

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Instituto de Ingeniería y Tecnología

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación



Prototipo de software para el reconocimiento automático de firmas utilizando técnicas
de aprendizaje de máquina

Reporte Técnico de Investigación presentado por:

Verónica Rodríguez Rocha 101863

Perla Patricia Vázquez Herrera 101861

Requisito para la obtención del título de

INGENIERO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

Profesor Responsable: Saúl González Campos

Noviembre de 2015

Autorización de Impresión

Los abajo firmantes, miembros del comité evaluador autorizamos la impresión del proyecto de titulación

PROTOTIPO DE SOFTWARE PARA EL RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DE FIRMAS UTILIZANDO TÉCNICAS DE APRENDIZAJE DE MÁQUINA

Elaborado por los alumnos:

Verónica Rodríguez Rocha 101863

Perla Patricia Vázquez Herrera 101861

Fernando Estrada Saldaña

Profesor de la Materia

Saúl González Campos

Asesor Técnico

Declaración de Originalidad

Nosotras, Perla Patricia Vázquez Herrera y Verónica Rodríguez Rocha, declaramos que el material contenido en esta publicación fue generado con la revisión de los documentos que se mencionan en la sección de Referencias y que el Programa de Cómputo (Software) desarrollado es original y no ha sido copiado de ninguna otra fuente, ni ha sido usado para obtener otro título o reconocimiento en otra Institución de Educación Superior.

Perla Patricia Vázquez Herrera

Verónica Rodríguez Rocha

Dedicatoria

Perla Patricia Vázquez Herrera: Dedico este proyecto a mis padres María Herrera y Sabino Vázquez y a mi hermano Luis Alberto Vázquez, por el apoyo otorgado en todo momento, a Dios que me permito concluir con esta meta.

Verónica Rodríguez Rocha: Dedico esta tesis a mi abuelita Lupita Rocha que siempre estuvo para mí incondicionalmente siendo un gran apoyo emocional, moral y económico en el transcurso de la tesis y carrera y de igual manera a mi hija Dayana Leyva Rodríguez quien fue mi motor para culminar la tesis y la carrera, también a mi mamá Dolores Rodríguez que estuvo conmigo apoyándome incondicionalmente y a mis familiares. Igualmente dedico también a Juan Leyva quien fue un gran apoyo emocional y económico en el transcurso de la tesis y carrera.

Agradecimientos

Verónica Rodríguez Rocha: Agradezco a Dios principalmente por darme la oportunidad de culminar la tesis, también agradezco a mi abuelita Lupita Rocha y mi mamá Dolores Rodríguez Rocha por el apoyo incondicional en el transcurso de mis estudios y tesis. De igual manera le agradezco al profesor Saúl Gonzales por sus consejos, asesorías y por el tiempo que le dedicó a este proyecto. También le agradezco a mi compañera Perla Patricia Vázquez Herrera por el apoyo incondicional en el transcurso de la carrera y por todos sus esfuerzos realizados para culminar la tesis. Muchas gracias amiga Dios te bendiga.

Perla Patricia Vázquez Herrera: Agradezco principalmente a Dios por permitirme terminar esta meta y a mis padres María Herrera y Sabino Vázquez por el apoyo incondicional ya que sin ellos no habría podido realizar este logro, también agradezco al profesor Saúl González por la asesoría y apoyo realizado hacia este proyecto, y a mi compañera y amiga Verónica Rodríguez por el trabajo y esfuerzo que realizó a mi lado en este proyecto, gracias.

Índice de contenidos

Autorización de Impresión.....	iii
Declaración de Originalidad	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vii
Lista de Figuras	ix
Lista de Tablas	xi
Introducción	1
Capítulo 1. Planteamiento del problema.....	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Definición del problema	4
1.3 Objetivos de la investigación	5
1.4 Preguntas de investigación.....	5
1.5 Justificación de la investigación	5
1.6 Limitaciones y delimitaciones de la investigación	6
Capítulo 2. Marco Teórico.....	8
2.1 Firma manuscrita como característica biométrica	8
2.1.1 Características de una firma manuscrita	9
2.1.2 Tipos de falsificaciones.....	10
2.1.3 Métodos para analizar la firma manuscrita.....	11
2.1.4 Taza de error	13
2.2 Pre-procesamiento de imágenes.....	14
2.3 Extracción de características para el reconocimiento de imágenes	16
2.4 Red neuronal como clasificador.....	19
2.4.1 Arquitecturas.....	22
2.4.2 Parámetros de entrenamiento.....	24
2.4.3 Entrenamiento	25
Capítulo 3. Materiales y Métodos	26
3.1 Materiales.....	26
3.2 Métodos.....	26
3.2.1 Recolección de firmas.....	26
3.2.2 Pre-procesamiento.....	28

3.2.3 Recolección de las métricas en la etapa de extracción de características.....	31
3.2.4 Determinación de rangos.....	36
3.2.5 Proceso para el entrenamiento de la red neuronal.....	37
Capítulo 4. Resultados de la investigación	42
4.1 Presentación de resultados	42
4.2 Análisis e interpretación de resultados	45
Capítulo 5. Discusiones, conclusiones y recomendaciones	47
5.1 Con respecto a las preguntas de investigación.....	47
5.2 Con respecto al objetivo de la investigación.....	48
5.3 Recomendaciones para futuras investigaciones.....	49
Referencias.....	50
Apéndices 1.....	53
Apéndices 2.....	54
Apéndices 3.....	61

Índice de Figuras

Figura 2.1 Clasificación de la biometría según su tipo.....	8
Figura 2.2 Firma dinámica y firma estática.....	9
Figura 2.3 Falsificación de firmas.....	10
Figura 2.4 Arquitectura de Markov	12
Figura 2.5.Arquitectura del modelo oculto de Markov.....	12
Figura 2.6 Ejemplo de SVM	13
Figura. 2.7 Imagen binarizada	14
Figura 2.8 Esqueletización.....	15
Figura 2.9 Formación de un rectángulo	16
Figura 2.10 Formación de un ángulo	17
Figura 2.11 Formación de triángulo.....	17
Figura 2.12 Formación de cuadrilátero irregular	18
Figura 2.13 Formación de pentágono	18
Figura 2.14 Formación de polígono.....	18
Figura 2.15 Red neuronal.....	19
Figura 2.16 Estructura de la red neuronal artificial	20
Figura 2.17 Red monocapa y red multicapa	21
Figura 2.18 Arquitectura red monocapa	23
Figura 2.19 Arquitectura de la red neuronal multicapa	23
Figura 2.20 Arquitectura de redes recurrentes	24
Figura 3.1 Firmas escaneadas	28
Figura 3. 2 Selección del crop.....	29
Figura 3.3 Firma original recortada.....	30
Figura 3.4 Firma original binarizada.....	30
Figura 3.5 Firma esqueletizada.....	30
Figura 3.6. Set Measurements.....	31
Figura 3.7 Macro count.....	34
Figura 3.8 Macro área	35
Figura 3.9 Macro selección.....	35
Figura 3.10 Cuadro requisitos para importar archivo	37
Figura 3.11 Cuadro indicar salidas y entradas en la red	38

Figura 3.12 Cuadro para cambiar tipo	39
Figura 3.13 Algunos ejemplos de validación y prueba.....	40
Figura 3.14 Algunas entradas y salidas de la red neuronal para pruebas	40
Figura 3.15 Vista de la topología de la red neuronal	41
Figura 4.1 Firmas acomodadas aleatoriamente para el entrenamiento, validación y pruebas.....	42
Figura 4.2 Gráfica comportamiento de la red	43
Figura 4.3 Datos del entrenamiento y validación.....	44
Figura 4.4 Datos target error, average error, entradas importantes.....	44
Figura 4.5 Algunas salidas de la red.....	45

Lista de Tablas

Tabla 3.2.4 Rangos count.....	36
Tabla 3.2.4 Rangos de área.	36
Tabla 3.2.4 Rangos de selección.....	36

Introducción

La firma manuscrita desde hace tiempo se ha utilizado como una forma de autenticación y verificación de un individuo. La biometría es la rama de la ciencia que investiga sobre el área de reconocimiento de firmas manuscritas, entre otros medios de identificación, como pueden ser el reconocimiento del iris, del rostro, de la voz, etc.

La biometría se puede clasificar en dos categorías: la conductual, que se basa en el comportamiento del individuo, y la física, que se basa en rasgos o características físicas del individuo. El reconocimiento de la firma manuscrita se puede clasificar a su vez de dos maneras: la estática, que también se le denomina *off-line*, donde la firma se escribe directamente en un papel. Y la dinámica, o denominada *on-line*, la cual se realiza por medio de una tableta digitalizadora.

Una vez elegida la manera de obtener las firmas y ya con éstas digitalizadas, es necesario pre-procesar dichas imágenes, utilizando métodos como la binarización y la esqueletización, entre otros posibles.

Finalmente es necesario utilizar métodos de extracción de características, que en este proyecto en particular fueron basados en atributos geométricos de las firmas y poder así utilizar una red neuronal como un sistema de clasificación automático, una vez que fue entrenada con suficientes ejemplos.

Hoy en día es común que cualquier persona pueda falsificar una firma y hacerse pasar por otra persona. Esta fue la motivación principal por la cual se realizó esta investigación relacionada con el reconocimiento de firmas utilizando técnicas de aprendizaje de máquina.

El problema consiste en poder verificar firmas en forma automatizada, con un nivel aceptable de confiabilidad, sin la intervención de un experto humano, y determinar si una firma es auténtica o falsa. La solución propuesta fue utilizar como sistema clasificador a una red neuronal utilizando métodos de pre-procesamiento tales como la binarización y esqueletización, métodos de extracción de características y posteriormente efectuar el entrenamiento de la red neuronal.

En el primer capítulo del presente documento se mencionan algunos antecedentes relacionados con el reconocimiento de firmas y un panorama general de las técnicas específicas que se utilizan para este fin. De igual manera se menciona el planteamiento y definición del problema, objetivos, preguntas de investigación, justificación y limitaciones, todo esto relacionado al reconocimiento de firmas

manuscritas. En el segundo capítulo se ofrece un panorama general de temas que abordan el reconocimiento de firmas, tales como las características de la biometría, su clasificación, algunas técnicas utilizadas en trabajos anteriores, extracción de características, tipos de falsificaciones, redes neuronales y la etapa de pre-procesamiento, entre otros procesos. En el tercer capítulo se mencionan las cosas que funcionaron y no funcionaron, qué se utilizó y qué se hizo, todo esto relacionado con el proceso de recolección de firmas, determinación de márgenes, métricas, el proceso realizado en cada firma, métodos utilizados, etc. En el cuarto capítulo se presentan los resultados obtenidos mediante las métricas utilizadas, destacando el porcentaje de confiabilidad, gráficas de comportamiento de la red, porcentaje de error, salidas de la red, análisis e interpretación de los resultados. Por último, se aportan las conclusiones, discusiones, recomendaciones para investigaciones futuras y una conclusión en base al objetivo del proyecto.

Capítulo 1. Planteamiento del problema

En este capítulo se planteará el problema de la investigación referente a la firma manuscrita, donde se verán los antecedentes de la biometría y las personas que contribuyeron a un descubrimiento de nuevos resultados utilizando esta disciplina, así como las diferentes formas en que se ha utilizado y un panorama general de las técnicas específicas que se utilizan para el reconocimiento de firmas. También se incluye la definición del problema, objetivos, preguntas de investigación, justificación y limitaciones; todo esto enfocado al tema central de reconocimiento de firmas manuscritas.

1.1 Antecedentes

El inicio de la biometría fue en el siglo XIV. Según un escritor y explorador, llamado Joao de Barros, fue en este siglo cuando los chinos estampaban las palmas de las manos de los niños en papel con tinta para distinguir a unos de otros. Así fue que surgió la necesidad de investigar y realizar experimentos en dicha rama denominada “biometría”, tomando un papel importante en la vida de las personas. Fue tan interesante que muchas personas decidieron enfocarse a esta rama y satisfacer las necesidades de las personas, alcanzando a patentar su nueva investigación. Por ejemplo, el 25 de mayo de 1976, Jacob Sternberg y Robert W. Freund patentaron en Estados Unidos un método y aparato para grabar la firma con la patente No. 3959769 y asignada a Veripen Inc.

El 12 de julio de 1977 fue patentado en Estados Unidos un aparato para identificación personal por parte de Austin G. Boldridge y Robert W. Freund, asignado a Veripen Inc. y con patente No. 4035768. Esta es considerada la primera patente de adquisición de información dinámica de una firma [1].

Hoy en día la biometría sigue evolucionado cada vez más, resolviendo necesidades que solamente un humano podría realizar. Con ayuda de la biometría ya es posible simular conductas y verificar a un individuo. En términos generales, la biometría se encarga de estudiar métodos para el reconocimiento único de un individuo, basados en tecnologías utilizadas para medir y analizar las características únicas de una persona [2].

La biometría se clasifica como conductual, la cual se basa en el comportamiento del individuo y se utiliza generalmente para la verificación. Mientras tanto, la biometría física es utilizada para la identificación o la verificación. Existen diferentes formas de biometría, por ejemplo se pueden implementar sistemas de reconocimiento basados en huellas dactilares, iris, ADN, cara, voz, venas y estructura de la palma, entre otros. Al reconocimiento de firmas que se puede llevar a cabo por medio de una firma en un papel, se le denomina estático u *off-line*. Otro medio en el que se puede realizar el reconocimiento de una firma es el dinámico u *online*, donde la firma se introduce en una tableta digitalizadora. En trabajos anteriores, para este caso, se han utilizado algunas etapas de pre-procesamiento, tales como la binarización (donde se convierte la imagen en blanco y negro), la eliminación de fondo, la reducción de ruido, la normalización y la esqueletización, las cuales son empleadas para preparar la imagen para sus posteriores procesos.

Una vez preparada la imagen, se procede a una extracción de características. En esta etapa se han utilizado satisfactoriamente algunas técnicas basadas en los atributos geométricos de los trazos, por ejemplo: segmentación por *grid*, *splitting*, distribución de píxeles, densidad de píxeles, distancias de centros de gravedad, curvaturas de trazos, ángulos de inclinación, etc. También se han utilizado técnicas basadas en transformaciones de dominio, como son la Transformada Discreta de Radón y la Transformada Discreta del Coseno, entre otras. Entre mejor sean elegidas esas características mejor será la respuesta al compararlas.

Después de la extracción de las características se procede al proceso de autenticación, en el cual se han utilizado con éxito clasificadores automáticos como los siguientes: Redes Neuronales (*Artificial Neural Network* o ANNS por sus siglas en inglés). Modelos ocultos de Markov (*Hidden Markov Models* o HMMS por sus siglas en inglés) [5] [7] [10] [11] y Máquinas de Vectores de Soporte (*Support Vector Machines* o SVMS por sus siglas en inglés) [5]. Estos determinan (con algún margen de error) si a pesar de las diferencias, la firma pertenece o no al supuesto autor.

1.2 Definición del problema

El problema consiste en poder verificar firmas en forma automatizada, con un nivel aceptable de confiabilidad, sin la intervención de un experto humano, y poder determinar si una firma es auténtica o falsa.

1.3 Objetivo

Objetivo: Implementar un prototipo de software que permita verificar la autenticidad de una firma utilizando técnicas de aprendizaje de máquina.

Objetivo específico: Implementar una red neuronal multicapa que tome como entrada las características de la firma manuscrita de una persona y clasifique la pertenencia de esa firma a una de dos posibles clases: “firma auténtica” o “firma falsa”.

1.4 Preguntas de investigación

- ¿Cuáles características de la imagen serán suficientes para que la Red Neuronal pueda clasificar adecuadamente?
- ¿Qué topología y parámetros facilitarán el entrenamiento de la Red Neuronal?
- ¿Cuántos ejemplos serán suficientes para lograr un entrenamiento adecuado?
- ¿Cuál será el mayor grado de confiabilidad que el sistema será capaz de ofrecer?
- ¿Cuál tipo de error será más frecuente en las respuestas del sistema en la fase final de pruebas: dar como auténtica una firma falsa o dar como falsa una firma auténtica?

1.5 Justificación de la investigación

La realización de este prototipo puede ayudar a demostrar que es posible automatizar el proceso de verificación de firmas y ponerlo al alcance de una persona no experta. Por ejemplo, en numerosas ocasiones lo único con lo que se cuenta es con la imagen de una firma, de manera que los métodos estáticos son los únicos disponibles en estos casos. Dado que existe algún grado de diferencia entre las firmas de una misma persona (es decir, una persona nunca firma exactamente igual), es necesario incluir en el proceso de autenticación a un clasificador automático para darle mayor robustez al sistema. Este clasificador determinará (con algún margen de error), si aun a pesar de las diferencias, la firma pertenece o no al supuesto autor. Se han utilizado en este problema, entre otros clasificadores: Redes Neuronales (Artificial Neural Networks o *ANNs* por sus siglas en inglés) [4], Modelos Ocultos de *Markov* (*Hidden Markov Models* o *HMMs*

por sus siglas en inglés) [5] [7] [10] [11] y Máquinas de Vectores de Soporte (*Support Vector Machines* o *SVMs* por sus siglas en inglés) [5].

Aún y cuando el sistema propuesto no pudiera alcanzar los niveles de suficiencia de un experto humano, se considera que puede ser útil a manera de un primer filtro para detectar casos relativamente obvios de falsificaciones, agilizando el proceso de autenticación al quitar carga a un perito humano. Sería deseable que al experto solo le llegaran casos complejos donde su conocimiento y experiencia sean la mejor manera de validar si la firma es auténtica o falsa. Otra justificación de este proyecto es en cuanto a saber los alcances y limitaciones que pueden tener las estrategias computacionales implementadas al aplicarlas al proceso de autenticación de firmas, lo cual puede llevar a conclusiones acerca de qué modificaciones o uso de otras técnicas pudieran mejorar los resultados obtenidos.

1.6 Limitaciones y delimitaciones de la investigación

-El sistema será del tipo off-line, lo cual implica que se trabajará solamente con imágenes y no se utilizará ningún hardware especializado, como es el caso de las tabletas digitalizadoras.

-Habrá una etapa de pre-procesamiento de las imágenes, seguida de la extracción de características, para finalmente entrenar a un clasificador mediante técnicas de aprendizaje de máquina.

-Las etapas exactas que se utilizarán en el pre-procesamiento serán definidas en las etapas iniciales de este proyecto, sin embargo se anticipa que por lo menos deberá incluirse una estandarización de dimensiones, de resolución, una “limpieza” de la imagen, ajustes de brillo y contraste, una binarización (profundidad de color de un bit) y una esqueletización.

-Las características a ser extraídas de la imagen se decidirán en las etapas iniciales de este proyecto, sin embargo se tiene contemplado que sean del tipo basado en características geométricas de los trazos, no en transformaciones de dominio.

-El clasificador será una red neuronal multicapa.

-El sistema aprenderá a reconocer las firmas auténticas y falsas de una persona en particular. Para efectos de demostración y comprobación, y hasta donde el tiempo lo

permita, se extenderá la implementación para varias personas, es decir, se construirán y entrenarán diferentes redes neuronales, una por cada persona distinta que sea incluida en la fase de pruebas. Sin embargo, en todos los casos, cada red neuronal solo reconocerá dos clases: “firma auténtica” y “firma falsa”, para una persona en particular.

