos de los Grupos 3 y 4 de fax.

Más recientemente, el trabajo ha llegado casi a su culminación técnicamente hablando en un nuevo estándar llamado JBIG2 que ofrece ventajas técnicas significativas sobre las codificaciones bi- nivel MMR y JBIG1 como las que se enumeran a continuación:

Incremento en el desempeño de la compresión, entre 3 y 5 veces menor que el grupo 4 de MMR, y entre 2 y 4 veces más pequeña que JBIG1.

Métodos de compresión especiales para texto, medio tono, y otros contenidos de imágenes binarias.

Compresión lossy y lossless.

Compresión de documentos multi-página.

Formato flexible, diseñado para ser fácilmente incluidos en otros formatos de imágenes, tales como TIFF.

Aplicación de la codificación de Huffman.

Este método puede definirse a grandes rasgos como un algoritmo para la compresión de archivos sin pérdida de datos (lossless). Se basa en la frecuencia de ocurrencia de un símbolo en un archivo que será comprimido. El algoritmo Huffman está basado en codificación estadística, lo que significa que la probabilidad de un símbolo tiene una directa relación con el tamaño de su representación. Hay mayor probabilidad de ocurrencia de un símbolo, mientras más corto sea el tamaño de su representación en bits.

La compresión Huffman es un sistema de longitud variable que asigna los códigos más pequeños a aquellos caracteres más frecuentemente usados y los códigos más largos a aquellos menos frecuentes. Esto sirve para reducir el tamaño de los archivos.

En el presente trabajo se digitalizarán las imágenes de las firmas bajo formato JPEG debido a que las características ofrecidas por este tipo de archivos subsanan las necesidades que conllevan los análisis

que se llevarán a cabo y a uno de los principales formatos que un escáner casero ofrece para la digitalización de imágenes es precisamente JPEG.

Descompresión

JPEG

El decodificador JPEG trabaja computando una operación inversa del DCT (IDCT). De la misma forma que la codificación, la decodificación JPEG se realiza por medio de las tablas para los tres componentes de color. En el momento de la codificación se definirá la estructura de las éstas, y en cuando sea necesario descomprimir la imagen volverán a utilizarse. Pueden utilizarse tanto tablas estándar como definidas de acuerdo a las necesidades propias. Algunas variantes de JPEG utilizan una codificación aritmética especial, que es especificada en el estándar JPEG. Esta versión de codificación aritmética es adaptativa, por lo que no necesita de tablas de coeficientes.

JPEG-LS

El decodificador JPG-LS no tiene diferencias significativas del codificador, por lo que JPG-LS es casi un método simétrico de compresión. La cadena comprimida contiene segmentos de datos (con los códigos de Golomb y las cadenas corridas codificadas), marcadores de segmento (con la información que el decodificador necesita), y marcadores (se utilizan algunos e os marcadores reservados de JPEG). Un marcador es un byte de unos seguidos de un código especial, que señala el comienzo de un nuevo segmento. Si un marcador es seguido por un byte cuyo bit más significativo es 0, ese byte es el comienzo de un segmento tipo marcador. De lo contrario, ese byte comienza un segmento de datos.

JBIG

El estándar JBIG aborda los detalles del decodificador y de formato del archivo comprimido. Es implícito que cualquier codificador que genera un archivo JBIG es un codificador JBIG válido. Realiza una descompresión de alto desempeño: con la utilización de algunos módulos, las imágenes pueden descomprimirse a altas velocidades.

Cuando el codificador decide utilizar ya sea un template de 2 o 3 líneas, establece un parámetro dentro del archivo comprimido a 0 o 1 para indicar la elección al decodificador. Un template de 2 líneas resulta en una ejecución de compresión y descompresión más rápida que la del template de 3

líneas. Cuando cualquiera de las líneas, a excepción de la primera, se decodifica el codificador conoce los píxeles de baja resolución pertenecientes a la capa precedente.

El codificador utilizar cualquier píxel, menos el especificado en el template, como píxel adaptativo, además de 2 parámetros por cada capa para indicar al decodificador la ubicación real de los píxeles adaptativos en esa capa.

Para el caso de la compresión progresiva, dado que la imagen está dividida en grupos de 4x4 píxeles, se tiene un número par de renglones y columnas. La convención de límites JBIG establece que una imagen puede expandirse si y cuando sea necesario, al sumar columnas de píxeles 0 a la izquierda y a la derecha, y al replicar el renglón inferior tantas veces como sea necesario. JBIG también incluye excepciones a la regla anterior para preservar límites, líneas verticales y horizontales, patrones periódicos así como patrones poco estables en la imagen. Utiliza tablas tanto para el codificador como para el decodificador cuyos píxeles de alta resolución pueden inferirse de sus padres y hermanos. JBIG puede utilizar dos tablas de predicción determinística para la codificación que posteriormente utilizará el decodificador en los procesos de extracción. El estándar JBIG especifica el uso de la tercera y cuarta tablas de predicción para la predicción de los valores de píxel.

JBIG2

De forma similar a JBIG, el decodificador comienza al inicializar el buffer de página a un valor, 0 o 1, de acuerdo al código que lee del archivo comprimido. Para después leer el resto del archivo segmento a segmento con un procedimiento distinto. JBIG2 cuenta con 7 procedimientos principalmente.

1. Decodificación de las cabeceras de segmento. Cada segmento inicia con una cabecera que incluye, entre otros datos y parámetros, el tipo de segmento, el destino de la salida del segmento descomprimido, y que otros segmentos tienen que utilizarse en la decodificación de este segmento.
2. Decodificación de región genérica. Se llama a éste procedimiento cuando el decodificador encuentra un segmento que describe tal tipo de región. El segmento está comprimido ya sea con un código aritmético o con MMR, y el proceso de descomprimirlo (píxel por píxel para el caso anterior hasta terminar con los píxeles al final). En el caso de una codificación aritmética, los píxeles previamente decodificados se utilizan para formar un contexto predictivo. Una vez que un píxel es decodificado, el procedimiento no simplemente lo almacene en el buffer de página, sino que se combina con el píxel que esta de antemano en el buffer de acuerdo a una operación lógica (AND, OR XOR o XNOR) especificada en el segmento.

3. Decodificación de región de refinamiento genérica. Éste es similar al anterior excepto que modifica un buffer auxiliar en vez de un buffer de página.
4. Decodificación del diccionario de símbolos. Se llama a éste procedimiento cuando el decodificador encuentra un segmento este tipo de diccionario. El diccionario se descomprime y es clasificado como una lista de símbolos. Cada símbolo es un mapa de bits que puede ser explícitamente especificado en el diccionario o se especifica como una mejora (modificación) de un símbolo conocido (de un símbolo precedente en el diccionario o un símbolo de otro diccionario existente) o es especificado como un conjunto (una combinación lógica) de varios símbolos conocidos.
5. Decodificación de región de símbolos. Se utiliza cuando el decodificador encuentra un segmento describiendo este tipo de región. Se descompone el segmento para producir una triada. Una triada para un símbolo contiene las coordenadas del símbolo relativas al símbolo anterior, y un puntero (índice) al símbolo en el diccionario de símbolos. Debido a que el decodificador puede mantener varios diccionarios de símbolos en cualquier momento, el segmento debe indicar cual diccionario se está utilizando. El mapa de bits del símbolo traído del diccionario, y los pixeles se combinan en el buffer de página de acuerdo a la operación lógica especificada para el segmento.
6. Decodificación de diccionario de medio tono. Se hace uso de éste cuando el decodificador encuentra un segmento que contiene este tipo de diccionario. El diccionario se descomprime y se almacena como una lista de patrones de medio tono (mapas de bits de tamaño fijo)
7. Decodificación de región de medio tono. Se usa cuando el decodificador se encuentra un segmento que describe este tipo de sección. Se descomprime el segmento en un conjunto de punteros (índices) a los patrones del diccionario de medio tono.

Huffman

Se realiza a partir del árbol de decisión creado para la compresión de la imagen. En el código de Huffman la propiedad del prefijo asegura que el código es descifrable singularmente. Las reglas de construcción de un árbol de decisión que resulta en un código que es decodificable instantáneamente son el fundamento en el cual se construye el código de Huffman.

A P É N D I C E C

MÉTODO DE OTSU

Método de Propuesto por Otsu.

En el pre-procesamiento de imágenes así como en el reconocimiento de patrones, la parte principal es la selección del umbral; Otsu propone para un histograma de una imagen en escala de grises una selección automática de éste, que se realiza de la siguiente manera [18-17]:

Una imagen es una función bidimensional de la intensidad del nivel de gris, y contiene N píxeles cuyos niveles de gris se encuentran entre 1 y L . El número de píxeles con nivel de gris i se denota como f_i , y la probabilidad de ocurrencia del nivel de gris i en la imagen está dada por:

$$(1) P_i = \frac{f_i}{N}$$

En el caso de la umbralización en dos niveles de una imagen (a veces llamada binarización), los píxeles son divididos en dos clases: C_1 , con niveles de gris $[1, \dots, t]$; y C_2 , con niveles de gris $[t+1, \dots, L]$. Entonces, la distribución de probabilidad de los niveles de gris para las dos clases es:

$$(2) C_1: \frac{P_1}{\omega_1(t)}, \dots, \frac{P_t}{\omega_1(t)}$$

$$(3) C_2: \frac{P_{t+1}}{\omega_2(t)}, \frac{P_{t+2}}{\omega_2(t)}, \dots, \frac{P_L}{\omega_2(t)}$$

Donde

$$\omega_1(t) = \sum_{i=1}^t P_i \quad \omega_2(t) = \sum_{i=t+1}^L P_i$$

También, la media para la clase C_1 y la clase C_2 es:

$$\mu_1 = \sum_{i=1}^t \frac{i \cdot P_i}{\omega_1(t)} \quad \mu_2 = \sum_{i=t+1}^L \frac{i \cdot P_i}{\omega_2(t)}$$

Sea μ_T la intensidad media de toda la imagen. Es fácil demostrar que

$$\omega_1 \cdot \mu_1 + \omega_2 \cdot \mu_2 = \mu_T \quad \omega_1 + \omega_2 = 1$$

Usemos un ejemplo para tener bien claro lo visto hasta aquí. Supongamos un imagen de $N=100$ píxeles con cuatro niveles de gris comprendidos en $[1,4]$ (1 el negro, 4 el blanco) y supongamos también que el número de píxeles con nivel de gris 1 es 10; con nivel de gris 2, 20; con nivel de gris

3, 30; y con nivel de gris 4, 40; es decir, $f_1=10$, $f_2=20$, $f_3=30$, y $f_4=40$. Luego, $p_1=f_1/N=0.1$, $p_2=0.2$, $p_3=0.3$, y $p_4=0.4$. Entonces, para una umbralización en dos niveles de esta imagen tomemos $t=2$ de manera que la clase C_1 consista en los tonos de gris 1 y 2, y la clase C_2 posea los tonos 3 y 4. De esta manera, $\omega_1(t)=0.1+0.2=0.3$ y $\omega_2(t)=0.3+0.4=0.7$, y se comprueba que $\omega_1(t)+\omega_2(t)=1$. Por último, la media para la clase C_1 y para la clase C_2 estará dada por:

$$\mu_1 = \sum_{i=1}^t \frac{i \cdot P_i}{\omega_1(t)} = \frac{(1 * 0.1) + (2 * 0.2)}{0.3} \approx 1.667$$

$$\mu_2 = \sum_{i=t+1}^L \frac{i \cdot P_i}{\omega_2(t)} = \frac{(3 * 0.3) + (4 * 0.4)}{0.7} \approx 3.57$$

$$\text{y } \mu_T = \omega_1 \cdot \mu_1 + \omega_2 \cdot \mu_2 = 0.3 * 1.667 + 0.7 * 3.573 \approx 3$$

Sigamos con el método. Usando análisis discriminante, Otsu definió la variancia entre clases de una imagen umbralizada como

$$(4) \sigma_B^2 = \omega_1 \cdot (\mu_1 - \mu_T)^2 + \omega_2 \cdot (\mu_2 - \mu_T)^2$$

Para una umbralización de dos niveles, Otsu verificó que el umbral óptimo t^* se elige de manera que σ_B^2 sea máxima; esto es

$$(5) \boxed{t^* = \max_t \{\sigma_B^2(t)\}} \quad 1 \leq t \leq L$$

Método de Otsu mejorado.