-El nivel de confiabilidad del sistema será cuantificado al final del proyecto, en base a los resultados obtenidos.

Capítulo 2. Marco Teórico

En este capítulo se pretende ofrecer un panorama general sobre algunos temas importantes para el reconocimiento de la firma manuscrita. Se abordan temas tales como las características de la biometría, su clasificación, en qué se ha utilizado y algunas maneras de cómo en trabajos anteriores se han utilizados ciertas técnicas para la extracción de características y los tipos de falsificaciones de firmas. Se mencionan algunos trabajos que utilizan ciertos métodos para la extracción de características, así como el uso de un clasificador. También se abordan otros conceptos utilizados, tales como la tasa de error y la etapa de pre-procesamiento, entre otros.

2.1 Firma manuscrita como característica biométrica

Según Sameera Khan y Avinash Dhole [4], la biometría son tecnologías utilizadas para la medición y análisis de las características de una persona para su reconocimiento único, y clasifican a estas características en dos tipos: conductuales y físicas. La biometría de comportamiento, es decir, la de características conductuales, se utiliza generalmente para la verificación, mientras que la de características físicas se puede utilizar ya sea para identificación o verificación.

La biometría se clasifica según su tipo: es decir, si solamente obtiene características físicas de un individuo se le denomina “biometría estática”, como es el caso de la geometría de la mano, huellas dactilares, análisis de iris y retina y reconocimiento facial entre otros. El otro tipo es la denominada “biometría dinámica”, la cual obtiene características conductuales, midiendo los rasgos de comportamiento de un individuo, como el caso de sistemas de reconocimiento de voz y de firma manuscrita.

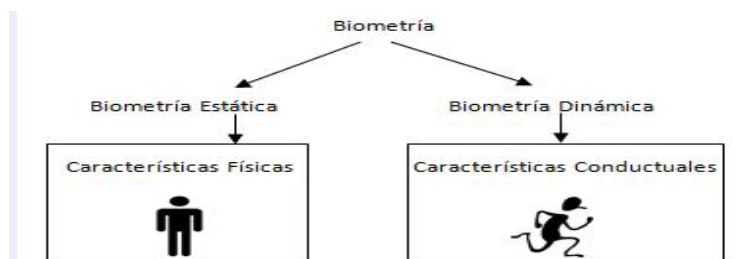


Figura 2.1 Clasificación de la biometría según su tipo.

Otra clasificación de la biometría es por su tecnología, es decir, el desarrollo de sistemas biométricos que permiten llevar de manera automatizada la verificación e

identificación de un individuo. La biometría utiliza una serie de características intrínsecas, las cuales ayudan a la identificación del individuo.

Adebayo Daramola y Samuel Ibiyemi [10] plantean que las características biométricas del individuo no son fácilmente transferibles; son únicas y no pueden ser robadas. Por lo tanto, dentro de los métodos biométricos, la firma manuscrita es un área importante de investigación debido a su aceptación social y al aumento del uso de la firma manuscrita como medio de identificación.

2.1.1 Características de una firma manuscrita

Las características de una firma manuscrita son importantes ya que con éstas es más fácil identificar si la firma pertenece a un autor. Se puede clasificar la firma como “estática” o “dinámica”. La firma dinámica tiene tanto aspectos estáticos como dinámicos, por ejemplo la velocidad, presión, inclinación, intervalos en que la pluma se despega de la superficie etc., Usualmente se captura la firma por medio de una tableta digitalizadora. En este dispositivo se adquiere la información en tiempo real.



Figura 2.2 Firma dinámica y firma estática.

En una firma estática sus características son geométricas. La firma es escrita en un papel y solo tiene aspectos estáticos ya que solamente se cuenta con la imagen digitalizada de la firma. Algunas de las características que se pueden analizar, entre otras posibles, serían: la inicialización y finalización de los trazos, la distribución geométrica, la inclinación de los trazos, la densidad de los píxeles, distancias del centro de gravedad, curvaturas de los trazos, ángulos de inclinación, o también basadas en

transformaciones de dominio, tales como la Transformada Discreta de Radón y la Transformada Discreta del Coseno, entre otras [8].

El autor José F. Vélez [9] agrega que para que las características puedan ser más exactas es necesario localizar y segmentar el documento en el cual está la firma, quitar la existencia de ruido blanco y de estructura, localizar la posición exacta de la firma y pasar la imagen por una serie de filtros que preparen la imagen para su posterior procesamiento. Con esto se pretende tener la esencia de la firma, para que en el momento de sustraer sus características, éstas sean más exactas y únicas.

Las características elegidas deben de cumplir dos requisitos: deben de ser discriminantes entre firmas verdaderas y falsificaciones y deben permanecer estables ante las variaciones típicas de las firmas verdaderas. Una característica será buena si hay varianza entre las firmas de un mismo individuo. Igual, al compararlo contra unas firmas falsas, que sea un límite para diferenciarlas.

2.1.2 Tipos de falsificaciones

Hoy en día es muy frecuente las falsificaciones de firmas ya que estas se utilizan para una verificación personal, tales como el control de acceso, aplicaciones bancarias o transacciones, cheques, comercio electrónico etc., incluso la persona que intenta falsificar la firma con sólo calcarla, simularla de memoria, calcar utilizando luz etc.. Para que un sistema de reconocimiento de firma manuscrita tenga menos errores se deben de tomar en cuenta otros aspectos tales como los diferentes tipos de falsificaciones:



Figura 2.3 Falsificación de firmas.

Sameera Khan y Avinash Dhole [10] plantean los tipos de falsificaciones de la siguiente manera:

- Al azar: Es escrito por la persona que no conoce la forma de la firma original.

- Falsificación simple: Está representado por la persona que conoce la forma de la firma original, pero sin mucha práctica.
- Falsificación experta: Representada por una imitación adecuada de la firma auténtica.

Cada tipo de falsificación requiere de diferentes tipos de enfoque de verificación. No obstante, si alguna persona no puede diferenciar entre una firma falsa y una genuina, menos lo hará un sistema, por eso es importante tomar en cuenta los aspectos de falsificaciones de firmas y poder minimizar el error al verificar.

2.1.3 Métodos para analizar la firma manuscrita

Existen muchos métodos que se han utilizados para el problema del reconocimiento de la firma manuscrita, se ha trabajado con Redes Neuronales (Artificial Neural Networks o ANNS por sus siglas en inglés), donde algunas de las características principales de las redes neuronales es que tienen la capacidad de aprender y de utilizar los procedimientos de entrenamiento secuencial, y adaptarse a sí mismas a los datos. La familia más utilizada de redes neuronales para clasificación de patrones es la red de alimentación hacia adelante, que incluye al perceptrón multicapa.

El autor Sameera Khan [10] describe el trabajo con las redes neuronales utilizadas como clasificador para verificar una firma, utilizando tres firmas de cada individuo para el entrenamiento. Después de tomar cada firma de entrada, primero es pre-procesada y luego se pasa a la extracción de características, las cuales serán las matrices de entrada para la formación de la primera Red Neuronal. El clasificador que se utilizó en este sistema es una red de función de base radial. Agrega Khan, que el entrenamiento de una red neuronal incluye el establecimiento de muchos parámetros sintonizables tales como:

- 1- El tipo de función radial que se utilizará en las unidades ocultas.
- 2-El tipo de distancia.
- 3- El centro de las funciones radiales (ubicación de las unidades ocultas).
- 4-La propagación o el radio de las funciones radiales.
- 5- En cuanto a las unidades ocultas, función gaussiana es utilizado a menudo como la función radial.

Otros de los métodos que se han utilizado es el del HMM o Modelo Oculto de Markov. Esta técnica estadística es utilizada para el reconocimiento de escritura y de verificación de firmas. En la última década, el HMM ha atraído la atención de muchos investigadores en el reconocimiento de patrones, particularmente en la escritura, el habla y la firma verificación. Se basa en el principio empírico de la minimización de riesgos (ERM), que es el más simple de los principios de inducción, donde se elige una regla de decisión. La regla de decisión se basa en un número finito de ejemplos conocidos (conjunto de formación). [5].

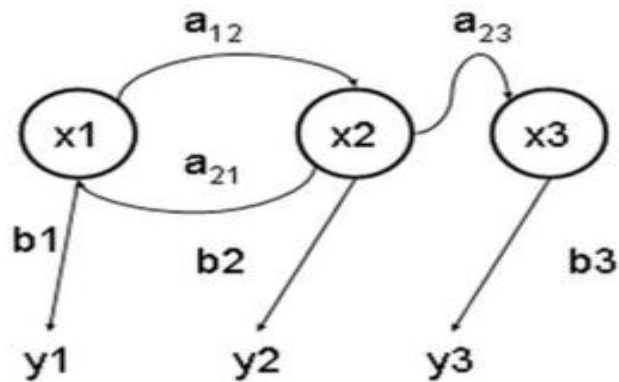


Figura 2.4 Arquitectura de Markov: Los óvalos representan una variable aleatoria y pueden tomar determinados valores, $x(t)$ es el valor de la variable oculta en el instante (t) . La variable aleatoria $y(t)$ es el valor de la variable observada en el mismo instante de tiempo t . Las flechas indican dependencias condicionales.

El modelo oculto de Markov o HMM, utiliza parámetros desconocidos. El objetivo es determinar dichos parámetros de la cadena a partir de los parámetros observables. Los parámetros extraídos se pueden emplear para llevar a cabo el análisis, por ejemplo unas aplicaciones para el reconocimiento de patrones.

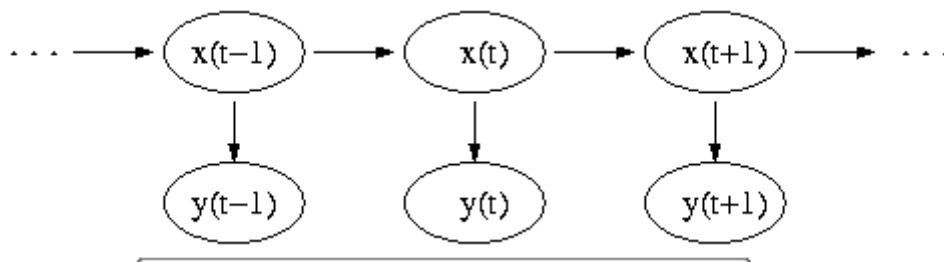


Figura 2.5 Arquitectura del Modelo Oculto de Markov.

Otro método utilizado para analizar la firma manuscrita es el de la Máquina de Vectores o Maquinas de Vectores de Soporte (*Support Vector Machines, SVM* por sus siglas en inglés). Este método representa a los puntos muestra en el espacio, separando las clases por un espacio lo más amplio posible. Cuando las nuevas muestras se analizan con dicho modelo, en función de su proximidad, pueden ser clasificadas como pertenecientes a una u otra clase. Puede ser utilizada en problemas de clasificación o de regresión.

Algunas de las ventajas de este modelo es que el entrenamiento tiene muy buen funcionamiento en problemas típicos y la clasificación es muy eficiente. Los *kernels* transforman a espacios de dimensión muy superior, el espacio de búsqueda tiene sólo un mínimo global, se diseña el parámetro de costo C , es extremadamente robusto para la generalización y hay menos necesidad de heurísticas para el entrenamiento.

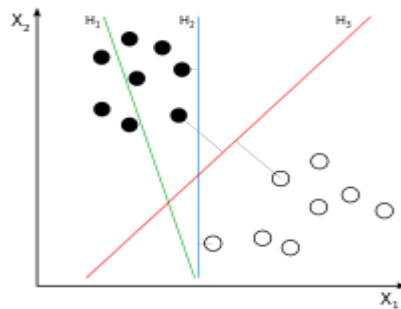


Figura 2.6 Ejemplo de SVM.

2.1.4 Taza de error

Según el autor Avinash Dhole [4], las tazas de error que se presentan para la verificación de una firma manuscrita son las siguientes:

1-Tasa de falso rechazo (FRR): Es una de las más importantes especificaciones en cualquier sistema biométrico. Se define como el porcentaje de casos de identificación en que un falso rechazo se produce; también se conoce como error Tipo- I.

2-Tasa de falsa aceptación (FAR): El sistema de seguridad biométrico acepta incorrectamente un intento de acceso por un usuario no autorizado. Es el número de falsas aceptaciones dividido por el número de intentos de identificación; también es conocido como error Tipo- II.

3-Error de Taza Media (AER) es el promedio del error tipo 1.

4-Error de Taza de Igualdad (EER) es cuando el intercambio de detección de errores en la FAR y FRR es igual. Entre menor es el valor del EER, mejor es el rendimiento del sistema.

Estas son estadísticas que se utilizan para la medición del rendimiento biométrico cuando se realiza la tarea de verificación. Es un porcentaje de errores que pueden presentar algunos sistemas de reconocimiento de firmas manuscritas y que se deben de tomar en cuenta.

2.2 Pre-procesamiento de imágenes

Son las posibles diferentes etapas por las cuales tiene que pasar una imagen digitalizada de una firma manuscrita y que ayudan a mejorar la calidad de la imagen y facilitan la búsqueda de las características que servirían para la verificación y reconocimiento de la firma en sí, dejando la esencia de ésta y dejando las mejores características para utilizarlas en los procesos de sustracción de características.

Según Karrar Neamah [8], algunas de las posibles etapas por las que debe pasar la imagen son las siguientes: Normalización del tamaño, para ajustar el tamaño de todas las imágenes de la firma a un tamaño deseado. Binarización, la cual consiste en un proceso de reducción de la información, ya que sólo persisten dos valores: verdadero y falso. Estos valores se representan en valores de 0 (valor de negro) y 1 (valor de blanco). Con esto se separa de la imagen las regiones u objetos de interés del resto de la imagen.



Figura 2.7 Imagen binarizada.

Raúl Reina Molina [18] define otro pre-proceso que se le podría hacer a la imagen, es el de la esqueletización, que se usa en muchas aplicaciones que requieren análisis de forma, tales como el reconocimiento de caracteres escritos a mano. El adelgazamiento o esqueletización es una técnica basada en erosiones sucesivas para el

cálculo de esqueletos. Dado un modelo sólido representado por una colección de puntos, la erosión iterativa elimina puntos de la capa externa del objeto (aquella adyacente al complementario del mismo) hasta que queda una estructura delgada, en la zona central del objeto, de manera que equidista del complementario en cualquier dirección.

“Con el fin de producir un esqueleto que conserve la topología y la forma del objeto, el adelgazamiento debe evitar la introducción de cambios topológicos, tales como la ruptura de la conectividad o la inserción de agujeros; así mismo el adelgazamiento debe evitar la pérdida de información de forma, tales como contracción de curvas o superficies que representan información significativa de la forma del objeto. Para alcanzar estos objetivos, los algoritmos de adelgazamiento actuales identifican los puntos cuya eliminación introduciría cambios topológicos o la pérdida de información de la forma, y protegen estos puntos durante el proceso”. [18] añade el autor Raúl Reina Molina.

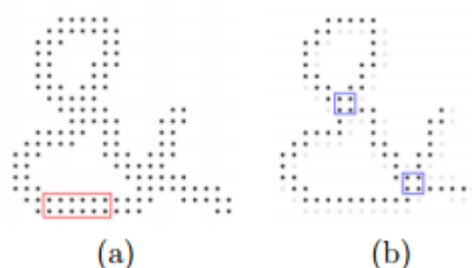


Figura 2.8 Esqueletización.

(a)Imagen Original.

(b)Imagen Esqueletizada.

El autor Rubén Diario Acosta [12] comenta que en un primer objetivo del pre-proceso, a la firma, que puede estar en cualquier color o en escala de grises, se le efectúa una binarización, la cual traduce la matriz (firma) a una escala de pixeles “blancos” y “negros”. En el proceso anterior se eliminan algunos pixeles aislados de la firma que pueden aparecer en el proceso de escaneo, o manchas que pueden considerarse no tan relevantes, y que están sobre la superficie en donde se encuentra la firma. La binarización supondrá un primer filtrado de ruido de la firma digitalizada.

Como un segundo objetivo del pre-procesamiento se obtendrá el “esqueleto” de la firma.

2.3 Extracción de características para el reconocimiento de imágenes

Para la extracción de características de una imagen, ésta debió haber pasado por un pre-procesamiento. Posteriormente se procede con la extracción, es decir, se extraen ciertas propiedades numéricas que describan en forma particular a una firma. Mientras se extraigan más características a la imagen, el resultado será más satisfactorio.

Para la extracción de las características se pueden emplear atributos geométricos de los trazos, entre otros métodos posibles. Por ejemplo, se puede desarrollar para la extracción: *Grid*, *splitting*, distribución de píxeles, densidad de píxeles, distancias de centros de gravedad, curvaturas de trazos, ángulos de inclinación, etc.

También se pueden extraer características con el método Geométrico-Estructural. Este se utiliza en la escritura manuscrita aunque no resulta muy eficaz en los casos de firmas abreviadas, pero se utiliza para el análisis de la firma y rúbrica. Se basa en delinear una figura geométrica a partir de los puntos destacados, se trazan líneas de interacción entre los cabos o salientes, resultando figuras con características únicas e identificativas.

- Primer Etapa: Consiste en señalar determinados puntos en las firmas indubitadas o auténticas.
- Segunda Etapa: Se forman las figuras geométricas uniendo los puntos fijados anteriormente.

En las etapas anteriores se deben seleccionar dos puntos para formar la figura, pero se deben de tener reglas similares a las que podría utilizar un perito según su criterio. Por lo general son elegidas las que resulten más evidentes, éstas son algunas reglas posibles:

Regla I: Formación de un rectángulo: determinar las distancias entre los puntos más exteriores de la firma.

1).

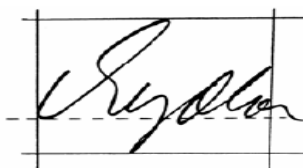


Figura 2.9 Formación de un rectángulo

Primero se trata de formar un rectángulo en la firma. Hay que trazar una línea, llamada "línea básica de la firma", la cual es una línea que pasa por dos puntos: el inferior de la primera letra y el más bajo de la última letra o *gramma* de la firma. En este caso, esa línea sirve sólo como ayuda y posibilita trazar dos rectas paralelas a ella. La primera pasa por el punto más bajo de la firma y la segunda pasa por el punto más alto. Después hay que trazar dos líneas rectas perpendiculares a la línea básica y que pasan por los puntos extremos a la derecha y a la izquierda de la firma. Esta regla es universal, pero por la poca información que suministra dicho rectángulo de las firmas analizadas, es poco útil para su identificación [19].

Regla II. Formación de un ángulo: Esta figura se construye trazando una línea básica y después una línea oblicua, o "línea cubriente", que pasa por ejemplo, por el punto más alto de la última letra o *gramma*.



Figura 2.10 Formación de un ángulo

El ángulo formado así, está ligado estrictamente con la forma de la firma. La medida del ángulo formado entre la línea básica y la cubriente es importante, porque establece las relaciones entre los tamaños de los elementos medibles de la escritura, en este caso: la firma de una persona, y son elementos relativamente estables [19].

Regla III. Formación de un triángulo: El triángulo se puede formar aprovechando la línea.



Figura 2.11 Formación de Triángulo.

La línea que forma el tercer lado del triángulo muestra el ángulo (aproximado) de inclinación del eje de la primera (o la última) letra, que suministra un informe adicional, el cual no se obtiene usando la regla II.

Regla IV. Formación de un cuadrilátero irregular: Para formar un cuadrilátero se pueden enlazar entre sí los puntos que sirven para formar la línea básica y la cubriente. Otro modo de formar el cuadrilátero es enlazando los puntos exteriores de la firma.

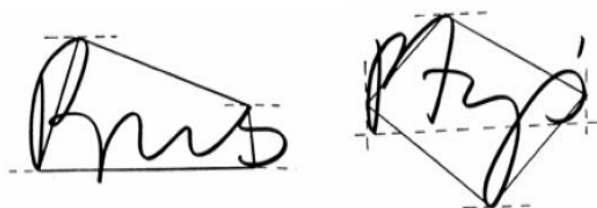


Figura 2.12 Formación de Cuadrilátero irregular.

Regla V. Formación de un pentágono: El pentágono se forma por el enlace de dos puntos determinantes de la línea básica, los puntos exteriores de la derecha y de la izquierda de la firma y el punto más alto de la firma.



Figura 2.13 Formación de Pentágono.

Regla VI. Formación de un polígono: Los puntos "más convenientes", pueden ser los descritos en las reglas I-V o también otros puntos que de alguna manera se destacan en la misma firma



Figura 2.14 Formación de polígono.

El perito experto que identifique la firma con este método debe usar todas estas reglas, gracias a lo cual recibe informes independientes entre sí; en el caso contrario el crecimiento de la cantidad de las informaciones sería sólo aparente [19].

- Tercera etapa: Consiste en comparar las dos figuras resultantes, la semejanza entre ellas puede indicar la posibilidad de que la misma persona sea la autora de ambas firmas.

Después de designar los puntos y delinear las figuras geométricas sigue la etapa de realizar las medidas. Sobre el resultado de las medidas tienen influencia:

- La exactitud de fijar los puntos.
- La exactitud de delinear las líneas.
- La exactitud de las mediciones

El dibujo de las figuras geométricas es sólo una fuente de información adicional sobre la firma (ni la única, ni la más importante). Por su simplicidad y por la posibilidad de hacer una clara exposición documental, el método geométrico-estructural puede tener una importancia ilustrativa.

Como dice Georg Schneidemühl: "desde el momento en que el escribir se considera como un complicado proceso fisiológico y psicológico, había de ser claro para todo especialista en esta materia que nunca se podrá determinar con un compás si dos escrituras, de las cuales una ha sido simulada intencionalmente, proceden de la misma o de dos personas distintas" [19].

2.4 Red neuronal como clasificador

Según Kohonen [13], "Redes neuronales artificiales son redes interconectadas masivamente en paralelo, de elementos simples (usualmente adaptativos) y con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema biológico"



Figura. 2.15 Red neuronal.

Las redes neuronales se pueden describir como el comportamiento similar de las neuronas del cerebro. Son interconexiones de dichas neuronas colaborando entre sí para producir un estímulo, en este caso de las redes neuronales artificiales, un estímulo de salida. Se le conoce también como: “Redes de Neuronas o Redes Neuronales” denominada habitualmente como: “RNA, o por sus siglas en inglés *ANN*”.

“Las redes neuronales presentan un gran número de características similares a las del cerebro, por ejemplo, son capaces de aprender de la experiencia, de generalizar de casos anteriores a nuevos casos, de abstraer características esenciales a partir de entradas que representan información irrelevante etc., esto hace que ofrezcan numerosas ventajas”, comentó Maren [14].

Los autores José R. Hilera y Víctor J. Martínez [15], describen las ventajas de las redes neuronales de la siguiente manera:

- Aprendizaje adaptativo: Capacidad de aprender a realizar tareas en base a un entrenamiento o una experiencia inicial.
- Auto-organización: Una red neuronal puede crear su propia organización mediante una etapa de aprendizaje.
- Tolerancia a Fallos: Las redes pueden aprender a reconocer patrones con ruido, distorsionados o incompletos, la información está distribuida en las conexiones entre neuronas.
- Fácil inserción dentro de la tecnología: Una red individual puede ser entrenada para desarrollar una única y bien definida tarea, o tareas complejas que haga múltiples selecciones de patrones.

El autor Pedro Isasi Viñuela [16] define la estructura de la red neuronal de la siguiente manera:

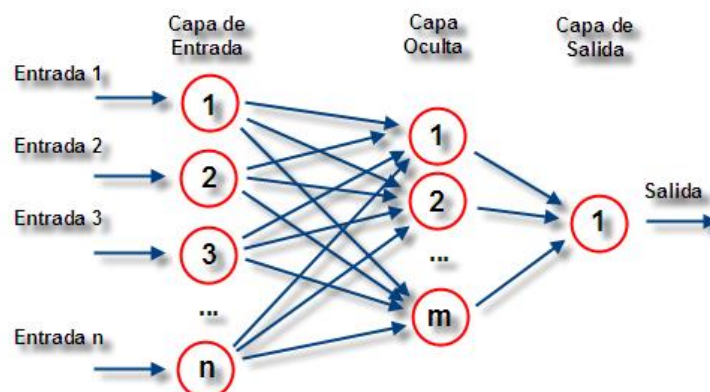


Figura 2.16 Estructura de la red neuronal artificial.

Donde muestra una serie de entradas a la primera capa, la de entrada, y cómo la salida de cada neurona llega a la entrada de todas las neuronas en la capa siguiente. Las características principales de las redes neuronales son que tienen la capacidad de aprender las relaciones insumo-producto no lineal y complejo. La función de la red es utilizar los procedimientos de entrenamiento secuencial, y adaptarse a sí misma a los datos. La familia más utilizada de redes neuronales para clasificación de patrones es la red de alimentación hacia adelante, que incluye al perceptrón multicapa. Las redes multicapa están formadas por varias capas de neuronas. Estas redes se pueden a su vez clasificar atendiendo a la manera en que se conexionan sus capas. Usualmente, las capas están ordenadas por el orden en que reciben la señal desde la entrada hasta la salida y están unidas en ese orden.

Hay varios modelos que existen para las redes neuronales, por ejemplo: Perceptrón, Perceptrón multicapa, Redes Neuronales Supervisadas, Adaline, Redes auto-organizadas, redes realimentadas, entre otras, donde se pueden realizar de la siguiente manera: Propagación hacia atrás, Propagación hacia adelante.

La Topología de la red la describe el autor Víctor J. Martínez [17], de la siguiente manera:

- Red Monocapa: Se establecen conexiones laterales entre las neuronas que pertenecen a la única capa que constituye la red, también pueden ocurrir conexiones autorrecurrentes y no autorrecurrentes.
- Red Multicapa: Es la que dispone de conjuntos de neuronas agrupadas.

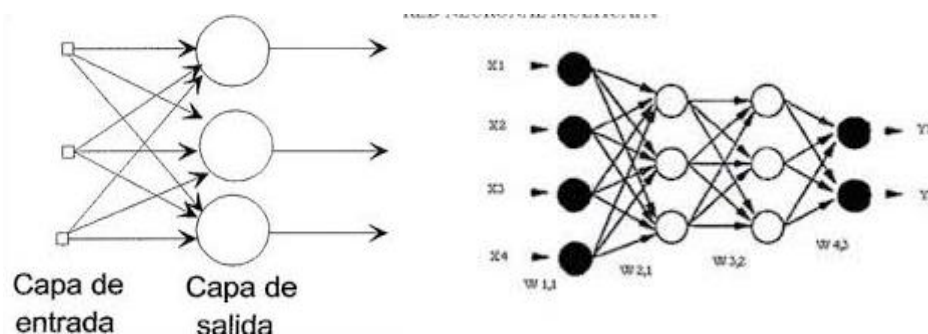


Figura 2.17 Red monocapa y red multicapa.

Según José R. Hilera [18], el aprendizaje de las redes neuronales puede ser supervisado, donde la respuesta ya es conocida, es decir, ya se establece la salida deseada y las entradas están clasificadas. Este necesita un conjunto de datos de entrada previamente clasificados, donde el agente externo controla el proceso de aprendizaje de la red. Dicho aprendizaje tiene diferentes tipos: Aprendizaje por corrección de error, aprendizaje por refuerzo y aprendizaje estocástico, entre otros. Otro aprendizaje es el del no-supervisado o auto-organizado, este método no necesita el conjunto de datos, este aprendizaje no requiere de influencia externa para ajustar los pesos de las conexiones entre sus neuronas, la red no recibe ninguna información. Estas redes son capaces de auto-reorganizarse.

Las redes neuronales son empleadas hoy en día para aplicaciones programadas, pero se dispone, o no, de un conjunto de ejemplos de entrada previamente clasificados y son altamente robustas tanto al ruido como a la difusión. Se pueden resolver problemas de clasificación, se puede utilizar cuando no hay modelos matemáticos precisos o algoritmos con complejidad razonable, en robótica evolutiva. También en el reconocimiento de patrones, por ejemplo el reconocimiento una firma con el método de “off-line o estático”, donde se ha utilizado como clasificador.

2.4.1 Arquitecturas

La arquitectura de las redes neuronales es la forma en cómo se organizan en su interior, dependiendo del número de capas: redes monocapa o redes multicapa y dependiendo de cómo fluye la información, tal como redes feedforward o redes recurrentes [20].

La red monocapa tiene las siguientes características:

- El primer nivel está asociado con el vector de entrada.
- No hay procesamiento de estos datos.
- La información entra al mismo nivel y los datos son transferidos al siguiente nivel, modificados por el peso.
- Solamente tiene capa de entrada y salida.
- Hay una conectividad total entre el nivel de entrada y de salida.

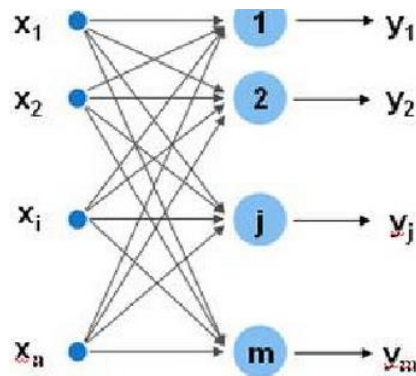


Figura 2.18 Arquitectura red monocapa.

La red multicapa tiene las siguientes características:

- Tiene un nivel de entradas con n neuronas y una capa de salida de m neuronas.
- La red incluye una capa intermedia denominada “Capa Oculta” que está formada por h neuronas.
- Solo fluye en una única dirección.

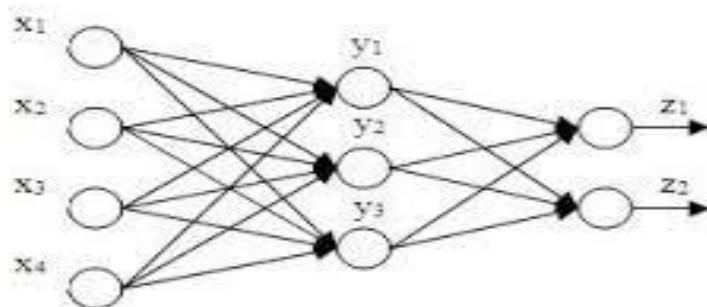


Figura 2.19 Arquitectura de la red neuronal multicapa.

De la siguiente forma puede fluir la información con redes feedforward, en este tipo de red artificial la información fluye en un único sentido, desde las neuronas de entrada y de procesamiento hasta las de la salida. Esto es de igual forma en los dos tipos de redes, monocapa o multicapa. En el caso de las redes recurrentes la información no siempre fluye en un sentido, puesto que puede realimentarse hacia capas anteriores a través de conexiones sinápticas [20].

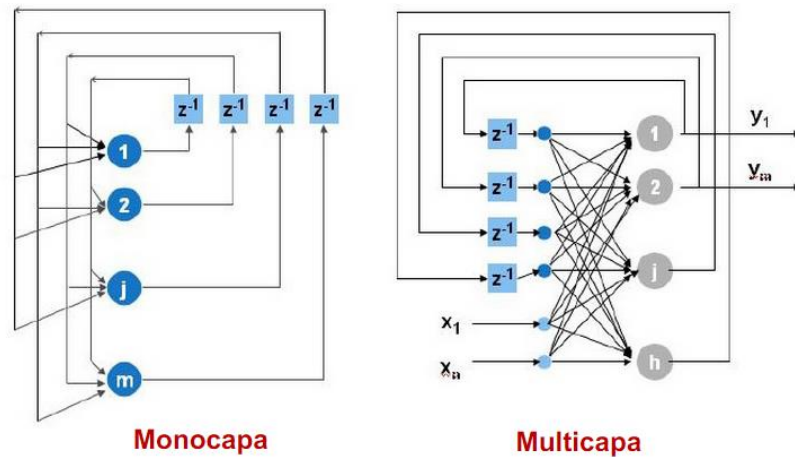


Figura 2.20 Arquitectura de redes recurrentes

2.4.2 Parámetros de entrenamiento

Los parámetros de entrenamiento que usaremos para el entrenamiento de la red serán densidad de píxeles, siendo esta una unidad que se mide en píxeles por pulgada abreviada como PPP o como PPI (*pixels per inch*), tratándose de uno de los datos más importantes a la hora de analizar la calidad de una pantalla, igual de importante como la resolución. Binarización, la cual consiste en un proceso de reducción de la información de una imagen digital a dos valores: 0 (negro) y 255 (blanco).

Esta técnica consiste en comparar cada píxel de la imagen con un determinado umbral (valor límite que determina si un píxel será de color blanco o negro). Los valores de la imagen que sean mayores que el umbral toman un valor 255 (blanco), el resto de píxeles toman valor 0 (negro). La esqueletización pretende obtener de la imagen, un patrón continuo que contenga la menor cantidad de datos posibles, pero que siga aun conteniendo un rastro del objeto original entre otros métodos, los cuales ayudarán a trabajar de una manera con la información específica de las imágenes.

Con las características de las imágenes entrenaremos a la red Neuronal, dándole la información verdadera de la firma auténtica, con esto la red podrá comparar y diferenciar cuales características son compatibles con la información de la firma genuina, teniendo varias entradas y arrojando una sola respuesta [9].

2.4.3 Entrenamiento

Según el autor Abel Fiszlelew [21], para entrenar una red neuronal para aproximar una función deseada, se utiliza un algoritmo de aprendizaje. El algoritmo de aprendizaje ajusta automáticamente los pesos de una red neuronal de manera que mejora su habilidad para entregar una salida deseada a partir de una entrada dada.

En el aprendizaje supervisado se requiere tener disponibles para el algoritmo al conjunto predefinido de entradas y las salidas deseadas correspondientes. Este conjunto de ejemplos se denomina *set* de entrenamiento. A través del uso de un algoritmo de aprendizaje y un *set* de entrenamiento adecuado, una red neuronal con la complejidad suficiente puede ser entrenada para aproximar cualquier función. A uno de tales algoritmos de entrenamiento se le denomina “back-propagation” (retropropagación), utilizado para entrenar a las redes *feedforward* multicapa (Unidireccionales). El modelo más utilizado para esta red es el Perceptrón, no hay realimentación y la salida depende de las entradas y de los pesos, añade el autor [21].

Específicamente, se considera un método simple de entrenamiento en el cual los pesos son actualizados, patrón por patrón, hasta que un *epoch*, es decir, una presentación completa del *set* de entrenamiento, ha sido tratado. Los ajustes a los pesos se hacen de acuerdo con los errores respectivos, computados para cada patrón presentado a la red. El promedio aritmético de estos cambios de peso individuales producidos por el *set* de entrenamiento es entonces una estimación del cambio verdadero que resultaría de modificar los pesos basándose en la minimización de la función de costo sobre el *set* completo de entrenamiento [20].

Capítulo 3. Materiales y Métodos

Este capítulo pretende ofrecer un panorama de las cosas que funcionaron y no funcionaron, lo que se utilizó y lo que se hizo. Lo anterior relacionado con el proceso de la recolección de firmas, la determinación del área o el margen, la recolección de las muestras, la utilización de firmas falsas y originales, el procesamiento realizado con cada firma y los métodos utilizados.

3.1 Materiales

Los materiales utilizados fueron: 100 firmas originales y 100 firmas falsas recolectadas en hojas de máquina tamaño carta con margen determinado, pluma negra con punta media (ya que era la adecuada para que el trazo fuera más preciso).

3.2 Métodos

Los métodos utilizados para la recolección de firmas fueron los siguientes: Para la determinación del margen se optó por contar los píxeles de las firmas más grandes, en la recopilación de firmas se utilizó una tabla con margen de 325x200 píxeles, se digitalizaron las firmas y se escanearon a una resolución de 150 dpi. Posteriormente se pre-procesaron las imágenes (binarización, esquelatización), se definieron macros para la selección de la firma y el área de ésta, se determinaron los rangos y normalizaciones de estos datos y se realizó el entrenamiento de la red neuronal variando su topología y parámetros para obtener el mejor resultado.

3.2.1 Recolección de firmas

Para el proceso de recolección de firmas primero se recolectaron varias firmas en físico de diferentes autores para seleccionar una de ellas. Prácticamente podría ser cualquier firma, pero se seleccionó la firma con trazos más indefinidos, o menos regulares, para demostrar hasta qué grado se puede diferenciar de entre otras que intentaran falsificarla. Una vez seleccionada la firma se empezó la recolección en serie en una hoja de papel tamaño carta en forma vertical. Cada hoja se dividió en cuatro secciones y en cada cuarto de hoja se recolectó la firma original. Tras obtenerlas se empezó a recortar físicamente cada una de ellas conforme al área determinada, lo cual más adelante en la investigación se evidenció como inadecuado, ya que se deberían de haber recortado digitalmente para que el área fuera constante en cada firma. Por tal

motivo se descartó este proceso ya que esto no dejó bien definido el margen o área utilizable para la firma. Otro error fue al momento de seleccionar el área, ya que ésta tenía demasiado espacio inutilizado, por lo tanto, el dejar bastante espacio en blanco aportaría información no necesaria a la red neuronal, ya que lo que interesaba eran los trazos de la firma. Entonces, lo que se necesitaba era tener un área bien definida para que en el momento en que el autor firmara, tuviera un espacio adecuado y que la firma estuviera mayormente centrada, de lo contrario, el usuario tal vez ocuparía demasiado espacio teniendo como resultado firmas agrandadas y desalineadas.

En base a lo anterior, se planteó de nuevo el espacio que podría tener cada una de las firmas y se prosiguió a medir físicamente con una regla cada una de las firmas para poder escoger la más grande de todas las muestras tomadas. En base a ésta, se determinó el margen, tomando en cuenta también que se agregaría un centímetro por cada trazo más largo y alto de la firma, obteniendo como resultado 5.5 x 3.5 cm. Convirtiendo éstos en pixeles, ya que más adelante se trabajaría en este nivel, se calculó cuántos pixeles medía el margen, el resultado fue de 325x200 pixeles. El margen se debe mantener constante para cada una de las firmas con una dimensión (alto y ancho) igual para todos los casos (pixeles).

Al tener definido el margen, se trazaron algunos ejemplos con ésta medida de 325 x 200 pixeles para verificar si el autor de la firma consideraba el espacio razonable al momento de firmar. Al ser exitoso se prosiguió a la realización de una tabla con un total de 20 espacios en forma horizontal con la medida del margen determinado. Al momento de imprimir esta tabla se verificó que no se alterará el tamaño del margen midiendo físicamente la tabla con una regla, en base a la medida que previamente se determinó en centímetros. Se consideró incluso el margen de la tabla para que al momento de imprimirla no se alterara la medida.