El método de Otsu, aunque es usado en la actualidad, también ha sido modificado para hacerlo más eficiente, a continuación se expondrá la modificación al método de Otsu realizada por Songcan Chen y Daohong Li de la universidad de Nanjing [19].

En este método, el criterio discriminante enfatizará la homogeneidad en la distribución del objeto en escala de grises, mientras que, intencionalmente, no enfatizará la heterogeneidad del fondo tal que una nueva binarización o método de umbral puede sobreponer algunos defectos del famoso método de Otsu.

Para el mundo real, el método de Otsu contempla tanto que el objeto como el fondo tienen una uniformidad y homogeneidad en los niveles de gris, a tal punto que se pueden usar separadamente

medios para representarlos a cada uno. Sin embargo, en algunos casos el fondo y el objeto pueden no estar completamente separados.

De forma intuitiva, los pixeles en el objeto son más uniformes y homogéneos en el objeto que en el fondo, significa que el fondo posee probablemente más heterogeneidad y no-uniformidad en la distribución y por lo tanto produce más diferencias y diversidad en los niveles de grises. Por lo tanto adoptaremos una forma simple de representar el fondo, obteniendo un resultado posible de una estimación del umbral parcial. En suma, el método de Otsu solo toma en cuenta los pixeles en los niveles de grises, pero descuida la distribución espacial y la relación contextual entre los mismos pixeles que pertenezcan tanto al objeto de interés como al fondo al mismo tiempo con una extensión. Aunque el criterio Know, incorpora la distribución espacial o información de los pixeles vecinos coordinantes dados en la imagen, éste descuida la continuidad del objeto de niveles de escala de grises, por lo que se da más énfasis al rol jugado por los números de los pixeles en las dos clases en la imagen sino que también entre los mismos niveles de grises.

Para solucionar los problemas encontrados en Otsu, el método mejorado propone un nuevo criterio discriminativo dado por $J_{LC}(T)$; el aspecto fundamental será la segmentación del objeto dada la imagen y al mismo tiempo, se asumirá que únicamente el objeto tiene homogeneidad en los niveles de grises. Como resultado, el problema de selección del umbral puede ser considerado como un problema en términos del método de Otsu, ejemplo: seleccionamos un óptimo nivel de gris $T^* \in \{0, 1, 2, \dots, L-1\}$ hecho para continuar con el nuevo criterio $J_{LC}(T)$, se minimiza:

$$J_{LC}(T) = \frac{p_1(T)}{p_2(T)} = \frac{\sum_{(x,y) \in O} [\lambda(g(x,y) - m)^2 + (1 - \lambda)(g(x,y) - m)^2]}{\sum_{(x,y) \notin O} [\lambda(g(x,y) - m)^2 + (1 - \lambda)(g(x,y) - m)^2]}$$

Y por consiguiente

$$T^* = \arg \min_{0 \leq T \leq L-1} J_{LC}$$

Donde

$$m = \frac{1}{|O|} \sum_{(x,y) \in O} g(x,y), p_1(T) = \frac{1}{|O|}, p_2(T) = \frac{1}{N-|O|}, O \text{ es el conjunto de pixeles pertenecientes al objeto } g(x,y)$$

Denotando que el nivel de gris del pixel (x,y) , $g(x,y)$ es el promedio local del nivel de gris del pixel y definido como $g(x,y) = \frac{1}{|\mu|} \sum_{(u,v) \in W} g(u,v)$, y que :

- “W” es una ventana centrada como (x,y) y el tamaño es $|W|$ es usualmente tomado como 3X3 o 5X5.
- “m” es el número de niveles de gris del objeto.
- “N” el total del número de pixeles dados en la imagen.
- “a ($a \geq 0$)” es un exponente y ajuste $(P_1(T)/P_2(T))^a$ para lograr algún cambio.
- “ λ ($0 \leq \lambda \leq 1$)” también es un parámetro ajustable para cambiar la proporción entre niveles de gris de cada pixel y esto es localmente un promedio de niveles.

El numerador en la ecuación (6) únicamente mide la similaridad dentro el objeto-clase. Al despejar su numerador va a reflejarse un espacio local continuo u homogeneidad entre los pixeles del objeto. Esto es llamado **“Centrar en el objeto”**. Y el denominador en (6) significa que el de la clase-fondo es distinto de aquel de la clase objeto. Un valor grande en el denominador significa que dos clases están separadas más uniformemente cuando el fondo es heterogéneo.

Por lo tanto, el criterio propuesto se centra tanto en la similaridad de la clase-objeto con si mismo como en la no similaridad entre el fondo y el objeto, está dirigido a mejorar el problema derivado de la heterogeneidad del fondo. Al mismo tiempo que elimina el ruido.

A P É N D I C E D

MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA EXTRACCIÓN DE VECTOR CARACTERÍSTICAS.

Código extendido de Sombras.

Burr ha propuesto el código de sombras como una característica hecha a la medida para el reconocimiento de caracteres pertenecientes a firmas autógrafas [21].

Consiste en la superposición de un arreglo de máscaras de barra sobre la imagen binaria de una firma autógrafa. Siguiendo a Burr, se asume que cada barra es una luz de detección que relaciona un área espacial limitada para señales 2D. La operación de proyección de sombras se define como las proyecciones simultáneas de cada pixel negro de forma horizontal, vertical y diagonal en relación a las barras Figura D.1. La proyección de la sombra transforma al conjunto de bits de forma que los distribuye uniformemente a lo largo de la barra. Después todos los pixeles de una firma son proyectados, el número de los bits proyectados en las barras son contados. La forma perteneciente a la firma es, por lo tanto, representada por un vector característico con cardinalidades iguales al número de barras, con valores numéricos normalizados en el rango de [0-1].

La lógica del Código extendido de sombras permite la proyección local de la firma. Así, estos factores de la forma parecen ser un buen compromiso entre las características globales relacionadas con el aspecto general de la firma, y las características locales relacionadas con las medidas hechas en partes de la firma.

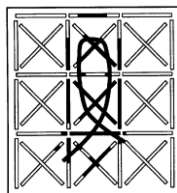


Figura D.1. Firma superpuesta y proyectada en las barras; figura basada en el artículo de Robert Sabourin [21].

Blobs

Esta técnica se basa en el seguimiento del contorno de la firma, pues a través de ella y del estudio de la conectividad se analizan estructuras Blob que conforman la imagen de la firma. Un blob representa una estructura continua identificable en una imagen por ser de un color distinto de su fondo [4].

En el conjunto de blobs, el resultado obtenido de la conectividad incluye información, además es posible conocer la estructura jerárquica que relaciona cada blob de la imagen con el resto de blobs mediante su relación de parentesco.



Figura D.2. Firma que muestra distribución de Blobs, ejemplo mostrado en el artículo de Justino Edson J.R. [4]

En la Figura D.2 se incluyen en azul los blob pieza o padre del fondo de la imagen y en rojo los blobs hijo dependiente de los anteriores. En ejemplo anterior se observan cuatro blobs pieza, uno principal y otros tres de menor tamaño correspondientes a las letras "b" e "i" que se representan aisladas de la imagen de la firma.

Las cadenas de puntos (x,y) del perímetro de los blobs, tanto pieza como de sus hijos, que conforman la imagen constituyen la información biométrica relevante de este trabajo. Dicha cadena se recorre en sentido horario partiendo del punto más alto de la imagen.

Densidad Local.

Lo primero que este método realiza es colocar un grid superpuesto encima de la imagen de la firma, segmentando a la firma en celdas cuadradas Figura D.3. Por cada celda, la densidad de los pixeles es calculada y considerada como una característica local asociada. De esta manera, la imagen de la firma es representada por una secuencia de columnas. Asociadas cada columna es un vector real, cuyos componentes son la densidad de los pixeles en la celda [9].

Se han probado con varias resoluciones siendo la más apropiada la de 100x100 y 16x16 permitiendo un análisis de la señal de la firma en resolución baja y resolución alta según corresponda, y de 40x40 pixeles correspondiente a una resolución media permitiendo un uso comprometido entre los extremos.

Para cada tamaño de celda, la imagen es transformada dentro de una secuencia real de vectores, las cuales son más adelante transformadas dentro de una secuencia de símbolos discretos usando un k-means de un algoritmo de vector de cuantificación (VQ). Idealmente conviene derivar en un código para cada autor en el orden para agregar más características sensitivas del autor en el proceso de verificación, sin embargo; se dan una pequeña cantidad de firmas para entrenar de cada autor, si el rendimiento es pobre se hará un ajuste al codebook con la finalidad de contemplar más autores.



Figura D.3. Ejemplo de un Grid superpuesto sobre la imagen, expuesto en el artículo de El-Yacubi [9]

Morfología Matemática.

Se extraen dos tipos de información de la firma para la implementación del conjunto de características utilizadas para esta técnica: la orientación del trazo de la firma y la orientación de la silueta de una firma agrandada. Par extraer estas características de la firma recurrimos a la morfológica matemática que se puede considerar una herramienta para extracción de los componentes de la imagen útil para la representación y descripción del objeto geoméricamente [6].

Orientación del trazo de la firma:

El primer conjunto de características concierne a la orientación del trazo en una imagen de firma. Antes de extraer este tipo de información, se implementara un conjunto de 32 diferentes elementos estructurados de 5X5 diferentes (SEs) como se muestra en la Figura D.4. Cada uno de los 32 SEs representa un pequeño segmento de línea con un grado de inclinación diferente. A continuación para cada SE aplicamos una transformación morfológica de acertar o errar (hit-or miss) a la imagen de firma delimitada y normalizada en tamaño. La transformación morfológica de acertar o errar es una herramienta básica para la detección de formas.

El objetivo es identificar el grado de inclinación de los trazos de la firma y contar la frecuencia de coincidencias para cada uno de los 32 SEs con la imagen de la firma.



Figura D.4. Representaciones referenciadas de las SEs de un cheque bancario [6], modificadas y corregidas para que éstas sean simétricas y distintas.

En la Figura D.5 se compara el número de concordancias para cada uno de los 32 elementos que conforman la estructura de una firma genuina con aquellos en una falsificación simple, observando que en ésta técnica es distinguible la firma autentica de la falsificación.

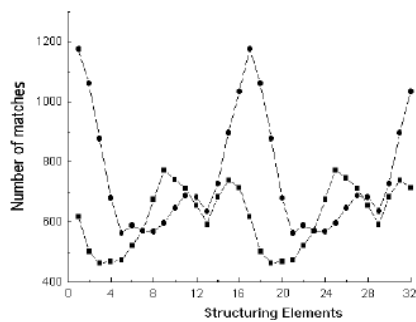


Figura D.5. Gráfica comparativa de concordancias para cada elemento, generada para un cheque bancario [6]

Orientación de la silueta de las firmas ampliadas.

El segundo conjunto de características, de forma similar al primero, provee la frecuencia de orientación de la línea de contorno en una imagen de firma y en sus versiones ampliadas. Para extraer estas características se utilizan 7 elementos estructurados de 3X3, llamados SE3.1, SE3.2,...,SE3.7 como se muestra en la Figura D.6A. El elemento estructurado SE3.1 se utiliza para ampliar la imagen de la firma así como sus versiones sucesivamente ampliadas mientras que cada uno de los otros **representa una silueta de orientación distinta. Note que "x" en cada SE** representa que el pixel puede ser tanto blanco como negro. Empezando con la imagen de la firma original repetimos el proceso de ampliación $n-1$ veces sobre la última imagen ampliada, obteniéndose n imágenes diferentes (una imagen original $n-1$ versiones agrandadas). Para cada una de esta n imágenes, contabilizamos la frecuencia de cada uno de las seis direcciones ocurridas en la silueta. Es por eso que el segundo conjunto de características se utiliza un vector $6n$ dimensional. Cada componente de este vector muestra la frecuencia de ocurrencias de una determinada dirección una silueta de imagen. En la figura D.6B se compara el vector de características obtenido de una firma genuina con uno obtenido de una falsificación simple con las imágenes de la firma original agrandadas dos veces. Por lo tanto cada vector de características tiene 18 elementos. Note que existen considerables discrepancias entre dos vectores de características lo que demuestra una buena capacidad de discriminación para el conjunto de características propuesto.