Antes de imprimir todas las tablas se planteó el número de firmas que se necesitarían recopilar para obtener suficientes características de éstas, las cuales más adelante se utilizarían en otros procesos. Se decidió que se recopilarían 100 firmas originales y 100 firmas falsas, una vez determinado el número de firmas se imprimieron 10 tablas, cada una contaba con 20 espacios para firmar, después se empezaron a recopilar las firmas originales.

Posteriormente, para recopilar las firmas falsas se les pidió a varias personas falsificar la firma original sin intentar practicarla varias veces. Prácticamente la función de la realización de la tabla fue para que todas las firmas estuvieran lo más posible centradas, con un margen definido y constante, y así facilitar posteriormente el pre-procesamiento.

Se consideró utilizar diferentes plumas negras para elegir la que tuviera un trazo más uniforme, que dejara las líneas lo más sólidas y continuas posibles, también se tiene que evitar el caso de las plumas que avientan excesos de tinta. El tamaño de la punta de la pluma mejor fue la de punto medio, ya que la del punto fino cortaba en ocasiones el trazo, dejando excesos de tinta en la firma (el exceso de tinta generaría información no necesaria), aunque no se pudo evitar completamente este evento, se intentó minimizarlo.

3.2.2 Pre-procesamiento

En esta parte del proyecto se realizaron varias pruebas de escanear las firmas obtenidas, las cuales fueron a una resolución de 72, 96 y 150 dpi. Al final se eligió la resolución de 150 dpi, considerándola como una resolución aceptable a la necesidad del proyecto y para el procesamiento siguiente. Para la realización de las pruebas se escanearon 10 hojas con sus respectivas áreas definidas, teniendo 20 firmas por cada hoja.



Figura 3.1 Firmas escaneadas.

Una vez escaneadas todas las firmas, se procedió al recorte de cada una de ellas, para lo cual se utilizó el programa Photoshop. Para el proceso del recorte se realizó lo siguiente:

- 1) Abrir una hoja escaneada (la tabla con firmas). Rotar la imagen 90 grados si fuera necesario, para que quedara en forma horizontal. Esto con el menú: (imagen/ rotación de imagen).
- 2) Seleccionar la herramienta "*rectangular marquee tool*"
- 3) Cuando se selecciona esa herramienta, aparece la opción "*Style*" y se selecciona "*Fixed Size*".
- 4) A un lado de "*Style*" - "*Fixed Size*", aparecerán las opciones *Width* y *Height*, ya en pixeles. Se escriben los valores exactos que se requieran. En este caso se eligió 280 y 116.



Figura 3.2 Selección del *crop*.

- 5) Ya con lo anterior, en cualquier parte de la imagen se hace *click* y aparece la pre-selección del tamaño exacto, solo se necesita arrastrarla con el *mouse* a la posición exacta en que se requiera para "encerrar" con precisión a la imagen de la firma.
- 6) Ya con una firma "encerrada", se elige el menú: "*Image/Crop*"
- 7) Se graba la firma a un archivo .bmp individual y se le da un nombre adecuado
- 8) Para regresar a la tabla completa se elige el menú: "*Edit/Step Backward*"

9) Se arrastra el área de selección a una siguiente firma y se repite el proceso de los pasos 6, 7 y 8.

Para el proceso de la binarización se procedió con lo siguiente:

- 1) Usando el programa ImageJ, se abre el archivo de la firma
- 2) Se selecciona la opción “proceso”
- 3) Previamente se seleccionó “binary”
- 4) Se selecciona “make binary” para convertir la firma a forma binaria

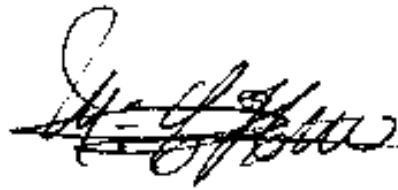
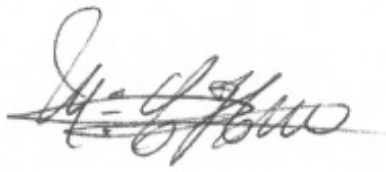


Figura 3.3 Firma original recortada.

Figura 3.4 Firma original binarizada.

- 5) Una vez convertida la firma a forma binaria se guarda la imagen con formato BMP.
- 6) Se realizaron todos estos pasos con cada una de las firmas recolectadas.

Para el proceso de la esqueletización se realizó lo siguiente:

- 1) Usando el programa imageJ, se abre el archivo de la firma
- 2) Se selecciona la opción “process”



Figura 3.5 Firma esqueletizada.

- 3) Previamente se seleccionó “skeletonize”
- 4) Una vez convertida la firma a forma esqueletizada, se guarda la imagen con formato BMP
- 5) Se realizaron todos estos pasos con cada una de las firmas obtenidas.

3.2.3 Recolección de las métricas en la etapa de extracción de características

En la etapa de extracción de características se utilizaron algunas métricas, tales como la desviación estándar, centro de masa (XM, XY), densidad integrada, fracción de área, oblicuidad, valor medio gris, *Kurtosis*. Entre mejor se elijan estas métricas, la red neuronal realizará mejor el reconocimiento.

Estos son los siguientes puntos que se tomaron en cuenta para la etapa de extracción de características de las firmas genuinas:

- Determinación de la firma en píxeles
- Determinación del número de firmas
- Elección de una firma genuina
- Recolección de firmas genuinas y falsas
- Determinación del tipo de pre-procesamiento por la que pasará la firma
- Determinar el tipo de red neuronal a implementar
- Determinar la salida de la red
- Extracción de las características

Se obtuvieron las siguientes métricas para las 100 firmas falsas y 100 firmas genuinas:



Figura 3.6 Set Measurements

Se hizo un análisis de la firma donde únicamente ocuparía un área determinada, en este caso fue un rectángulo, y otra medida fue la de una selección que sólo abarcara a los trazos de la firma, sin ningún espacio alrededor. Posteriormente se ejecutaron dichas sentencias a manera de macros en el software ImageJ.

Los pasos para obtener las métricas seleccionadas fueron:

- Rectángulo

```
run("Create Selection");
```

```
run("To Bounding Box");
```

```
run("Measure");
```

- Selección

```
run("Create Selection");
```

```
run("Measure");
```

Posteriormente se juntaron los resultados en un documento de Excel teniendo como resultados 4 documentos:

- 1) Rectángulo Firma Falsa
- 2) Selección Firma Falsa
- 3) Rectángulo Firma Original
- 4) Selección Firma Original

Después se combinaron los resultados anteriores para llegar a dos hojas de Excel el resultado fue:

- 1) Rectángulo Firma Falsa - Selección Firma Falsa
- 2) Rectángulo Firma Original - Selección Firma Original

Para no mezclar información, se incluyeron etiquetas con el nombre de cada imagen (firma) en las hojas de Excel, para que posteriormente, al hacer la combinación, no se perdiera información. Se verificó que para cada renglón, coincidiera con la firma correspondiente. Se realizó un proceso similar con los documentos de Rectángulo Firma Original y Selección Firma Original. Finalmente se debía llegar a un solo documento de Excel consolidado.

Una vez finalizado el proceso anterior, se hizo un análisis y se observó que varias de las métricas seleccionadas no tenían un aporte importante para la diferenciación de las firmas y sólo incrementarían innecesariamente las entradas de la red neuronal, así que se optó por definir nuevos procesos con las imágenes, esperando que dieran mejores resultados.

Las métricas seleccionadas, basadas en el contorno exterior exacto de las firmas fueron: área, perímetro, *Bounding Box Width, Height, Fit Ellipse (angle), Shape Descriptor (AR, Circ)*. Se agregó manualmente una columna para calcular la división entre ancho y alto de la imagen llamada W/H.

Las métricas basadas en el área rectangular mínima que encierra a la firma fueron las siguientes: área, *Center of Mass (XM, YM), Perimeter, Fit Ellipse (Angle), Shape Descriptors (AR, Circ, Solidity)* y *Area Fraction (% area)*.

A continuación se describe cada una de estas métricas:

- *Area*: número de píxeles (puntos negros).
- *Perimeter*: perímetro de la imagen.
- *Bounding Box (Width, Height)*: Es el rectángulo más pequeño que encierra la selección de la firma, solo se tomó la anchura y altura.
- *Fit Ellipse (angle)*: Monta una elipse a la selección, ángulo (0-180 grados) y es el ángulo entre el eje principal y una línea paralela al eje X.
- *Shape descriptor (AR, Circ)*: Calcula la circularidad ($4\pi * \text{Área} / \text{perímetro}^2$). Un valor de 1.0 indica un círculo perfecto. A medida que el valor se aproxima a 0,0, indica una forma cada vez más alargada.
- *Center of mass (XM, YM)*: Calcula cuántos píxeles quedaron en blanco y en negro y trata de hacer un promedio. Este es el promedio ponderado de brillo de la X y Y, e incluye a todos los píxeles de la imagen o selección. Estas coordenadas son los momentos espaciales de primer orden.
- *Shape descriptors (AR, Circ, Solidity)*: Envuelve a la imagen un una elipse y calcula la división entre el eje mayor y el menor, estima la solidez y la circularidad. *Circ (circularity)*: $4\pi * \text{Área} / \text{perímetro}^2$.

Un valor de 1.0 indica un círculo perfecto, a medida que el valor se aproxima a 0,0, indica una forma cada vez más alargada. AR (relación de aspecto) mayor/menor. Solidez (*Soldity*): área / zona convexa, de la selección del área.

Area fraction (% area): Es el porcentaje o relación entre los pixeles totales de la imagen o la selección y de los pixeles distintos de cero.

Para la extracción automatizada de los procesos mencionados en las imágenes (falsas y originales), se implementaron 3 diferentes macros:

Macro Count: cuenta los trazos cerrados o “*loops*” presentes en cada firma.

```
run("Smooth");  
setThreshold(1, 255);  
run("Convert to Mask");  
run("Find Maxima...", "noise=1 output=Count");
```

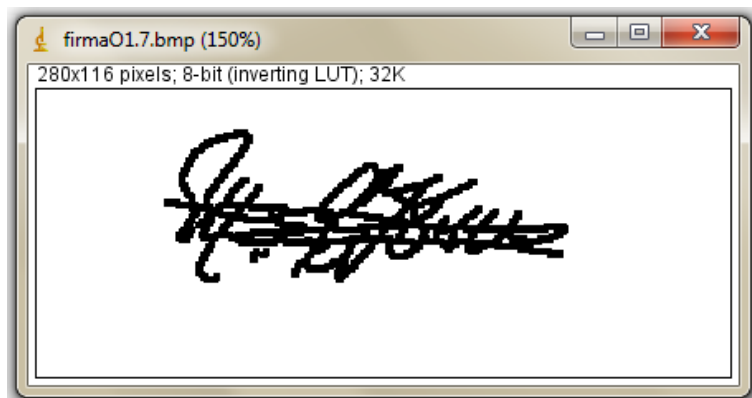


Figura 3.7 Macro Count.

Macro Area.

La función de la macro *area* es determinar el área resultante al conectar con una línea continua a todos los puntos seleccionados anteriormente.

```
run("Set Measurements...", "area center perimeter fit shape area-fraction display  
redirect=None decimal=3");  
run("Smooth");  
setThreshold(1, 255);  
run("Convert to Mask");
```

```
run("Find Maxima...", "noise=1 output=[Point Selection]");  
run("Convex Hull");  
run("Fit Spline");  
run("Measure");
```

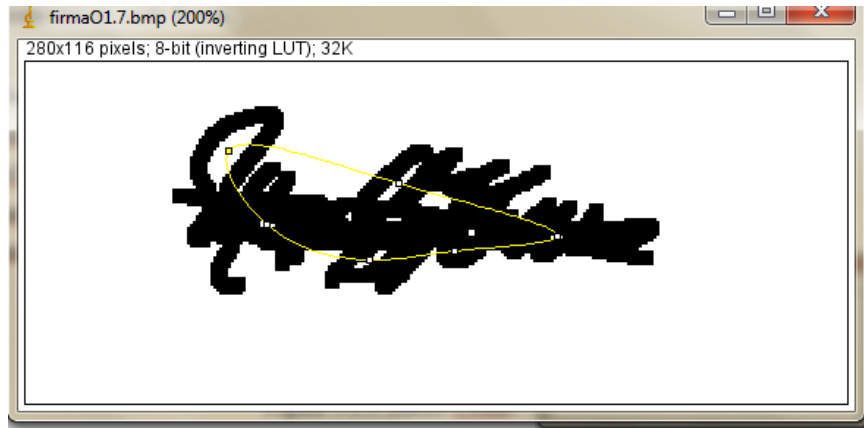


Figura 3.8 *Macro area.*

Macro Selection.

```
run("Set Measurements...", "area perimeter bounding fit shape display redirect=None  
decimal=3");  
run("Smooth");  
setThreshold(1, 255);  
run("Convert to Mask");  
run("Create Selection");  
run("Measure");
```

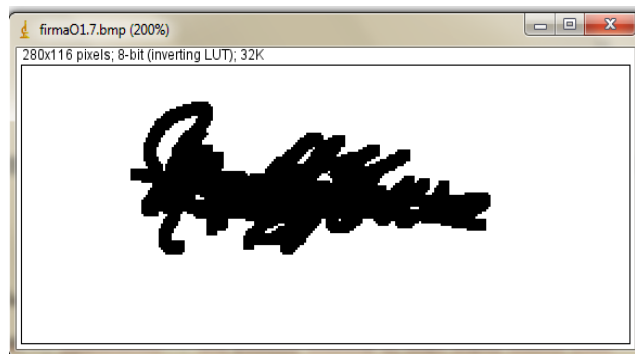


Figura 3.9 *Macro Selection.*

3.2.4 Determinación de rangos

Una vez realizadas las 3 macros a todas las firmas, el programa ImageJ, guarda los resultados obtenidos en una hoja de Excel, teniendo como resultados 3 hojas, a las que se les llamó: *count*, *area* y *selection*, previamente se determinaron los rangos mínimos y máximos, para cada columna tanto de las firmas falsas como de las originales.

Una vez teniendo los rangos individuales, tanto de *count*, *área* y *selection* de firmas falsas y originales, se procedió a determinar los rangos finales entre originales y falsas los cuales fueron los siguientes resultados.

Count.

Rangos finales	
Min.	6
Max.	42

Tabla 3.1 Rangos count.

Area.

Rangos Finales		Area_ A	XM_A	YM_ A	Perim_ A	Angle_ A	Circ_ A	%Area_ A	AR_ A	Solidity_ A
Xmin	Min	758	69.129	41.07 6	131.762	0.004	0.194	33.355	2.158	0.88
Xmax	Max	8533	155.78 1	74.10 9	486.389	179.97	0.762	74.811	9.266	0.992

Tabla 3.2 Rangos de área.

Selection.

Rangos Finales		Area_S	Perim_S	Width_ S	Height_ S	Angle_ S	Cir_ S	ARS	W/H_S
	Min.	2085	956.314	143	49	0.039	0.011	2.321	1.833
	Max.	4551	2276.14 4	268	108	179.849	0.029	5.013	3.694

Tabla 3.3 Rangos de selección.

Teniendo los rangos finales entre originales y falsas, se utilizó la siguiente fórmula para normalizar los valores de las diferentes columnas, a un rango que fuera de 0 a 1. Esto para facilitar el entrenamiento de la red neuronal, la fórmula es la siguiente.

$$\frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} = \text{datos normalizados.}$$

Al tener los datos normalizados de firmas falsas y firmas originales, se consolidaron todos los datos en una sola hoja de Excel, teniendo entonces un total de 200 renglones, cada uno representando a una firma y con 18 columnas, que fueron los valores obtenidos de las macros: *count*, área y selección, descritos anteriormente. Se agregó una última columna con el nombre de “salida”, dándole el valor 1 a los renglones de las firmas originales y un 0 a los renglones de las falsas.

3.2.5 Proceso para el entrenamiento de la red neuronal

Se exportó la hoja de Excel consolidada a un documento con el formato .csv, ya que este tipo de archivo es importado fácilmente al programa JustNN. Los resultados contenidos en este archivo pasarían a ser ya las entradas y salidas de la red neuronal.

Se efectuaron los siguientes pasos para importar el archivo al programa justNN

1. Abrir el programa justNN
2. Crear un archivo nuevo en (*File – New*)
3. Importar el archivo tipo .csv (*File- Import*)
4. Se selecciona el archivo y se presiona “abrir”.

Aparece el siguiente cuadro:

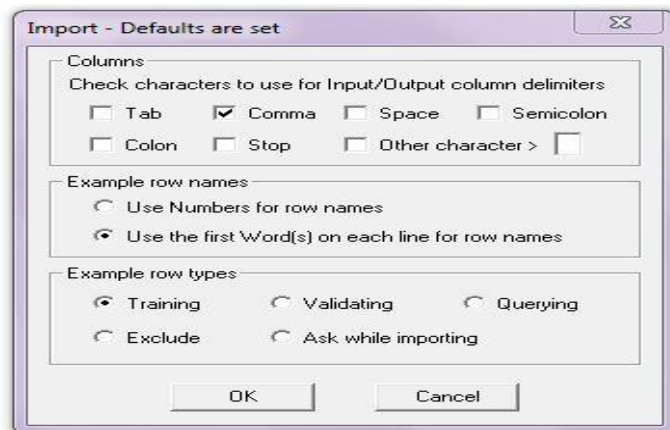


Figura 3.10 Cuadro requisitos para importar archivo.

Sólo seleccionar en el área de columnas “*Comma*”, luego, en el siguiente recuadro seleccionar la opción ‘*Use the first word(s) on each line for row names*’ y en “*example row types*” seleccionar “*Training*”. En la hoja nueva aparecerán todas las columnas ya establecidas en el archivo. Posteriormente, seleccionar “*set names*” y aparecerá un cuadro como el siguiente:

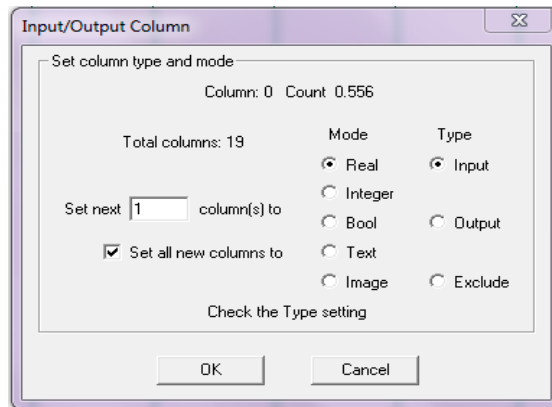


Figura 3.11 Cuadro indicar salidas y entradas en la red.

Seleccionar “*Set all new columns to*” en modo real y en el tipo indicar que es entrada (input). Después, aparecerán todos los datos que utilizará la red para ser entrenada. Posteriormente es necesario cambiar la columna “salida”, ya que todas las columnas quedaron importadas como entradas. Para esto se selecciona “*edit-input/output columns*”, luego “*change input/output column types*”, se cambia a “*output*”, y de esta manera la red tendrá establecida la salida, se tornará de otro color la columna (rojo) indicando que es una salida.