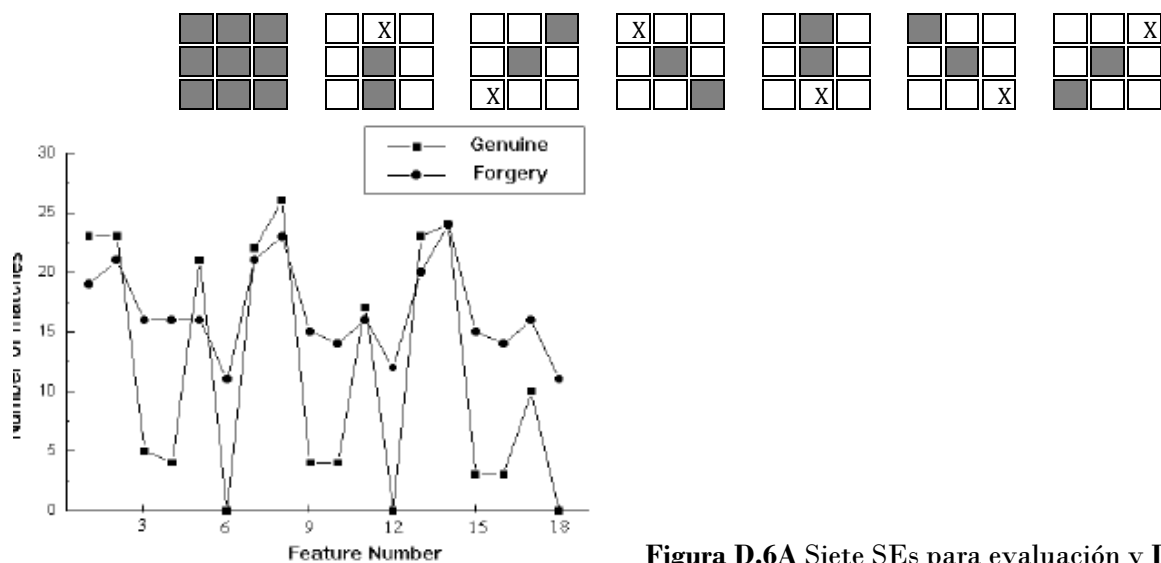


Figura D.6A Siete SEs para evaluación y **D.6B** Compara el vector de características obtenido de una firma genuina con uno obtenido de una falsificación de un cheque bancario [6].

Grafometría.

Este más que ser un método o una técnica para la extracción del vector de características, es un complemento de ella pues toma en consideración áreas de interés donde se puede localizar información relevante por ejemplo el zona media; donde se encuentra el cuerpo de la firma, la zona alta; donde se ven los trazos ascendentes y la zona baja donde se observan los trazos descendentes, todo esto con la finalidad de ver cierta características de la firma como son:

Calibre: El calibre incorpora dos aspectos importantes de las características geométricas en la evaluación global, las cuales son altura y ancho de la firma. Estas características son perfectamente absorbidas con el uso de escalas.

Proporción: La geometría regular en la forma de una firma es una característica principal observada en proporciones básicas. Con la escala esto es posible para incorporar la regularidad de las características de escritura. En este caso hay también una perfecta relación con la ocupación de la celda.

Espaciamento: Ésta característica revela el comportamiento geométrico de los huecos existentes entre los bloques de la firma o una simple carencia de ella.

Directrices de comportamiento. Esto tiene que ver con el movimiento vertical de la firma en concordancia con la línea de base, esto no puede ser analizado fuera de la presencia o la localización de la línea de base.

Comportamiento base: La base del comportamiento describe el ángulo de inclinación del texto durante la escritura, conforme a la línea horizontal imaginaria.

Todas estas características que se mencionaron con anterioridad pueden ser implementadas en sistemas automáticos con ayuda de algunas técnicas como código extendido de sombras, en donde mediante el grid podemos observar dichas características, otra técnica sería el de densidad local en éste también podemos considerar estas características mencionadas y por último de forma más particular es el de morfología matemática pues este secciona y realiza un amplificación de los trazos.

A P É N D I C E E

METODOS ALTERNATIVOS PARA RECONOCIMIENTO DE PATRONES.

Hidden Markov Models (Modelos Ocultos de Markov).

Definición.

Los HMM se definen como un proceso estocástico doblemente embebido con un proceso aleatorio esencial que no es observable (está oculto), pero que puede ser visto solamente a través de otro conjunto de procesos aleatorios que produzcan la secuencia de observaciones.

Un HMM puede verse como una cadena de cadenas de Markov q que en conjunto con un proceso estocástico toma valores de un alfabeto Σ , mismo que depende de q .

Los HMMs evolucionan con el tiempo, pasando aleatoriamente de un estado a otro, emitiendo en cada momento algún símbolo de Σ al azar.

Cuando el modelo se encuentra en el estado $q_{t-1} = i$, tiene la probabilidad a_{ij} de moverse al estado $q_t = j$ en el siguiente instante y tienen la probabilidad $b_j(k)$ de emitir el símbolo $o_t = v_k$ en el tiempo t .

Elementos de un HMM: Un HMM discreto de 1° orden se define como una quintupla del tipo

$$\lambda = (\Sigma, Q, A, B, \pi)$$

Donde

- 1) $\Sigma = \{v_1, v_2, \dots, v_M\}$ es un alfabeto finito, discreto de M símbolos
- 2) $Q = \{1, 2, \dots, N\}$ es un conjunto finito de N estados
- 3) $A = (a_{ij})_{N \times N}$ es una matriz de transición y a_{ij} es la probabilidad de transición desde el estado i hasta el j , $\forall i, j \in N$

4) $\mathbf{B} = (\mathbf{b}_j(o_t))_{NXM}$ es una matriz cuyos renglones j corresponden al vector de distribución de probabilidad de emisión de símbolos para el estado j .

Esto es $\mathbf{b}_j = \{b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jM}\}$ es el vector de distribución de la probabilidad de emitir el símbolo v_k del alfabeto encontrándose en el estado j .

5) $\boldsymbol{\pi} = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_N\}$ es el vector de probabilidades del estado inicial q_0 en Q

De forma compactada la fórmula λ puede presentarse como

$$\lambda = (\mathbf{A}, \mathbf{B}, \boldsymbol{\pi})$$

Aplicación en el Reconocimiento de Patrones.

La creación de los HMM, para el reconocimiento de una firma autógrafa, parte en su mayoría de vectores de características. El escoger el correcto modelo de topología para el HMM es fundamental para obtener satisfactoriamente resultados en el aprendizaje y fase de verificación. Hay varias topologías para los modelos HMM, cada cual adaptado para características particulares. Para modelos discretos, dos factores son predominantes. El primero es el número de estados a ser usados y el segundo es el número de transiciones entre los estados.

El modelo generalmente contemplado para firmas es el de izquierda-derecha sin estados de salto permitidos; esto es dado, porque es perfectamente apto para características dinámicas de las firmas Latinas, en el cual el movimiento de la mano son siempre de izquierda a derecha [4] y [9].



Ejemplo de un diagrama de un HMM de izquierda a derecha basado en el proyecto desarrollado por Yacoubi [9]

En la práctica es común el uso fijo de un número de estados para el proceso de aprendizaje. Con las firmas esto no es satisfactorio, por la simple razón de que cada escritor tiene diferente tamaño de firma, por lo que requiere diferentes números de estados por cada escritor; es decir se personaliza el modelo.

Mezclas Gaussianas.

Definición.

Los Modelos de Mezclas Gaussianas o GMMs se emplean para modelar la distribución estadística de una señal. El empleo de GMMs se debe a la gran variedad de distribuciones de probabilidad que se pueden aproximar mediante combinación lineal de distribuciones Gaussianas.

El modelo mediante GMMs consiste en aproximar la distribución estadística de aparición de los diferentes parámetros en estudio (de las posiciones x e y de la trayectoria o de las presiones, por ejemplo) mediante la suma ponderada de M distribuciones gaussianas. De esta forma, la probabilidad de que un modelo GMM al que denominaremos λ haya generado un vector de características x_t estará dada por:

$$p(x_t|\lambda) = \sum_{m=1}^M p_m \cdot b_m(x_t)$$

donde M es el número de densidades componentes $b_m(x_t)$ es el valor de la m -ésima densidad componente del modelo para la observación x_t y p_m es el peso ponderador de dicha componente. Cada densidad componente es una función gaussiana multivariada de dimensión D de la forma:

$$b_m(x_t) = \frac{1}{(2\pi)^{D/2} |\Sigma_m|^{1/2}} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2}(x_t - \mu_m)' \Sigma_m^{-1} (x_t - \mu_m)\right\}$$

donde μ_m es el vector de medias de la m -ésima densidad componente y Σ_m su matriz de covarianzas. De esta forma, cada individuo (cada firma) estará representado por un GMM $\lambda = \{p_m, \mu_m, \Sigma_m\}$ con $m=1,2,\dots,M$.

Aplicación en el Reconocimiento de Patrones.

Las GMMs generalmente se ocupan no tanto como un algoritmo para realizar la labor discutida en este apartado, sino como una herramienta de un algoritmo que mejora a otro [23,24].

Aunque en la teoría se presenta la forma en que las mezclas gaussianas generan desde el vector de características, hasta llegar a la identificación, no se encontró ninguna aplicación de esta teoría, sin embargo a continuación se describe de forma sintetizada dicha argumentación [1]:

El proceso de entrenamiento del GMM, a partir de un conjunto de realizaciones X de la firma a modelar, suele realizarse mediante un algoritmo denominado estimación maximización (EM-Expectation Maximization):

1. Construcción de un modelo inicial λ
2. A partir del modelo inicial λ , se estima un nuevo modelo λ' que cumpla $p(X|\lambda') \geq p(X|\lambda)$.
3. Mientras $p(X|\lambda') - p(X|\lambda) > \text{Umbral de convergencia}$, volvemos al paso 2, pero considerando como modelo inicial el reestimado y reestimando uno nuevo.

Para evaluar la correspondencia entre un modelo y una realización de la firma, basta con calcular la probabilidad de que dicho modelo haya generado la firma.

A P É N D I C E F

MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA DECISIÓN.

Métodos estadísticos

HMM y Cross-Validation (Verificación)

En algunos sistemas, la aceptación o el rechazo se dan a través del uso de tasas la de falso rechazo (FRR) así como tasa de falsa aceptación (FAR), para encontrar estos dos valores podemos tener varios métodos dentro de los cuales se encuentra el algoritmo de Foward o propiamente dicho de Viterbi [9].

Además, en el artículo publicado por la universidad de Montreal Canada, escrito por A. El-Yacoubi [9], menciona un método en el cual se realiza la normalización del HMM de salida antes de la aplicación de las reglas de aceptación/rechazo. Esto es requerido, debido a que las de la firmas de los autores similares pueden ser de longitud variable. La salida de los HMMs decrementa exponencialmente cuando la longitud de las cadenas incrementa, esto no es directamente proporcional al uso de la salida del HMMs para el proceso de verificación. La normalización es acarreada fuera para dividirla por el logaritmo de la probabilidad de las secuencias de observación $\log P$ para una longitud T

$$P_n = (\log P)/T \quad (1)$$

Que es equivalente, el considerarse el score de concordancias de secuencias de observaciones como un promedio geométrico de la probabilidad de una observación. Esto puede ser visto como una normalización implícita del ancho de la firma. Una vez que la normalización esta hecha, una firma es aceptada si la regla de decisión siguiente es satisfecha:

$$P_n > P_m^t - (w - |P_m^t - P_m^i|) \quad (2)$$

Donde P_m^t es la expectativa de la probabilidad de P_n , estimando la probabilidades (en el dominio de los logaritmos y después la normalización) del entrenamiento del autor dentro de la verificación, y P_m^i es el valor de las probabilidades de entrenamiento de la firma de otros autores (el entrenamiento de un conjunto impostor). La meta de la incorporación de P_m^i es la de caracterizar el espacio de impostores potenciales para cada autor por explorar en las firmas de otros autores consideradas en el entrenamiento. Dándonos la flexibilidad de cambiar el umbral de decisión, dependiendo no

únicamente de la expectativa de probabilidad P_m^t si no también de la distancia entre P_m^t y P_m^i . De hecho pequeñas variaciones entre el mismo autor significan que las firmas son sujetas a menor variación haciendo su entrenamiento más sencillo y su probabilidad más alta. Por otro lado, el tamaño de las entre-varianzas de los autores significa que la firma de otros autores tiene una forma muy distinta de aquellas que son consideradas por el autor. Por lo tanto, esa probabilidad, dada en el modelo desde este último será baja.