Después de indicar en el programa cuales son las entradas y salidas para la red neuronal, se prosiguió a dividir las muestras para diferentes casos por lo que se tomaron de la siguiente manera:

Firmas originales

- 50 muestras originales sin modificarlas
- 25 muestras para la validación
- 25 para las pruebas

Firmas falsas

- 50 muestras originales sin modificarlas

- 25 muestras para la validación
- 25 para las pruebas

Para realizar estas divisiones se selecciona “*edit- example rows*” “*change example row types*”. Para cambiar a validación, seleccionar “*validation*” en el renglón deseado, el cual cambiará a color a verde. Esto indica que esas firmas serán usadas para validación. Se selecciona cada renglón que se desea cambiar y se siguen las indicaciones anteriores, cambiando uno por uno dando *click* en “*change*”. De manera similar se procede a elegir todos aquellos renglones que serán utilizados como “prueba”, los cuales quedan en color rojo, en este caso se selecciona “*query*”. Cabe mencionar que los renglones de prueba no son considerados durante el proceso de entrenamiento, sino hasta el final, cuando ya la red ha sido satisfactoriamente entrenada, el software calcula los valores de salida en todos los renglones tipo “*query*” y estos serán la base para estimar el porcentaje final de error obtenido por la red neuronal.

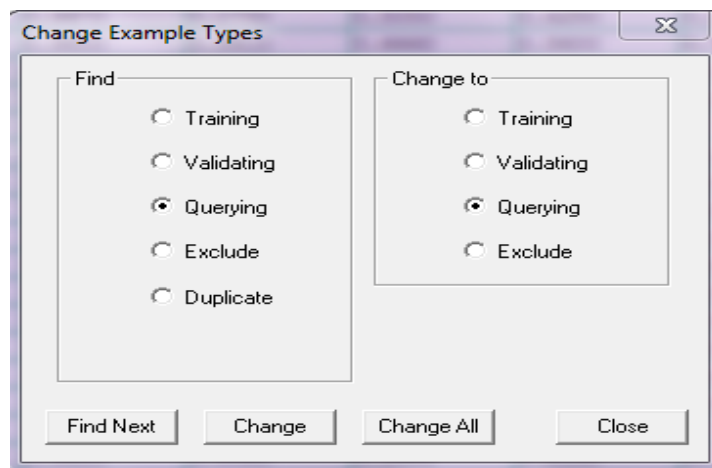


Figura 3.12 Cuadro para cambiar tipo (prueba, validación, entrenamiento etc.)

Las firmas de color azul indican que estas son para el entrenamiento de la red neuronal, las rojas son para las pruebas y las verdes para la validación. La red neuronal tendrá como salida un 1, el cual será para indicar que son genuinas las firmas y un 0 para indicar que las firmas son falsas. Tomando en cuenta que el tipo de columna es numérico, el valor se redondea para formar un 1 o para formar un 0, según al que se encuentre más próximo.

Al inicio de las pruebas, se intentó con diferente número de neuronas y de capas ocultas. Después de innumerables pruebas y de analizar los porcentajes de error

obtenidos en cada caso, se optó por utilizar únicamente 6 neuronas teniendo resultados favorables con un 92% de confiabilidad en validación y un 88% en pruebas.

	Count	Area_A	XM_A	YM_A
firmaF4-70+	0.0280	0.2990	0.6490	0.413
firmaF4-71+	0.6110	0.3490	0.6190	0.634
firmaF4-72+	0.5280	0.2560	0.5060	0.373
firmaF4-73+	0.6940	0.5090	0.6430	0.396
firmaF4-74+	0.8610	0.3990	0.7010	0.415
firmaF4-75+	0.5000	0.3460	0.6300	0.610
firmaF4-76+	0.5280	0.1900	0.6760	0.524
firmaF4-77+	0.9440	0.2940	0.5220	0.445
firmaF4-78+	0.4440	0.3260	0.5820	0.575
firmaF4-79+	0.4720	0.3800	0.5500	0.475
firmaF4-80+	0.3610	0.3800	0.6620	0.515
firmaF5-10+	0.6940	0.6210	0.2200	0.503
firmaF5-81+	0.4720	0.3030	0.7840	0.546
firmaF5-82+	0.9720	0.3830	0.5250	0.681
firmaF5-83+	0.7500	0.5440	0.4750	0.246
firmaF5-84+	0.0000	0.0000	0.6200	0.480
firmaF5-85+	0.3330	0.2550	0.5100	0.561

Figura 3.13 Algunos ejemplos de validación y prueba

Angle_S	Cir_S	ARS	W/H_S	Salida
0.9680	0.5000	0.2170	0.2170	1.0000
0.9810	0.3330	0.7600	0.7600	1.0000
0.9640	0.5000	0.5780	0.5780	1.0000
0.9760	0.3330	0.4990	0.4990	1.0000
0.9740	0.4440	0.3060	0.3060	1.0000
0.9760	0.4440	0.2960	0.2960	1.0000
0.9790	0.3890	0.3590	0.3590	1.0000
0.9970	0.2780	0.3760	0.3760	1.0000
0.9870	0.3890	0.4810	0.4810	1.0000
0.9850	0.3330	0.5590	0.5590	1.0000
0.9610	0.5000	0.3030	0.3030	1.0000
0.9800	0.5560	0.4900	0.4900	1.0000
0.9720	0.2780	0.3190	0.3190	1.0000

Figura 3.14 Algunas entradas y salida de la red neuronal para pruebas.

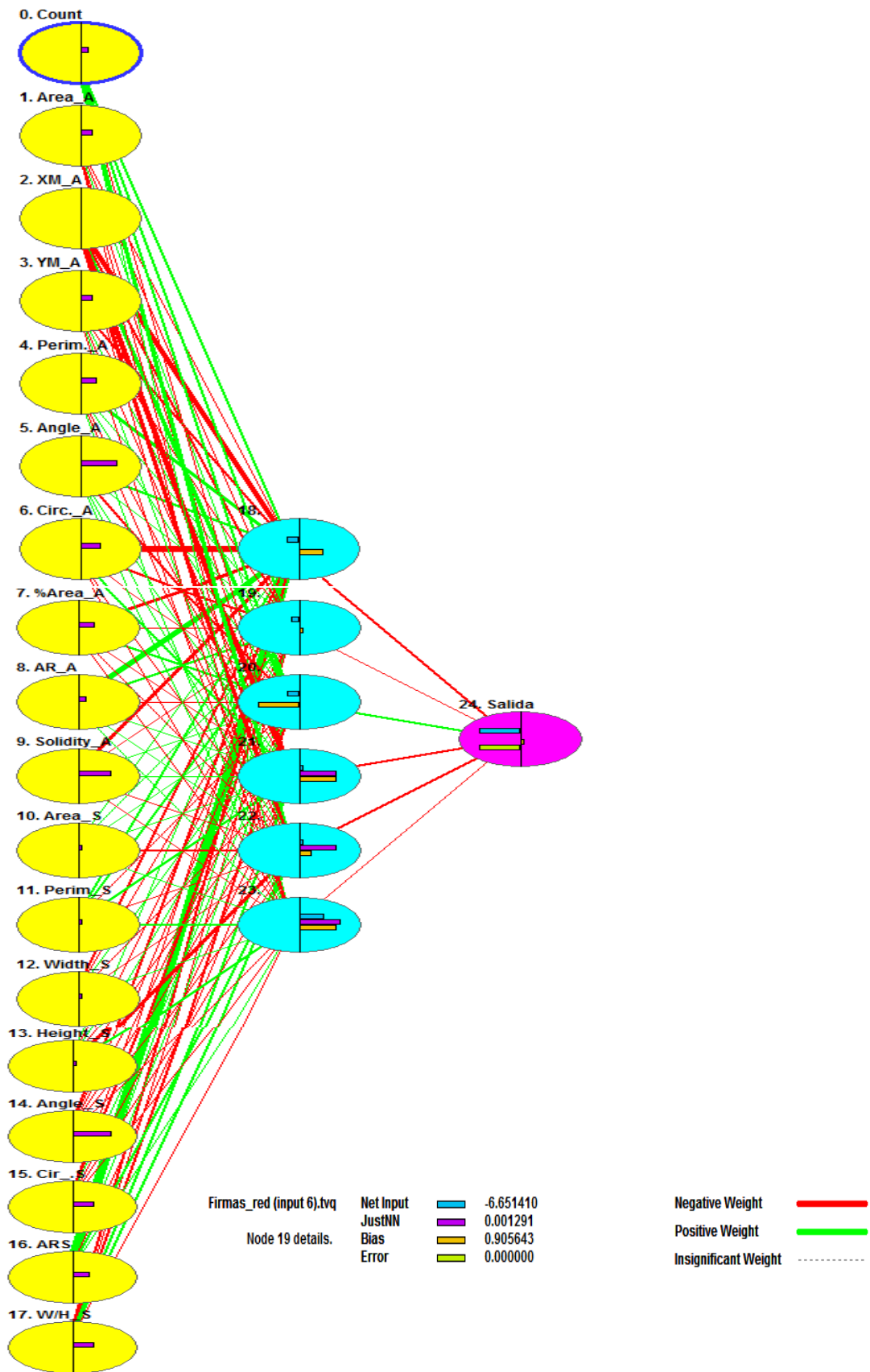


Figura 3.15 Vista de la topología de la Red Neuronal

Capítulo 4. Resultados de la investigación

Este capítulo presenta los resultados obtenidos (mediante las métricas utilizadas, ya mencionadas en el capítulo 3) a través del desarrollo de este proyecto, destacando el porcentaje de confiabilidad, así como las métricas de las firmas, gráficas de comportamiento de la red, porcentaje de error, salidas de la red, análisis e interpretación de los resultados.

4.1 Presentación de resultados

Se hicieron varias pruebas, variando el número de neuronas y capas ocultas en la red. Finalmente se obtuvo el mejor resultado con una sola capa oculta de 6 neuronas. Esto favoreció que hubiera menos conexiones y que la red no necesitará más ejemplos de entrenamiento, ya que el tiempo disponible para la terminación del proyecto no hacía muy viable la recopilación de más firmas con sus posteriores procedimientos para un nuevo entrenamiento de la red. Una vez obtenido los resultados finales utilizando solamente 6 neuronas, confirmamos que el porcentaje de error disminuyó y el porcentaje de confiabilidad aumento a un 90.48% en validación, lo cual fue un porcentaje bastante aceptable.

Se realizaron algunos ajustes en el número de firmas a utilizar en el entrenamiento, de acuerdo a la siguiente manera: 140 firmas para el entrenamiento, 40 firmas para la validación y 20 firmas en pruebas.

	Count	Area_A	XM_A	YM_A	Perim._A	Angle_A	Circ._A
firma01.1+	0.5560	0.2420	0.7310	0.8510	0.3680	0.9960	0.5070
firma01.10+	0.6390	0.4050	0.4520	0.4700	0.5320	0.9810	0.5000
firma01.11+	0.5280	0.4860	0.6370	0.3450	0.5430	0.9670	0.6110
firma01.12+	0.4440	0.5310	0.6360	0.5170	0.5390	0.9670	0.6950
firma01.13+	0.6390	0.7670	0.6890	0.8300	0.6130	0.9690	0.8800
firma01.14+	0.5280	0.4460	0.6220	0.4660	0.4910	0.9510	0.6580
firma01.15+	0.5830	0.4100	0.7950	0.4750	0.4910	0.9700	0.5920
firma01.16+	0.4170	0.5180	0.7440	0.4690	0.5930	0.0120	0.5620
firma01.17+	0.7780	0.4180	0.6820	0.1930	0.5440	0.9650	0.4980
firma01.18+	0.5280	0.3590	0.6600	0.3540	0.5600	0.9750	0.3790
firma01.19+	0.5560	0.3890	0.6390	0.5640	0.4780	0.9440	0.5810

Figura 4.1 Firmas acomodadas aleatoriamente para el entrenamiento, validación y pruebas.

- a) Firmas azules: Entrenamiento.
- b) Firmas rojas: Pruebas.
- c) Firmas verdes: Validación.

Los tipos de renglones (entrenamiento, validación y prueba) se seleccionaron aleatoriamente para que no estuvieran consecutivos. Con estos ajustes los resultados finales, en pruebas, fueron de 9 aciertos y un error, es decir, de 10 firmas auténticas, la red reconoció a 9 y se equivocó en una. Coincidentemente, de 10 firmas falsificadas, la red también reconoció a 9 y se equivocó en una.

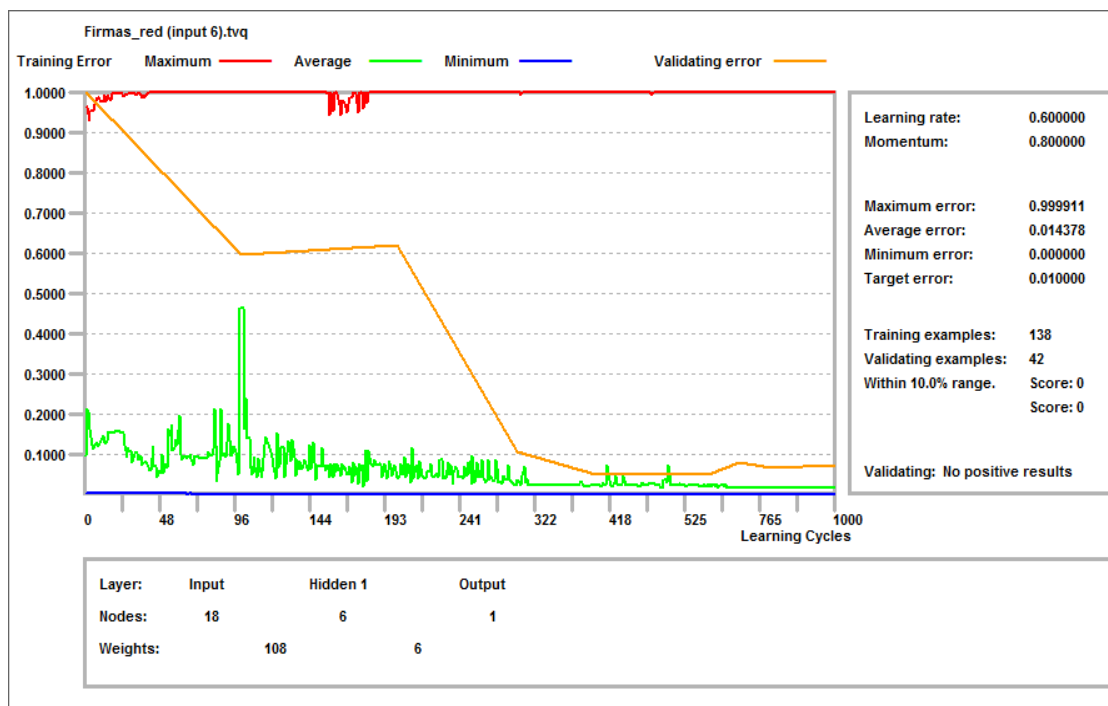


Figura 4.2 Gráfica comportamiento de la red.

Después de hacer varios experimentos, se decidió detener el entrenamiento en 1000 ciclos, dado que se consideró que en este punto había una buena relación entre el porcentaje de error en renglones de entrenamiento y el porcentaje de error en renglones de validación, aunque posiblemente se pudo haber detenido antes, en alrededor de 600 ciclos.

Learning rate:	0.600000
Momentum:	0.800000
Maximum error:	0.000041
Average error:	0.000002
Minimum error:	0.000000
Target error:	0.010000
Training examples:	138
Validating examples:	42
Within 10.0% range.	Score: 0
	Score: 38
Validating: 90.48% OK	

Figura 4.3 Datos del entrenamiento y validación

En validación se eligieron 100 ciclos de aprendizaje antes de que se hiciera la primera validación y a partir de ahí 100 ciclos para cada validación. En el aprendizaje se seleccionaron 0.6 en “taza de aprendizaje” y 0.8 en “momento” para ajustar los pesos y tener mejores resultados.

Firmas_red (input 6).tvq 1000 cycles. Target error 0.0100 Average training error 0.014378
The first 18 of 18 Inputs in descending order.

Column	Input Name	Importance	Relative Importance
2	XM_A	79.0255	
16	ARS	63.4412	
6	Circ._A	56.4718	
0	Count	52.0258	
8	AR_A	47.9825	
7	%Area_A	46.5449	
11	Perim_S	40.9180	
17	W/H_S	40.8164	
12	Width_S	35.2873	
5	Angle_A	33.6924	
13	Height_S	33.3241	
4	Perim_A	33.0750	
9	Solidity_A	30.0749	
3	YM_A	28.7762	
15	Cir_S	25.2859	
14	Angle_S	24.4186	
10	Area_S	24.2699	
1	Area_A	10.2638	

Figura 4.4 Datos target error, *average error*, entradas importantes.

4.2 Análisis e interpretación de resultados

La tabla anterior muestra las métricas obtenidas en el capítulo III, tales como *angle*, *cir*, *area*, entre otras. En el capítulo I y II se mencionó que la red tendría varias entradas las cuales son las distintas métricas ya mencionadas, y únicamente arrojaría un resultado 1 o 0, clasificando a las firmas como auténticas o como falsas.

En la columna de salida (la cual es el resultado arrojado por la red neuronal) el 1 indica que es una firma original y un 0 indica que es una firma falsa. En los resultados obtenidos como 0.9855, 0.8819, se tomó como un 1 tomando la firma original, y en los resultados de 0.004, 0.144, se tomó como un 0 indicando que es una firma falsa redondeando las cifras hacía 1 o hacia 0.

Salida
1.0000
1.0000
0.9855
1.0000
1.0000
1.0000
1.0000
1.0000
1.0000
1.0000
1.0000
1.0000
1.0000
1.0000
0.9870
1.0000
1.0000
1.0000
0.0004

Figura 4.5 Algunas salidas del *grid*.

Referente a la gráfica 4.1 del comportamiento de la red neuronal en el proceso de entrenamiento, se puede ver que en la gráfica las líneas verde y naranja están muy cerca del eje de las X, esto quiere decir que el error de validación tiene un porcentaje de error bajo, y por lo tanto indica también que la red se entrenó con éxito, dicha gráfica muestra como el aprendizaje progresa a través de las iteraciones. La línea roja indica el

error máximo, la línea azul el error mínimo, la línea verde es el error promedio, la línea naranja es el error de validación.

En la imagen de la figura 4.2, se muestra la importancia relativa que tiene cada entrada en la red para la definición de los pesos, una vez completado el entrenamiento. Las entradas se muestran en el orden descendente de importancia desde la entrada más importante.

La red neuronal se entrenó correctamente con un total de 140 firmas para el entrenamiento, arrojando un error mínimo al final de aproximadamente 9.52% en validación. Ya una vez entrenada, se obtuvo un 11.11% de error en pruebas. Probablemente para mejorar los resultados sería necesario incrementar el número de ejemplos de entrenamiento y así tener mayor margen de modificaciones a la topología de la red.

En la parte de apéndices 2 aparecen la muestra total de los resultados obtenidos con las 100 firmas originales y las 100 firmas falsas.

Capítulo 5. Discusiones, conclusiones y recomendaciones

Lo establecido desde el inicio del proyecto fue realizar un prototipo de software para el reconocimiento automático de firmas utilizando técnicas de aprendizaje de máquina, el cual consiste en que el prototipo pueda identificar cuándo una firma es falsa o es auténtica. Lo que se concluyó en este proyecto fue lo que se deseaba y lo que se planteó desde un principio.

Las pruebas que se realizaron se hicieron con 200 firmas, 100 para firmas auténticas y 100 para firmas falsas, cada firma obtenida pasó por el pre-procesamiento requerido para la extracción de características. Una vez extraídas las características se realizó el entrenamiento de la Red Neuronal, asignando cierto porcentaje de las firmas a las áreas de entrenamiento, validación y pruebas.

Realizado dicho proceso se concluyó que la red neuronal arrojaba un mejor resultado trabajando con 6 neuronas, dado el número de firmas que se recopilaron. Por lo que se optó por trabajar con esa cantidad de neuronas. La tabla de resultados arroja resultados satisfactorios y aceptables determinando las firmas auténticas con una tasa de autenticidad de un 90.48% en validación y un 88.88% en pruebas. Teniendo los resultados obtenidos finales se concluye que el proyecto realizado fue exitoso.

Las métricas que fueron mencionadas en capítulos anteriores ayudaron a la red neuronal a clasificar con un nivel aceptable de error. Se asume que se pueden utilizar más neuronas para obtener mejores resultados pero implica que tal vez se deben recopilar más firmas para que se generen más conexiones en la red neuronal y pueda facilitar el aprendizaje o separación de las clases. También es posible mantener un nivel bajo de neuronas en caso de no poder recopilar muchas firmas, pero la mayoría de las firmas se deberían de utilizar para el entrenamiento, tal vez sacrificando algunas de las disponibles para validación. Podemos concluir que la red neuronal es un método que se puede utilizar para el reconocimiento de una firma manuscrita, ya que arroja resultados satisfactorios con un porcentaje de error aceptable.

5.1 Con respecto a las preguntas de investigación

Con respecto a las preguntas de investigación, se utilizaron como etapas de pre-procesamiento a la binarización y a la esqueletización. Se dividió en dos grupos a las características a ser extraídas de la imagen, unas basadas en formar un polígono

convexo con base en todas las áreas cerradas presentes en el trazo de la firma y otras basadas en el contorno exacto que tiene el trazo de la firma. Estas métricas, tomadas del software ImageJ, fueron, en cuanto al contorno del polígono: conteo de áreas cerradas, área del polígono convexo, perímetro del polígono, inclinación de elipse autocontenida, y sus descriptores de circularidad. En cuanto al trazo de la firma fueron: área, centro de masa, perímetro, inclinación de elipse autocontenida, sus descriptores de circularidad y el porcentaje de píxeles negros respecto al área total.

La topología que tuvo los mejores resultados fue la de una Red Neuronal con 18 entradas, 6 neuronas en una sola capa oculta y una sola neurona en la capa de salida. Los ejemplos suficientes para el entrenamiento de la red neuronal fueron 140 imágenes para el entrenamiento, 40 imágenes para validaciones y adicionalmente se destinaron 20 para prueba. Con respecto a la pregunta del mayor grado de confiabilidad que el sistema sería capaz de ofrecer, el resultado obtenido fue de un 90.48% en validación y un 88.88% en pruebas, el cual fue bastante aceptable. Basados en las pruebas y resultados, dio la misma tasa de error, tanto para el dar como auténtica una firma falsa, como el dar por falsa una firma auténtica.

5.2 Con respecto al objetivo de la investigación

El objetivo definido desde un principio fue implementar un prototipo de software que permitiera verificar la autenticidad de una firma utilizando técnicas de aprendizaje de máquina junto con el objetivo específico que fue implementar una red neuronal que tomara como entrada las características de la firma manuscrita de una persona y que clasificara la clase a una de dos posibles: “firma auténtica” o “firma falsa”.

Llegada la conclusión de este proyecto, el objetivo se cumplió satisfactoriamente ya que la red neuronal se entrenó adecuadamente y es capaz de distinguir entre una firma auténtica y una firma falsa, dejando claro que existe un grado de error mínimo, el cual fue de 9.52% en validación y 11.11% en pruebas. Los resultados obtenidos fueron bastante satisfactorios, esto dice que la realización del proyecto fue un éxito ya que se realizó lo planteado desde un inicio.

5.3 Recomendaciones para futuras investigaciones

Se debe tomar en cuenta que la calidad de las firmas es de mucha importancia, ya que cualquier punto de tinta extra, puede alterar el resultado del proceso de la imagen, también, de preferencia se debe considerar al momento de recopilar las firmas un espacio pre-determinado, para que todas las firmas sean lo más constantes en tamaño posible.

En base a lo investigado y a los resultados obtenidos en este proyecto, se llegó a una recomendación fundamental, la cual es obtener un número elevado de ejemplos de firmas para poder realizar un mayor número de pruebas variando la topología de la red y con esto, potencialmente conseguir mejores resultados. Adicionalmente, se considera que es necesario realizar más pruebas, con otras firmas diferentes, dado que, aunque se eligió una firma con un buen grado de dificultad, no se sabe que ocurrirá con trazos de firmas completamente distintos. Es de esperarse que los porcentajes de error se mantengan semejantes pero dado que por cuestiones de tiempo, no se pudieron hacer más pruebas, entrenando otras redes para distintas firmas, no se sabe cuál sería su comportamiento.

Referencias

- [1] Sistemas Biométricos, César Tolosa Borja Álvaro Giz Bueno.
- [2] Reconocimiento de Formas: Firma de un Objeto, Sampallo, Guillermo Departamento de Física - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura - UNNE. GISIA - Facultad Regional Resistencia - UTN.
- [3] Estudio de un sistema de reconocimiento biométrico mediante firma manuscrita online, basado en VM usando Análisis Formal de Conceptos, Aitor Mendaza Ormaza , Oscar Miguel Hurtado1 , Raúl Sánchez Reillo , Francisco Valverde Albacete , Carmen Peláez Moreno.
- [4] A Review on Offline Signature Recognition and Verification Techniques, Sameera Khan1, Avinash Dhole, International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering Vol. 3, Issue 6, June 2014
- [5] A comparison of SVM and HMM classifiers in the off-line signature verification, Edson J.R. Justino Flávio Bortolozzi a, Robert Sabourin ba PUCPR—Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Rua Imaculada Conceição, 1155, Curitiba, CEP 80215-901, PR, Brazil b ETS—École de Technologie Supérieure, 1100, rue Notre-Dame Ouest, Montréal, Québec, Canada H3C 1K3 Received 18 October 2004.
- [6] AN APPROACH FOR OFF-LINE SIGNATURE VERIFICATION SYSTEM USING PEAK AND CURVE COMPARISON, Abu Shamim Mohammad Arif, Md. Sabbir Hussain, Md. Rafiqul Islam, S. A. Ahsan Rajon and Abdullah Al Nahid.
- [7] An Off-Line Signature Verification System Using HMM and Graphometric Features, Edson J. R. Justino , Abdenain El Yacoubi ,Flávio Bortolozzi , Robert Sabourin , PUCPR - Pontifícia Universidade Católica do Paraná ,R. Imaculada Conceição, 1155 CEP:80215-901 - Curitiba - PR - Brasil
{justino, yacoubi, fborto}@ppgia.pucpr.br 2 ETS - Ecole de Technologie Supérieure, 1100, rue Notre-Dame Ouest - Montréal (Québec) H3C 1K3 – Canada.

[8] Discriminative Features Mining for Offline Handwritten Signature Verification, Karrar Neamah, Dzulkifli Mohamad, Tanzila Saba , Amjad Rehman Received: 4 September 2013 / Revised: 23 November 2013 / Accepted: 1 December 2013 / Published online: 7 January 2014_ 3D Research Center, Kwangwoon University and Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014.

[9] NOVEL FEATURE EXTRACTION TECHNIQUE FOR OFF-LINE SIGNATURE VERIFICATION SYSTEM, Daramola Samuel et. al. / International Journal of Engineering Science and Technology Vol. 2(7), 2010, 3137-3143.

[10] Offline Signature Recognition using Hidden Markov Model(HMM) Dr. S. Adebayo Daramola Department of Electrical and Information Engineering, Covenant University Ota Ogun State, Nigeria Prof. T. Samuel Ibiyemi Department of Electrical Engineering, University of Ilorin, Ilorin, Kwara-State, Nigeria, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 10– No.2, November 2010.

[11] OFF-LINE SIGNATURE VERIFICATION USING HMMS AND CROSS-VALIDATION, A. El-Yacoubi,¹ E. J. R. Justino¹, R. Sabourin,² and F. Bortolozzi¹ 1 PPGIA, Pontificia Universidade Catolica do Parana (PUCPR).

[12] Verificación de Firmas Manuscritas, Ruben Dario Acosta Velasquez.

[13] An Introduction to Neural Computing, *Neural Networks*, T. Kohonen, Vol.1. págs. 3-16.

[14] *Handbook of neural Computing visuomotor-coordination of a robot arm*, A.J Maren, C.T Harston y R.M.Pap, Ed. Academic Press.

[15] Redes Neuronales Artificiales, Fundamentos, Modelos y aplicaciones., José R. Hilera, Víctor J. Martínez. Addison-Wesley Iberoamericana, págs. 11-15.

[16] Redes Neuronales Artificiales, un enfoque práctico, Pedro Isasi Viñuela, Inés M. Galván León, Pearson, Prentice hall, págs. 7-10.

[17] Redes Neuronales Artificiales, Fundamentos, Modelos y aplicaciones., José R. Hilerá, Víctor J. Martínez. Addison-Wesley Iberoamericana, págs. 69-71.

[18] Esqueletización de imágenes 3D Autor: Raúl Reina Molina, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática Máster en Matemática Computacional Trabajo Fin de Máster, Junio/2011.

[19] Método Geométrico Estructural, Georg Schneidemühl

[20] Redes neuronales Artificiales, Arquitecturas y Aprendizaje, Eduardo Caicedo Bravo Ph. D.

[21] Entrenamiento de redes neuronales basado en algoritmos evolutivos, Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires.

Apéndices 1.

Imágenes de algunas de las firmas originales.

Imágenes de algunas de las firmas falsas.

Apéndices 2.

	Count	Area_A	WV_A	IM_A	Perim_A	Angle_A	Circ_A	Area_A	AR_A	Solidity_A	Area_S	Perim_S	Widht_S	Height_S	Angle_S	Cir_S	ARS	W/H_S	Salida
firma01.1.+	0.5560	0.2420	0.7310	0.6510	0.3660	0.9960	0.5070	0.6520	0.2570	0.8390	0.4290	0.3470	0.2320	0.5080	0.9660	0.5000	0.2170	0.2170	1.0000
firma01.10+	0.6390	0.4050	0.4520	0.4700	0.5320	0.9810	0.5000	0.4110	0.2070	0.6520	0.4700	0.4460	0.5840	0.2540	0.9810	0.3330	0.7600	0.7600	1.0000
firma01.11+	0.5280	0.4860	0.6370	0.3450	0.5430	0.9670	0.6110	0.3510	0.1820	0.8660	0.4370	0.3400	0.3360	0.2710	0.9640	0.5000	0.5780	0.5780	0.9855
firma01.12+	0.4440	0.5310	0.6360	0.5170	0.5390	0.9670	0.6950	0.2530	0.1270	0.9640	0.5090	0.4600	0.4240	0.3560	0.9760	0.3330	0.4990	0.4990	1.0000
firma01.13+	0.6390	0.7670	0.6890	0.8300	0.6130	0.9690	0.8900	0.0930	0.0640	0.9730	0.4400	0.3790	0.6640	0.5420	0.9740	0.4440	0.3060	0.3060	1.0000
firma01.14+	0.5280	0.4460	0.6220	0.4660	0.4910	0.9510	0.6580	0.3820	0.1050	0.8660	0.5030	0.4070	0.2080	0.4070	0.9760	0.4440	0.2960	0.2960	1.0000
firma01.15+	0.5830	0.4100	0.7950	0.4750	0.4910	0.9700	0.5920	0.4810	0.1280	0.7320	0.4730	0.4080	0.2880	0.3730	0.9790	0.3890	0.3590	0.3590	1.0000
firma01.16+	0.4170	0.5180	0.7440	0.4690	0.5930	0.0120	0.5620	0.3250	0.2590	0.8750	0.5170	0.5180	0.3200	0.4070	0.9970	0.2780	0.3760	0.3760	1.0000
firma01.17+	0.7780	0.4180	0.6820	0.1930	0.5440	0.9650	0.4980	0.4280	0.1940	0.7770	0.5350	0.4500	0.3440	0.3050	0.9970	0.3890	0.4810	0.4810	1.0000
firma01.18+	0.5280	0.3590	0.6600	0.3540	0.5600	0.9750	0.3790	0.5090	0.3280	0.5450	0.4910	0.4520	0.2480	0.2200	0.9950	0.3330	0.5590	0.5590	1.0000
firma01.19+	0.5560	0.3890	0.6390	0.5640	0.4780	0.9440	0.5810	0.3630	0.1330	0.6880	0.4500	0.3410	0.2400	0.3730	0.9610	0.5000	0.3030	0.3030	1.0000
firma01.2+	0.5000	0.2020	0.8240	0.5690	0.4790	0.9900	0.2240	0.7920	0.7230	0.7680	0.3280	0.2690	0.2240	0.2710	0.9800	0.5560	0.4900	0.4900	1.0000
firma01.20+	0.7500	0.7520	0.5720	0.6770	0.6800	0.9780	0.7100	0.2070	0.1080	0.9640	0.6280	0.5690	0.4720	0.5590	0.9720	0.2780	0.3190	0.3190	0.9870
firma01.3+	0.6670	0.4290	0.6560	0.4860	0.5230	0.9620	0.5580	0.4380	0.1960	0.7590	0.4070	0.3440	0.2880	0.2540	0.9700	0.4440	0.5010	0.5010	1.0000
firma01.4+	0.5560	0.5500	0.4360	0.6050	0.5180	0.9680	0.7780	0.3020	0.0830	0.8750	0.4570	0.4090	0.5200	0.4240	0.9570	0.3890	0.5040	0.5040	1.0000
firma01.5+	0.6390	0.4470	0.5520	0.7660	0.5700	0.9600	0.5000	0.4640	0.2220	0.6700	0.5010	0.4560	0.2640	0.4070	0.9740	0.3330	0.4660	0.4660	1.0000
firma01.6+	0.6390	0.3670	0.6380	0.5370	0.5600	0.9710	0.3890	0.5120	0.2520	0.3040	0.5160	0.4360	0.2480	0.2540	0.9860	0.3890	0.5450	0.5450	0.0004
firma01.7+	0.6940	0.3450	0.5900	0.3300	0.4860	0.9630	0.4810	0.5230	0.2390	0.8300	0.4320	0.3250	0.1680	0.2200	0.9780	0.5560	0.4790	0.4790	1.0000
firma01.8+	0.5560	0.4150	0.6020	0.4830	0.5260	0.9580	0.5280	0.4880	0.2030	0.6070	0.5540	0.4950	0.2160	0.3900	0.9730	0.3330	0.3130	0.3130	1.0000
firma01.9+	0.6110	0.4290	0.5610	0.3940	0.5410	0.9680	0.5250	0.3480	0.2290	0.9290	0.4880	0.4430	0.4240	0.3390	0.9770	0.3330	0.5450	0.5450	1.0000
firma02.1.+	0.6390	0.3740	0.6240	0.9000	0.4680	0.9960	0.5740	0.5400	0.2140	0.8930	0.5470	0.4880	0.2560	0.5760	0.9620	0.3330	0.0810	0.0810	1.0000
firma02.10+	0.3890	0.4470	0.7270	0.7450	0.4510	0.9220	0.7610	0.3360	0.0760	0.8570	0.4910	0.4420	0.2240	0.4920	0.9650	0.3330	0.1880	0.1880	1.0000
firma02.11+	0.5000	0.3460	0.9230	0.9690	0.5390	0.9950	0.3910	0.5650	0.3310	0.7860	0.6330	0.6290	0.4080	0.3900	0.9740	0.2220	0.4110	0.4110	0.9882
firma02.12+	0.5280	0.4360	0.5610	0.9220	0.5430	0.9820	0.5320	0.4860	0.2880	0.8570	0.6150	0.4940	0.4800	0.5250	0.9570	0.3330	0.2740	0.2740	1.0000
firma02.13+	0.5830	0.6520	0.5740	0.9300	0.5690	0.9430	0.8170	0.2700	0.0710	0.9730	0.5530	0.5020	0.5200	0.5590	0.9570	0.3330	0.1980	0.1980	1.0000
firma02.14+	0.5000	0.5910	0.6470	0.6080	0.5460	0.9380	0.7610	0.2780	0.0980	0.9460	0.4590	0.3630	0.1760	0.4070	0.9650	0.5000	0.2540	0.2540	1.0000
firma02.15+	0.6110	0.2550	0.8500	0.7510	0.4610	0.9940	0.3540	0.6470	0.4740	0.7500	0.5460	0.5120	0.4880	0.4920	0.9780	0.2780	0.2910	0.2910	1.0000
firma02.16+	0.5000	0.3940	0.9030	0.7370	0.5090	0.0040	0.4540	0.5270	0.3110	0.7320	0.6280	0.5760	0.4960	0.3900	0.9700	0.2220	0.3790	0.3790	1.0000
firma02.17+	0.4170	0.4920	0.6110	0.9010	0.4190	0.9190	0.8170	0.3190	0.0420	0.8930	0.5280	0.5280	0.5920	0.5930	0.9530	0.2780	0.2250	0.2250	1.0000
firma02.18+	0.7220	0.5170	0.8360	0.9950	0.5510	0.9620	0.6460	0.3570	0.1220	0.8040	0.6710	0.6340	0.8000	0.4750	0.9510	0.2220	0.2690	0.2690	1.0000
firma02.19+	0.6110	0.3650	0.9280	0.7230	0.4650	0.9860	0.5620	0.5200	0.1930	0.8300	0.6160	0.5140	0.4000	0.5080	0.9720	0.3330	0.3220	0.3220	1.0000
firma02.2.+	0.4440	0.4330	0.8180	0.6950	0.5060	0.9930	0.6000	0.4520	0.2210	0.8840	0.6720	0.6230	0.4960	0.5420	0.9810	0.2220	0.3070	0.3070	1.0000