El parámetro del peso w (toma valores en el conjunto $\{0.0, 0.1, 0.2, \dots, 1.0\}$) es también específica para cada autor y es usado minimizando el valor de la tasa de error asociado. Esto también es estimado usando el concepto de cross-validation, y corresponde al valor de la tasa error minimizada en el conjunto de validación. Esto evita la derivada de los parámetros w , y en consecuencia cada autor tiene su propio umbral de decisión.

Curvas DET (Detection Error Tradeoff)

Hay métodos que fundamentan su decisión a través de los valores del umbral, esto se pueden obtener a partir de las curva DET (Detection Error Tradeoff) [7]. Esta curva permite representar los datos relativos a las tasas de error que permiten calibrar la calidad o nivel de seguridad del sistema, estas dos tasas son la de falso rechazo y falsa aceptación que anteriormente hemos mencionado.

Para la obtención del umbral en el que el comportamiento de ambas tasas es óptimo es posible priorizar una de ellas, lo que implica empeorar la otra, para ello se utiliza una función coste:

$$DFC = C_{miss} \times P_{miss} \times P_{true} + C_{fa} \times P_{fa} \times P_{false}$$

Siendo C_{miss} la constante de ponderación de un falso rechazo, C_{fa} la ponderación de una falsa aceptación, P_{true} la probabilidad a priori y P_{false} , su complementario ($1 - P_{true}$).

La tasa de error ERR (Equal Error Rate) o tasa de equierror corresponde al punto en que FAR y FRR coinciden, por lo que permite conocer el mejor funcionamiento mutuo de ambas tasas de error.

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].

B I B L I O G R A F Í A

- [1] Tapiador Mateos Marino, Singüenza Pizarro Juan A. **"Tecnologías biométricas aplicadas a la seguridad"**, Primera Edición, Alfaomega grupo editor, 2005.
- [2] J.L. Wayman. **"A Generalized Biometric Identification Systems Model"**. *Proc. IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*; Consultada: Nov. 1997.
- [3] El Analfabetismo en México 1895 al año 2000; Sitio Web del Instituto Nacional de Estudios Políticos A.C. (INEP); Consultada en Abril de 2008; [en línea] Disponible <http://www.inep.org/content/view/84/51/1/2/>
- [4] Justino Edson J.R., El-Yacoubi Abdenain, An Off-Line Signature Verification System Using HMM and Graphometric Features, Brazil-Canada; Consultada en Julio 2007; [en línea] Disponible <http://www.livia.etsmtl.ca/publications/2000/JustinoDAS.pdf>
- [5] Ng Geok See, Ong Hee Seng, **"A Neural Network Approach for Off-Line Signature Verification"**, *Proc. Of the IEEE Region 10 Conf. On Computer, Communication, Control and Power Engineering*, vol. 2, pp. 770-773, 1993.
- [6] Lee Luan L., Lizarraga Miguel L., Gomes Natanael R., Koerich Alessandro L.; A prototype form Brazilian bankcheck recognition; Faculty of Electrical and Computer Engineering, State University of Campinas; Campinas Brazil 1997; Consultada en Julio 2007; [en línea] Disponible <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.30.6171>
- [7] Igarza Juan J., Colau Amalur, Goirizelaia Iñaki, Hernández Inmaculada, Méndez Raúl; Sistemas de Verificación de Firmas Off-Line basado en Modelos Ocultos de Markov; Universidad del País Vasco; Consultada en Julio 2007; [en línea] Disponible http://w3.iec.csic.es/URSI/articulos_modernos/articulos_coruna_2003/actas_pdf/SESSION%208/S8.%20Aula%202.4/1355-SISTEMA.PDF
- [8] Sabourin Robert, Drouhard Jean-Pierre, **"Off-Line Signature Verification Using Directional PDF an Neural Network"**, *Proc. Of Intl. Conf. on Patterns Recognition*, vol. 2, pp. 321-325, 1992.
- [9] El-Yacubi, E.R. Justino, Sabourin Robert, Bortolozzi F., Off-Line Signature Verification Using HMMS and Cross-Validation, Brazil-Canada; Proc. De IEEE Neural Networks for Signal Processing X, 2000. Proceedings of the 2000 IEEE Signal Processing Society Workshop Volume 2, Issue , 2000 Page(s):859 - 868 vol.2
- [10] Diferencias entre una cámara de video digital y una analógica; Sitio Web de Global Movie Services; México 2005; Consultada en Julio 2007; [en línea] Disponible <http://www.gmsvideo.com/site/page.php?page=22>
- [11] David Salomon, **"Data Compression"**; New York; Springer, 2004
- [12] The JPEG committee home page; Consultada en abril de 2008; [en línea] Disponible <http://www.jpeg.org/>
- [13] Luan Ling Lee; Lizarraga, M.G; Signal Processing; Lossless compression of human static signatures; 1996; 3rd International Conference on; Issue, 14-18 Oct 1996 pp. 835 - 838 vol.2