Count	Area_A	XV_A	YV_A	Perim._A	Angle_A	Circ._A	Area_A	AR_A	Solidity_A	Area_S	Perim_S	Width_S	Height_S	Angle_S	Cir._S	ABS	W/H_S	Salida
firma02.20+	0.6110	0.8210	0.4100	0.4330	0.0180	0.5740	0.8970	0.2570	0.8570	0.5070	0.4680	0.2240	0.4410	0.9820	0.3330	0.3130	0.3130	1.0000
firma02.3+	0.4720	0.7940	0.7170	0.4640	0.9300	0.8820	0.3340	0.0260	1.0000	0.5230	0.5250	0.4080	0.5080	0.9440	0.2780	0.2700	0.2700	1.0000
firma02.4+	0.5280	0.8090	0.5800	0.5300	0.9530	0.6880	0.1750	0.1220	0.7590	0.3950	0.3720	0.2240	0.4240	0.9580	0.3890	0.3400	0.3400	1.0000
firma02.5+	0.3890	0.7100	0.6320	0.5370	0.9350	0.7780	0.2100	0.0900	0.9640	0.4440	0.4090	0.3250	0.4920	0.9640	0.3890	0.2590	0.2590	1.0000
firma02.6+	0.4170	0.6300	0.6490	0.3160	0.9090	0.8750	0.3430	0.0330	0.9020	0.4490	0.3670	0.1840	0.5420	0.9580	0.4440	0.0850	0.0850	1.0000
firma02.7+	0.3610	0.9150	0.8300	0.4050	0.9710	0.3940	0.6100	0.3490	0.7660	0.5530	0.5220	0.5520	0.4920	0.9590	0.2780	0.4770	0.4770	1.0000
firma02.8+	0.5280	0.8300	0.3920	0.4930	0.9450	0.5490	0.3880	0.1860	0.7680	0.3350	0.4920	0.3250	0.4240	0.9690	0.3330	0.2840	0.2840	1.0000
firma02.9+	0.6670	0.7090	0.6190	0.6370	0.9420	0.7450	0.2290	0.1300	0.9380	0.6830	0.6130	0.6800	0.5760	0.9640	0.2220	0.4540	0.4540	1.0000
firma03.1+	0.6110	0.3470	0.7980	0.5240	0.0060	0.4170	0.5310	0.3130	0.8130	0.5650	0.5040	0.3600	0.6100	0.9670	0.3330	0.2310	0.2310	1.0000
firma03.10+	0.4720	0.8180	0.7370	0.4640	1.0000	0.5580	0.4770	0.1920	0.8210	0.5150	0.4460	0.1920	0.4920	0.9660	0.3890	0.2430	0.2430	0.9884
firma03.11+	0.6940	0.4390	0.7240	0.5170	0.9530	0.5980	0.4860	0.1420	0.7320	0.4590	0.4250	0.4480	0.4410	0.9700	0.3890	0.3290	0.3290	1.0000
firma03.12+	0.3650	0.4840	0.6460	0.4720	0.9890	0.5480	0.6190	0.2440	0.8300	0.6400	0.5660	0.4640	0.5250	0.9590	0.2780	0.2900	0.2900	1.0000
firma03.13+	0.6390	0.6840	0.8420	0.6050	0.9400	0.4520	0.3450	0.2360	0.5360	0.6540	0.6030	0.4400	0.4920	0.9670	0.2220	0.4450	0.4450	0.8819
firma03.14+	0.5830	0.8890	0.6450	0.6490	0.9570	0.6550	0.2590	0.1590	0.9460	0.6660	0.6290	0.3040	0.5590	0.9670	0.2220	0.3290	0.3290	1.0000
firma03.15+	0.6110	0.7830	0.5930	0.6240	0.9580	0.6990	0.3410	0.1570	0.9200	0.6560	0.5730	0.3840	0.4240	0.9660	0.2780	0.4380	0.4380	1.0000
firma03.16+	0.6670	0.4970	0.8020	0.5260	0.9680	0.6670	0.3500	0.1430	0.9380	0.5450	0.4590	0.3920	0.3220	0.9680	0.3890	0.4350	0.4350	1.0000
firma03.17+	0.5280	0.5640	0.6110	0.6090	0.9670	0.6000	0.4540	0.2300	0.9110	0.7300	0.6500	0.6800	0.6440	0.9520	0.1670	0.3930	0.3930	1.0000
firma03.18+	0.6390	0.6840	0.5860	0.4980	0.9380	0.5720	0.4110	0.1310	0.7950	0.5220	0.4370	0.3760	0.4410	0.9560	0.3890	0.3260	0.3260	1.0000
firma03.19+	0.7220	0.5710	0.9170	0.5680	0.9510	0.6950	0.4040	0.1680	0.9730	0.6440	0.5220	0.3280	0.4410	0.9650	0.3330	0.3870	0.3870	1.0000
firma03.2+	0.6670	0.2720	0.8310	0.4100	0.9920	0.4860	0.7210	0.3020	0.7590	0.5940	0.5440	0.4850	0.4240	0.9630	0.2780	0.4610	0.4610	1.0000
firma03.20+	0.5560	0.4600	0.7010	0.4610	0.9040	0.7590	0.3800	0.0990	0.9380	0.5360	0.4850	0.5440	0.5590	0.9390	0.3330	0.2680	0.2680	1.0000
firma03.3+	0.5000	0.3710	0.9600	0.4670	0.9670	0.5690	0.3950	0.1790	0.8040	0.5120	0.4800	0.4480	0.4070	0.9590	0.3330	0.3690	0.3690	0.9884
firma03.4+	0.5280	0.3430	0.8040	0.5420	0.0010	0.3790	0.5540	0.4080	0.8480	0.5420	0.5250	0.2400	0.4920	0.9580	0.2780	0.3190	0.3190	1.0000
firma03.5+	0.3330	0.4100	0.8320	0.6000	0.9830	0.3930	0.4350	0.3980	0.8940	0.4620	0.4710	0.4640	0.3730	0.9730	0.2780	0.4210	0.4210	1.0000
firma03.6+	0.3990	0.8250	0.6710	0.4860	0.9440	0.5830	0.4540	0.1810	0.8660	0.5070	0.4540	0.3280	0.3560	0.9700	0.3330	0.3960	0.3960	1.0000
firma03.7+	0.7220	0.4740	0.5690	0.5270	0.9680	0.6270	0.4230	0.1770	0.9380	0.5220	0.4510	0.6240	0.3050	0.9760	0.3890	0.6370	0.6370	1.0000
firma03.8+	0.6940	0.9410	0.9240	0.4730	0.9840	0.3730	0.7100	0.2980	0.8040	0.5020	0.4170	0.2960	0.5420	0.9440	0.3890	0.3490	0.3490	1.0000
firma03.9+	0.6940	0.5960	0.5630	0.5870	0.9340	0.6900	0.3600	0.0810	0.5890	0.6730	0.5870	0.2720	0.5080	0.9690	0.2780	0.3120	0.3120	1.0000
firma04.1+	0.6110	0.8240	0.8460	0.7030	0.9720	0.7520	0.1730	0.1310	0.9730	0.7230	0.6630	0.4000	0.7800	0.0020	0.1670	0.3310	0.3310	1.0000
firma04.10+	0.4720	0.3890	0.7590	0.4630	0.9540	0.6140	0.3750	0.0980	0.6790	0.4810	0.4140	0.1440	0.3730	0.9990	0.3890	0.2660	0.2660	1.0000
firma04.11+	0.6110	0.5260	0.6990	0.5390	0.9680	0.6670	0.3080	0.1330	0.9290	0.5010	0.4920	0.3280	0.3560	0.9670	0.2780	0.4120	0.4120	1.0000
firma04.12+	0.5560	0.3680	0.7810	0.5060	0.9770	0.4940	0.5280	0.2990	0.8940	0.5130	0.4460	0.4090	0.4920	0.9640	0.3890	0.3140	0.3140	1.0000

Count	Area_A	WV_A	TM_A	Perim_A	Angle_A	Circ_A	SArea_A	AR_A	Solidity_A	Area_S	Perim_S	Width_S	Height_S	Angle_S	Cir_S	ABS	W/H_S	Salida
firma04.13+	0.3090	0.7470	0.7340	0.6130	0.0100	0.2310	0.6050	0.6130	0.7320	0.6480	0.6170	0.4960	0.5930	0.9910	0.2220	0.5150	0.5150	1.0000
firma04.14+	0.2110	0.8330	0.5520	0.4630	0.0110	0.2620	0.7240	0.4040	0.6890	0.5410	0.4810	0.2000	0.4410	0.9900	0.3330	0.3620	0.3620	1.0000
firma04.15+	0.5100	0.7560	0.4960	0.5570	0.9670	0.6230	0.3850	0.1390	0.9380	0.6470	0.5570	0.2800	0.4410	0.9810	0.2780	0.3040	0.3040	1.0000
firma04.16+	0.3140	0.8620	0.7180	0.5200	0.9660	0.3660	0.5530	0.4110	0.8040	0.5920	0.5490	0.2890	0.4580	0.9700	0.2780	0.3510	0.3510	1.0000
firma04.17+	0.4620	0.7640	0.6880	0.5330	0.0030	0.5950	0.3330	0.2270	0.9110	0.6500	0.5980	0.4960	0.5080	0.9860	0.2220	0.2860	0.2860	1.0000
firma04.18+	0.5260	0.8080	0.8210	0.6010	0.9710	0.5620	0.3230	0.1940	0.7410	0.6590	0.5580	0.4960	0.6440	0.9600	0.2780	0.3690	0.3690	1.0000
firma04.19+	0.3930	0.7380	0.9970	0.4580	0.0160	0.6320	0.4900	0.1830	0.8300	0.5820	0.4490	0.4080	0.5760	0.9840	0.3890	0.3840	0.3840	1.0000
firma04.2+	0.4660	0.7670	0.4900	0.5810	0.9900	0.5090	0.2770	0.1650	0.7590	0.4540	0.4640	0.4240	0.2710	0.9860	0.2780	0.5610	0.5610	0.9859
firma04.20+	0.4260	0.8410	0.8700	0.6110	0.0030	0.4000	0.5080	0.3010	0.8660	0.6170	0.5260	0.4880	0.3900	0.9760	0.3330	0.3850	0.3850	1.0000
firma04.3+	0.3080	0.5800	0.7010	0.4580	0.0090	0.4650	0.6220	0.3610	0.8660	0.5200	0.4330	0.2160	0.3730	0.9840	0.3890	0.3280	0.3280	1.0000
firma04.4+	0.5420	0.7660	0.5680	0.5390	0.9350	0.7150	0.3070	0.0950	0.9460	0.5970	0.5340	0.3200	0.5250	0.9640	0.2780	0.2600	0.2600	1.0000
firma04.5+	0.5260	0.5800	0.5340	0.5110	0.9630	0.7540	0.2820	0.0700	0.7320	0.5030	0.3930	0.1920	0.5930	0.9730	0.5560	0.1820	0.1820	1.0000
firma04.6+	0.4740	0.6920	0.4640	0.5530	0.9600	0.5740	0.3950	0.2090	0.8480	0.5620	0.4930	0.4160	0.4920	0.9850	0.3330	0.4590	0.4590	1.0000
firma04.7+	0.6390	0.7460	0.3870	0.6150	0.9830	0.6940	0.3100	0.1880	0.9460	0.5760	0.5190	0.3760	0.3900	0.9840	0.2780	0.4960	0.4960	1.0000
firma04.8+	0.4130	0.6980	0.8390	0.5330	0.0190	0.5110	0.4940	0.2590	0.7410	0.5900	0.5770	0.5040	0.5250	0.9750	0.2220	0.3240	0.3240	1.0000
firma04.9+	0.4210	0.5790	0.7610	0.4910	0.9880	0.6130	0.6040	0.1610	0.8040	0.6720	0.5710	0.2560	0.5250	0.9610	0.2780	0.2230	0.2230	1.0000
firma05.1+	0.6110	0.6120	0.5890	0.5860	0.9630	0.7130	0.1790	0.1370	0.9110	0.3540	0.3070	0.1920	0.3900	0.9570	0.5000	0.4920	0.4920	1.0000
firma05.10+	0.5540	0.9170	0.5650	0.5980	0.9780	0.6060	0.2700	0.1350	0.9020	0.4930	0.4780	0.2240	0.3900	0.9850	0.2780	0.4060	0.4060	1.0000
firma05.11+	0.2680	0.5660	0.1910	0.3430	0.9990	0.6570	0.6240	0.2060	0.9200	0.3550	0.2720	0.2240	0.2540	0.9840	0.5560	0.4950	0.4950	1.0000
firma05.12+	0.2050	0.7180	0.6110	0.3520	0.9850	0.4470	0.6870	0.3340	0.8390	0.3390	0.2600	0.3120	0.2370	0.9860	0.6110	0.3990	0.3990	1.0000
firma05.13+	0.2730	0.6700	0.6250	0.4120	0.0090	0.4840	0.6520	0.2450	0.8040	0.4570	0.3940	0.2240	0.4070	0.9690	0.4440	0.3690	0.3690	1.0000
firma05.14+	0.3930	0.7130	0.4550	0.4810	0.9560	0.5930	0.4680	0.1300	0.7050	0.5050	0.4450	0.1760	0.2880	0.9750	0.3890	0.3460	0.3460	1.0000
firma05.15+	0.4380	0.7170	0.4690	0.5220	0.9580	0.5770	0.3920	0.1550	0.8210	0.5470	0.4790	0.2160	0.4240	0.9650	0.3330	0.3550	0.3550	0.9879
firma05.16+	0.3050	0.7430	0.1190	0.3750	1.0000	0.6440	0.5590	0.1710	0.8840	0.4280	0.3320	0.2640	0.2710	0.9630	0.5000	0.3450	0.3450	1.0000
firma05.17+	0.3640	0.5020	0.6170	0.5110	0.9870	0.4700	0.3330	0.2700	0.8570	0.5320	0.4340	0.4400	0.7290	0.9760	0.3890	0.2340	0.2340	1.0000
firma05.18+	0.4080	1.0000	0.4090	0.4810	0.0110	0.6110	0.3470	0.1840	0.8300	0.5160	0.4610	0.2560	0.3390	0.0110	0.3330	0.3290	0.3290	1.0000
firma05.19+	0.5150	0.6990	0.4090	0.5650	0.9630	0.6140	0.3120	0.1640	0.6520	0.4990	0.5010	0.2640	0.3220	0.9790	0.2780	0.2390	0.2390	1.0000
firma05.2+	0.6780	0.4230	0.6120	0.6090	0.9770	0.7620	0.2510	0.1080	0.9290	0.5850	0.5440	0.8720	0.4920	0.9780	0.2780	0.6140	0.6140	1.0000
firma05.20+	0.2990	0.5620	0.4790	0.5130	0.0050	0.3520	0.5880	0.3990	0.6610	0.5010	0.3960	0.2640	0.4580	0.9720	0.4440	0.3630	0.3630	0.9884
firma05.3+	0.4480	0.5860	0.5800	0.5490	0.9700	0.5370	0.3940	0.1500	0.7590	0.3370	0.2640	0.1840	0.2370	0.9750	0.6110	0.4380	0.4380	1.0000
firma05.4+	0.3910	0.4590	0.7170	0.4610	0.9430	0.6230	0.3850	0.1090	0.8570	0.3400	0.2850	0.2400	0.3390	0.9650	0.5560	0.4680	0.4680	1.0000

Count	Area_A	XV_A	XVI_A	Perim_A	Angle_A	Circ_A	%Area_A	AR_A	Solidity_A	Area_S	Perim_S	Width_S	Height_S	Angle_S	Circ_S	ARS	W/H_S	Salida
irma05.6+	0.7220	0.5730	0.6020	0.5450	0.6370	0.9300	0.7690	0.0740	0.9460	0.4080	0.3630	0.1040	0.6100	0.9430	0.4440	0.1500	0.1500	1.0000
irma05.7+	0.4170	0.2430	0.4650	0.6100	0.3050	0.0140	0.6780	0.1940	0.7770	0.4820	0.4710	0.2800	0.5420	0.9690	0.3330	0.2930	0.2930	1.0000
irma05.8+	0.5000	0.5500	0.4650	0.4230	0.6150	0.9780	0.5690	0.1700	0.8210	0.5470	0.4970	0.5760	0.4410	0.9840	0.3330	0.5540	0.5540	1.0000
irma05.9+	0.5000	0.5880	0.4840	0.5450	0.5840	0.9420	0.6800	0.1080	0.9200	0.5090	0.5000	0.5440	0.4750	0.9660	0.2780	0.3930	0.3930	1.0000
irmaFI-02+	0.1940	0.2820	0.7290	0.3760	0.6280	0.9460	0.1780	0.4270	0.2590	0.2700	0.2850	0.3200	0.2710	0.9990	0.4440	0.5350	0.5280	0.0000
irmaFI-03+	0.2780	0.2560	0.4350	0.4210	0.4380	0.9730	0.3960	0.4070	0.9020	0.3330	0.3550	0.4400	0.1360	0.9860	0.3890	0.6010	0.8820	0.0000
irmaFI-04+	0.3890	0.0890	0.7890	0.4500	0.4190	0.0180	0.0690	0.7560	0.5710	0.4340	0.2990	0.3840	0.2200	0.0140	0.6110	0.6410	0.6700	0.0059
irmaFI-05+	0.3890	0.3880	0.7870	0.2730	0.6160	0.9800	0.3400	0.4490	0.5980	0.5640	0.5710	0.4720	0.3220	0.0100	0.2220	0.5710	0.6110	0.0000
irmaFI-06+	0.4170	0.1940	0.5200	0.2790	0.5160	0.9900	0.1640	0.6460	0.6790	0.3330	0.3420	0.5280	0.5080	0.0290	0.3890	0.6330	0.4370	0.0000
irmaFI-07+	0.4440	0.7360	0.7020	0.3050	0.8310	0.0260	0.4470	0.3910	0.9200	0.6850	0.6880	0.7200	0.4750	0.0150	0.1670	0.8160	0.6410	0.0000
irmaFI-08+	0.1670	0.3010	0.5490	0.1700	0.6450	0.9940	0.1870	0.6410	0.4910	0.4280	0.5090	0.3760	0.4410	0.0210	0.2220	0.5850	0.3760	0.0000
irmaFI-09+	0.4170	0.3850	0.4500	0.2570	0.6480	0.9730	0.2940	0.2940	0.4640	0.5340	0.5470	0.5120	0.5760	1.0000	0.2220	0.4740	0.3550	0.0000
irmaFI-1+	0.3060	0.1320	0.6520	0.4700	0.4480	0.0150	0.1250	0.8160	0.7410	0.2760	0.3050	0.5360	0.2710	0.0140	0.4440	0.7070	0.7510	0.0000
irmaFI-10+	0.5000	0.4600	0.7540	0.2330	0.7240	0.0100	0.2940	0.3680	0.6160	0.5870	0.5520	0.5920	0.5760	0.0270	0.2780	0.7820	0.4200	0.0000
irmaFI-11+	0.3330	0.4670	0.5660	0.4510	0.7650	0.0060	0.2550	0.5940	0.8930	0.5150	0.5880	0.4480	0.4920	0.0240	0.1670	0.7260	0.3860	0.0000
irmaFI-12+	0.1390	0.3030	0.5600	0.4400	0.4990	0.9990	0.3800	0.3310	0.8210	0.5490	0.6190	0.7520	0.7120	0.0030	0.1670	0.4670	0.4140	0.0000
irmaFI-13+	0.4440	0.4740	0.6290	0.3610	0.6530	0.9770	0.4030	0.4060	0.9290	0.6010	0.6230	0.5200	0.4580	0.0090	0.1670	0.3990	0.4860	0.0000
irmaFI-14+	0.3330	0.4500	0.6620	0.3850	0.7970	0.0040	0.2080	0.7110	0.7860	0.7750	0.8080	0.7120	0.5420	0.0130	0.0560	0.5160	0.5540	0.0000
irmaFI-15+	0.3610	0.6510	0.5510	0.3070	0.9360	0.0210	0.2570	0.4910	0.8930	0.8130	0.8010	0.6320	0.9490	0.0330	0.1110	0.5220	0.1510	0.0000
irmaFI-16+	0.2780	0.4880	0.8720	0.2500	0.8750	0.9650	0.1730	0.5190	0.4640	0.8120	0.8310	0.6320	0.9150	0.0040	0.0560	0.4160	0.1730	0.0000
irmaFI-17+	0.3890	0.6650	0.6380	0.3230	0.8510	0.9960	0.3560	0.3970	0.8940	0.7100	0.7870	0.5200	0.7630	0.0210	0.0560	0.4690	0.2040	0.0000
irmaFI-18+	0.3610	0.6340	0.6560	0.5340	0.8510	0.0090	0.3270	0.3570	0.7230	0.8040	0.7910	0.5600	0.7460	0.0300	0.1110	0.4600	0.2460	0.0000
irmaFI-19+	0.3890	0.7890	0.6420	0.4340	0.9540	0.0110	0.3490	0.3270	0.8660	0.7380	0.7990	0.5440	0.7970	0.0220	0.0560	0.4520	0.1960	0.0000
irmaFI-20+	0.3060	0.5030	0.8030	0.1570	0.7900	0.9980	0.2680	0.5260	0.6960	0.8600	0.8900	0.6720	0.7800	0.0110	0.0560	0.5780	0.2990	0.0000
irmaFI-21+	0.4720	0.4490	0.7270	0.4800	0.6050	0.9610	0.4420	0.3630	0.9020	0.5240	0.5180	0.3920	0.4070	0.0020	0.2780	0.4390	0.4280	0.0000
irmaFI-22+	0.2220	0.2020	0.4920	0.3200	0.6380	1.0000	0.0620	1.0000	0.5180	0.3980	0.4390	0.7120	0.5250	0.0270	0.2780	0.8550	0.5730	0.0000
irmaFI-23+	0.2500	0.1820	0.7140	0.4720	0.3600	0.9510	0.3710	0.4090	0.7050	0.4380	0.4760	0.5040	0.1860	0.9770	0.2780	0.5480	0.8600	0.0000
irmaFI-24+	0.2780	0.2930	0.6680	0.4350	0.6460	0.9820	0.1740	0.5280	0.6250	0.4060	0.4130	0.3040	0.3560	0.0060	0.3330	0.5320	0.4040	0.0000
irmaFI-25+	0.4440	0.5440	0.6620	0.2740	0.8910	0.0190	0.2100	0.5520	0.5980	0.4470	0.4490	0.4080	0.3050	0.0200	0.3330	0.7870	0.5710	0.0000
irmaFI-26+	0.5560	0.4350	0.6120	0.1710	0.7750	0.0300	0.2130	0.5920	0.7230	0.5720	0.5740	0.5280	0.7970	0.0440	0.2220	0.7760	0.1850	0.0000
irmaFI-27+	0.5280	0.5400	0.5820	0.0000	0.7670	0.0040	0.3310	0.4040	0.8570	0.5490	0.5840	0.5440	0.5080	0.0240	0.1670	0.8560	0.4500	0.0000
irmaFI-28+	0.2220	0.4220	0.6210	0.1120	0.8920	0.9800	0.1040	0.7390	0.2410	0.6290	0.6650	0.8080	0.4070	0.9960	0.1110	0.7270	0.8110	0.0000