- [14] Definición de Compresión Huffman; Diccionario Informático; Consultada en Julio 2007; [en línea] Disponible <http://www.alegsa.com.ar/Dic/compresion%20huffman.php>
- [15] Danilo Dias, Ricardo de Queiroz; A model for the electronic representation of bank checks; Universidad de Brasilia; Consultado en Julio 2007; [en línea] Disponible http://image.unb.br/queiroz/papers/icip06_checks.pdf
- [16] Manuel Ricardo Freire Santos; Desarrollo de un Criptosistema Biométrico basado en firma manuscrita; Universidad Antonio de Lebrija; Junio de 2006; Consultado en Julio de 2007; [en línea] Disponible http://atvs.ii.uam.es/files/2006_PFC_Freire.pdf
- [17] Segmentación por Umbralización, Universidad Nacional de Quilmes, Octubre 2005; Consultado en Julio de 2007; [en línea] Disponible <http://iaci.unq.edu.ar/Materias/vision/archivos/apuntes/Segmentaci%C3%B3n%20por%20umbralizaci%C3%B3n%20-%20M%C3%A9todo%20de%20Otsu.pdf>
- [18] Discriminat and Least Squares Threshold Selection; Electrotechnical Otsu Nobuyuki; Tokyo, Japan. CHECARLO EN EL IMAS
- [19] Chen Songcan, Daohong Li; Image Binarization Focusing On Objects; Department of Computer Science and Engineering; Nanjing University of Aeronautics and Astronautics; Nanjing, 210016, China; Consultado en Agosto de 2007; [en línea] Disponible <http://parnec.nuaa.edu.cn/papers/journal/2006/schen-NC06.pdf>
- [20] **J.L. Wayman. "Error-Rate Equations for the General Biometrics Systems". Proc. IEEE Robotics & Automation Magazine, 35-48, March 1999.**
- [21] Sabourin Robert, Cheriet Mohamed, Genest Ginette, An Extended-Shadow-Code Based Approach for Off-line Signature Verification; Escuela Superior de Tecnología, Canada; Consultado en Julio de 2007; [en línea] Disponible <http://www.livia.etsmtl.ca/publications/autres/sabourin93shadow.pdf>
- [22] Russell Stuart y Norving Peter; Inteligencia Artificial; Prentice Hall; Primera Edición; 1996.
- [23] Andreas Schlapbach, Horst Bunke; Using HMM Based Recognizers for Writer Identification and Verification; Department of Computer Science, University of Bern, Switzerland; Frontiers in Handwriting Recognition, 2004; IWFHR-9 2004; Ninth International Workshop on Volume , Issue , 26-29 Oct. 2004 Page(s): 167 - 172
- [24] Horst Bunke; Recognition of Cursive Roman Handwriting Past, Present and Future; Department of Computer Science; University of Bern, Switzerland; Consultado en Julio de 2007; [en línea] Disponible http://www.essex.ac.uk/dces/icdar2003/keynote_presentations/BunkeKeynote.pdf
- [25] Operador de Sobel; Wikipedia; consultada en octubre de 2008; [en línea] Disponible http://es.wikipedia.org/wiki/Operador_Sobel
- [26] Metaheurísticas; ; Wikipedia; consultada en abril de 2009; [en línea] Disponible <http://es.wikipedia.org/wiki/Metaheurística>
- [27] Fogel David B; Evolutionary computation: toward a new philosophy of machine intelligence; New York: IEEE ; Hoboken, New Jersey : J. Wiley, c2006

- [28] Goldberg David E.; Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning; Addison-Wesley; USA; January 1989
- [29] Algoritmos Genéticos; Consultado en Abril de 2009; [en línea] Disponible <http://eddyalfaro.galeon.com/geneticos.html>
- [30] Bäck Thomas, Fogel Daid B y Michalewicz Zbigniew; Evolutionary Computation 1 Basic Algorithms and Operators; Taylor & Francis; 2000; New York.
- [31] Bäck Thomas, Fogel Daid B y Michalewicz Zbigniew; Evolutionary Computation 2 Basic Algorithms and Operators; Taylor & Francis; 2000; New York.
- [33] Orellano Wiarco Octavio Alberto y Orellano Trinidad Octavio Alberto; Grafoscopia; Ed. Porrúa, México 2006; 1ra Edición.
- [34] Thomas Weise; Global Optimization Algorithms – Theory and Application – Version: 2008-11-16; Consultado en abril de 2009; [en línea] Disponible <http://www.it-weise.de/> (version más reciente)
- [35] Bäck Thomas; Evolutionary Algorithms in Theory and Practice; Oxford University Press; 1996; New York
- [36] Reyes Sierra María Margarita; Uso de coevolución para optimización evolutiva multiobjeto; Consultado en abril de 2009; [en línea] Disponible <http://delta.cs.cinvestav.mx/~adiaz/SemDoc2003/MReyesPres.pdf>
- [37] Algoritmos Genéticos Paralelos; Consultado en abril de 2009; [en línea] Disponible <http://servinf.dif.um.es/~domingo/apuntes/ProgPar/trasparencias/T7.Alg.AlgoGene.ppt>
- [38] García Martínez Carlos y Lozano Manuel; Algoritmos genéticos locales; I Jornadas sobre **Algoritmos Evolutivos y Metaheurísticas JAEM'07**; Septiembre de 2007; Zaragoza, España; Consultado en abril de 2008; [en línea] Disponible http://sci2s.ugr.es/publications/ficheros/cgarcia_jaem07_agls.pdf
- [39] Maider Zamalloa, Germán Bordel, Luis Javier Rodriguez, Mikel Pñagarikano, Juan Pedro Uribe; Selección y pesado de parámetros acústicos mediante algoritmos genéticos para el reconocimiento del locutor; Centro de Investigaciones Tecnológicas; Universidad del País Vasco; Noviembre de 2006; Consultado en abril de 2009; [en línea] Disponible http://jth2006.unizar.es/finals/4jth_138.pdf
- [40] Abdelmalik Moujahid, Iñaki Inza y Pedro Larrañaga; Algoritmos Genéticos; Consultado en abril de 2009; [en línea] Disponible <http://www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/temageneticos.pdf>
- [41] Yada Tetsushi*, IshikawaMasato*, Tanaka Hidetoshi*, Asai Kiyoshi♦; *The Japan Information Center of Science and Technology (JICST), *Matsushita Electric Industrial Co, ♦Mitsubishi Electric Corp, ♦Electrotechnical Laboratory (ETL); Extraction of Hidden Markov Model Representations of Signal Patterns in DNA Sequences; Electronic Proceedings for the 1996 Pacific Symposium on Biocomputing; 1996; Consultado en abril de 2009; [en línea] Disponible <http://helix-web.stanford.edu/psb96/yada.pdf>

- [42] Deb Kalyanmoy, Agrawal Samir, Pratap Amrit, Meyarivan T; A Fast Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm for Multi-Objective Optimization: NSGA-II; Kanpur Genetic Algorithms Laboratory (KanGAL) Indian Institute of Technology Kanpur Kanpur, PIN 208 016, India; Abril de 2002; Consultado en abril de 2009; [en línea] Disponible <http://vision.ucsd.edu/~sagarwal/nsga2.pdf>
- [43] Bors Adrian G; Introduction of the Radial Basis Function (RFB) Networks; Department of Computer Science, University of York; UK; Consultado en mayo de 2009; [en línea] Disponible <http://axiom.anu.edu.au/~daa/courses/GSAC6017/rbf.pdf>