Count	Area_A	X1_A	Y1_A	Perim_A	Angle_A	Circ_A	\$Area_A	AR_A	Solidity_A	Area_S	Perim_S	Width_S	Height_S	Angle_S	Cir_S	ARS	W/H_S	Salida
0.3890	0.7480	0.7170	0.2820	0.9310	0.9920	0.3400	0.1100	0.4350	0.8750	0.7700	0.7820	0.5600	0.4920	0.0010	0.1110	0.5490	0.4820	0.0000
firmat2-29+	0.7430	0.6810	0.0090	0.8820	0.0200	0.3890	0.1390	0.3830	0.7950	0.7640	0.7400	0.6240	0.6100	0.0170	0.1110	0.5850	0.4120	0.0000
firmat2-30+	0.5730	0.8290	0.0420	0.7820	0.9860	0.3470	0.1510	0.4050	0.7860	0.7340	0.7450	0.7600	0.4410	0.0170	0.1110	0.7900	0.7200	0.0000
firmat2-31+	0.3570	0.9100	0.1590	0.7380	0.9860	0.1640	0.2800	0.6710	0.6700	0.5780	0.6330	0.5760	0.5930	0.0210	0.1110	0.7290	0.3900	0.0000
firmat2-32+	0.4540	0.8400	0.0340	0.8160	0.0000	0.1940	0.1350	0.3720	0.2320	0.3960	0.4790	0.5360	0.7800	0.0340	0.2220	0.5740	0.2030	0.0000
firmat2-33+	0.3610	0.8400	0.0340	0.8160	0.0000	0.1940	0.1350	0.3720	0.2320	0.3960	0.4790	0.5360	0.7800	0.0340	0.2220	0.5740	0.2030	0.0000
firmat2-34+	0.3610	0.8410	0.0220	0.9500	0.0340	0.4680	0.0630	0.3210	0.9020	0.8340	0.8070	0.6080	0.7120	0.0250	0.1110	0.5870	0.3080	0.0000
firmat2-35+	1.0000	0.7080	0.2230	0.9890	0.9750	0.4700	0.1040	0.1470	0.5180	0.9890	1.0000	0.6480	0.7120	0.0040	0.0000	0.3350	0.3350	0.0000
firmat2-36+	0.6510	0.7620	0.0830	0.9260	0.9930	0.2660	0.1940	0.5400	0.8660	0.8560	0.9000	0.7200	0.8640	0.0230	0.0000	0.6130	0.2670	0.0000
firmat2-37+	0.5590	0.9560	0.3960	0.9730	0.9870	0.1550	0.0610	0.4650	0.5000	0.8070	0.8010	0.7200	0.9320	0.0230	0.1110	0.6130	0.2190	0.0000
firmat2-38+	0.5070	0.6990	0.1610	1.0000	0.0030	0.0990	0.3150	0.4670	0.0000	0.8730	0.8730	0.8080	1.0000	0.0300	0.0560	0.5350	0.2290	0.0000
firmat2-39+	0.8120	0.9210	0.0030	0.9690	0.0310	0.3500	0.0620	0.4650	0.9290	0.8680	0.9010	0.7040	0.8980	0.0320	0.0560	0.6320	0.2320	0.0000
firmat2-40+	0.4440	0.4950	0.2780	0.8700	0.0170	0.1390	0.2840	0.6550	0.3210	0.8240	0.8420	0.8240	0.7290	0.0310	0.0560	0.8410	0.4520	0.0000
firmat2-41+	0.1630	0.6440	0.7050	0.1270	0.9730	0.5400	0.4820	0.0330	0.0450	0.1480	0.2420	0.0800	0.1360	0.9710	0.4440	0.2820	0.4570	0.0000
firmat2-42+	0.2450	0.3290	0.7550	0.3030	0.9980	0.6880	0.4520	0.1870	0.9290	0.1500	0.1410	0.3600	0.1020	0.9830	0.7220	0.5590	0.8520	0.0000
firmat2-43+	0.5400	0.2720	0.6660	0.5340	0.9680	0.7200	0.2500	0.1010	0.8040	0.4350	0.4970	0.2720	0.3390	0.9810	0.2220	0.2310	0.3930	0.0000
firmat2-44+	0.5310	0.3660	0.6700	0.4860	0.9740	0.8270	0.1560	0.0500	0.8040	0.4700	0.4630	0.2160	0.3900	0.0020	0.3330	0.1280	0.2840	0.0000
firmat2-45+	0.2500	0.3460	0.5450	0.3730	0.9190	0.7540	0.1090	0.0400	0.5800	0.3680	0.4140	0.3920	0.5080	0.9850	0.3330	0.0360	0.3210	0.0000
firmat2-46+	0.4510	0.5270	0.5580	0.7430	0.9890	0.2620	0.3340	0.4240	0.5090	0.6490	0.6960	0.3760	0.4580	1.0000	0.1110	0.4030	0.3560	0.0000
firmat2-47+	0.6590	0.4110	0.4310	0.5960	0.9990	0.7640	0.1990	0.1340	0.9200	0.7370	0.7420	0.3760	0.3220	0.9950	0.1110	0.1300	0.5160	0.0000
firmat2-48+	0.4810	0.2530	0.6420	0.5210	0.9640	0.6510	0.2130	0.2040	0.9380	0.4590	0.4280	0.3840	0.4070	0.9950	0.3330	0.2200	0.4210	0.0000
firmat2-49+	0.4850	0.3360	0.3280	0.5030	0.0450	0.6990	0.1460	0.0000	0.8300	0.6380	0.7520	0.3840	0.5760	0.0060	0.0560	0.0000	0.2510	0.0000
firmat2-50+	0.6050	0.4470	0.6950	0.6630	0.9800	0.5560	0.3300	0.1680	0.8300	0.7790	0.7350	0.4480	0.5590	0.0000	0.1670	0.3120	0.3190	0.0000
firmat2-51+	0.3170	0.3050	0.5010	0.2970	0.0110	0.9280	0.3140	0.0200	0.9020	0.4860	0.4910	0.2160	0.5250	0.9970	0.2780	0.1160	0.1570	0.0144
firmat2-52+	0.4880	0.3740	0.6310	0.5520	0.9820	0.5990	0.3630	0.2590	0.8990	0.4630	0.4910	0.7600	0.2710	0.9910	0.2780	0.2920	0.9830	0.0000
firmat2-53+	0.1440	0.3670	0.1400	0.2700	0.8830	0.4610	0.2170	0.1590	0.5090	0.5890	0.6780	0.5280	0.5590	0.9570	0.1110	0.1300	0.3850	0.0000
firmat2-54+	0.1590	0.5780	0.4730	0.4950	0.9910	0.1250	0.7290	0.9450	0.8040	0.5610	0.5160	0.5280	0.5930	0.9580	0.2780	0.3280	0.1340	0.0000
firmat2-55+	0.2770	0.4870	0.4870	0.5790	0.9900	0.2250	0.5420	0.5040	0.4020	0.4700	0.4310	0.3600	0.2710	0.9850	0.3990	0.5770	0.5690	0.0000
firmat2-56+	0.2650	0.7310	0.6740	0.4400	0.9890	0.4100	0.4680	0.3200	0.7500	0.3470	0.3530	0.1360	0.4580	0.9330	0.3990	0.2650	0.1460	0.0000
firmat2-57+	0.6940	0.3930	0.6190	0.6400	0.9440	0.3130	0.4420	0.9450	0.6070	0.5410	0.5370	0.2960	0.7800	0.9570	0.2780	0.4360	0.0330	0.0000
firmat2-58+	0.5000	0.1330	0.6070	0.5880	0.9730	0.0000	0.8130	0.8520	0.2410	0.3270	0.3320	0.2960	0.3220	0.9460	0.4440	0.7470	0.4370	0.0000
firmat2-59+	0.5830	0.4280	0.5260	0.6230	0.9930	0.3060	0.3230	0.2920	0.5090	0.4640	0.4850	0.3200	0.5590	0.9650	0.3330	0.5500	0.2140	0.0000

Cont	Area_A	Wv_A	Wv_A	Perim_A	Angle_A	Circ_A	kArea_A	IR_A	Solidity_A	Area_S	Perim_S	Width_S	Height_S	Angle_S	Circ_S	ARS	W/H_S	Salida
Firma14-61+	0.4170	0.4770	0.4700	0.3810	0.9490	0.6210	0.3720	0.1960	0.8210	0.4240	0.3490	0.4980	0.3560	0.9660	0.5000	0.8510	0.5810	0.0000
Firma14-62+	0.4720	0.7260	0.8300	0.7960	0.9250	0.2990	0.3760	0.3900	0.7230	0.6800	0.6320	0.7280	0.7290	0.9420	0.2220	0.6490	0.3820	0.0000
Firma14-63+	0.8990	0.7050	0.7760	0.7180	0.9720	0.4680	0.3930	0.1970	0.7950	0.9980	0.8600	0.5680	0.8470	0.9670	0.1110	0.3790	0.1760	0.0000
Firma14-64+	0.6670	0.4860	0.5720	0.5750	0.9750	0.7890	0.2840	0.1100	1.0000	0.7050	0.6090	0.5760	0.5250	0.9870	0.2780	0.3440	0.4590	0.0000
Firma14-65+	0.9440	0.3860	0.5470	0.8150	0.9600	0.3220	0.4040	0.3520	1.0000	0.8890	0.8890	1.0000	0.6610	0.9500	0.1110	0.9780	0.6510	0.0000
Firma14-66+	0.9440	0.7810	0.6390	0.9010	0.9200	0.2060	0.3660	0.4640	0.8890	0.7510	0.6470	0.5440	0.7460	0.9550	0.2220	0.6580	0.2340	0.0000
Firma14-67+	1.0000	0.6890	0.7190	0.8120	0.9270	0.6270	0.2160	0.2120	0.9290	0.8360	0.6450	0.6240	0.7290	0.9380	0.2780	0.5260	0.3060	0.0029
Firma14-68+	0.7500	0.5960	0.6690	0.7510	0.9350	0.3790	0.3120	0.3590	0.7860	0.7940	0.7180	0.6560	0.5420	0.9330	0.1670	0.5560	0.5080	0.0000
Firma14-69+	0.6940	0.6770	0.5130	0.7270	0.9630	0.3380	0.3410	0.3890	0.9200	0.5900	0.5220	0.7440	0.4070	0.9770	0.2780	0.8410	0.7520	0.0000
Firma14-70+	0.0280	0.6490	0.4130	0.4230	0.9110	0.5180	0.1260	0.3150	0.8930	0.5450	0.6890	0.1600	0.6610	0.9640	0.0560	0.1110	0.0100	0.0000
Firma14-71+	0.6110	0.6190	0.6340	0.5530	0.9480	0.3730	0.5400	0.3090	0.4110	0.3690	0.3240	0.2720	0.6950	0.9480	0.5000	0.4390	0.0720	0.0000
Firma14-72+	0.5280	0.5060	0.3730	0.4730	0.9780	0.3360	0.5310	0.3830	0.7230	0.3560	0.3050	0.3040	0.0000	0.9860	0.5000	0.7880	1.0000	0.0000
Firma14-73+	0.6940	0.6430	0.3960	0.6360	0.9720	0.4750	0.4020	0.3060	0.8130	0.9930	0.5220	0.2320	0.2880	0.9610	0.2780	0.5200	0.4150	0.0000
Firma14-74+	0.8610	0.7010	0.4150	0.6000	0.9860	0.3790	0.5510	0.3010	0.6250	0.5660	0.4950	0.2720	0.1020	0.9720	0.3330	0.6460	0.7440	0.0000
Firma14-75+	0.5000	0.6300	0.6100	0.5550	0.9330	0.3660	0.3970	0.3660	0.6880	0.3590	0.3850	0.1520	0.5760	0.9440	0.3330	0.4480	0.0640	0.0000
Firma14-76+	0.5280	0.6760	0.5240	0.5030	0.9670	0.1730	0.5050	0.4250	0.1250	0.4460	0.4250	0.2400	0.5080	0.9540	0.3330	0.6190	0.1920	0.0000
Firma14-77+	0.9440	0.5220	0.4450	0.4630	0.9800	0.3910	0.6660	0.3600	0.7590	0.4970	0.3580	0.1840	0.2030	0.9720	0.5000	0.6890	0.4770	0.0000
Firma14-78+	0.4440	0.5820	0.5750	0.6040	0.9500	0.2660	0.4460	0.5140	0.8480	0.3090	0.3000	0.1920	0.5760	0.9460	0.5000	0.5610	0.0960	0.0000
Firma14-79+	0.4720	0.3800	0.4750	0.5350	0.9430	0.4540	0.3860	0.3170	0.8750	0.2760	0.2290	0.2560	0.2880	0.9550	0.6110	0.7900	0.4400	0.0000
Firma14-80+	0.3610	0.3800	0.6620	0.5150	0.6100	0.380	0.3820	0.9460	0.7680	0.2540	0.2330	0.3680	0.2710	0.9540	0.5560	0.7480	0.5770	0.1103
Firma15-10+	0.6940	0.6210	0.2200	0.4840	0.9860	1.0000	0.2340	0.0380	0.9550	0.4960	0.4420	0.1760	0.5590	0.9820	0.3890	0.0250	0.0960	0.0000
Firma15-91+	0.4720	0.3030	0.7840	0.5330	0.9980	0.3270	0.5050	0.5120	0.8390	0.7600	0.7420	0.4560	0.5930	0.9670	0.1110	0.3670	0.2940	0.0000
Firma15-82+	0.9720	0.3830	0.5250	0.6810	0.5750	0.3910	0.6890	0.4090	0.8930	0.8420	0.6290	0.5840	0.7460	0.9380	0.2780	0.4840	0.2630	0.0000
Firma15-83+	0.7500	0.5440	0.4750	0.5820	0.9530	0.6230	0.3320	0.2590	0.9200	0.8180	0.7740	0.4560	0.4750	0.9560	0.1110	0.3320	0.4110	0.0000
Firma15-84+	0.0000	0.0000	0.6200	0.4800	0.0000	0.1060	0.0860	0.4250	0.6700	0.4100	0.5240	0.1520	0.3390	0.9750	0.1670	0.2420	0.2770	0.0000
Firma15-85+	0.3330	0.3550	0.5100	0.5610	0.2850	0.7780	0.4680	0.1270	0.9460	0.2420	0.2280	0.0800	0.1860	0.9700	0.5560	0.3890	0.3850	0.6773
Firma15-86+	0.8990	0.9430	0.6560	0.4430	0.9660	0.4210	0.5550	0.4420	0.9200	0.5420	0.4380	0.3680	0.1190	0.9870	0.3890	0.6760	0.8290	0.0000
Firma15-87+	0.8330	0.3690	0.5960	0.4280	0.9700	0.5160	0.4670	0.2770	0.8390	0.4330	0.3880	0.1840	0.1860	0.9720	0.3890	0.4510	0.5020	0.0000
Firma15-88+	0.3890	0.2020	0.7670	0.4850	0.9500	0.2480	0.4360	0.4550	0.4910	0.2890	0.2810	0.1920	0.4580	0.9590	0.15000	0.6200	0.1960	0.0000
Firma15-89+	0.3610	0.1570	0.5330	0.4010	0.9740	0.2640	0.5080	0.4350	0.6070	0.0000	0.0000	0.0080	0.0510	0.9730	1.0000	0.7160	0.5030	0.0000
Firma15-90+	0.5830	0.2740	0.3800	0.4410	0.5270	0.2870	0.4650	0.3310	0.7770	0.3670	0.3780	0.4880	0.1690	0.9740	0.3890	1.0000	0.8730	0.0000
Firma15-91+	0.8990	0.5190	0.3620	0.5170	0.9610	0.5020	0.3980	0.2130	0.7050	0.3310	0.2720	0.1600	0.2370	0.9740	0.5560	0.4890	0.4050	0.0000

Count	Area_A	VM_A	VM_A	Perim_A	Angle_A	Circ_A	Area_A	AR_A	Solidity_A	Area_S	Perim_S	Width_S	Height_S	Angle_S	Circ_S	ARS	W/H_S	Salida
Firma4-71+	0.6110	0.3490	0.6190	0.6340	0.5530	0.9480	0.3730	0.5400	0.4110	1.3690	0.3240	0.2720	0.6950	0.9480	0.5000	0.4390	0.0720	0.0000
Firma4-72+	0.5280	0.2560	0.5060	0.3730	0.4730	0.9780	0.3360	0.5310	0.7230	1.3560	0.3050	0.3040	0.0000	0.9960	0.5000	0.7880	1.0000	0.0000
Firma4-73+	0.6940	0.5090	0.6430	0.3960	0.6360	0.9720	0.4750	0.4020	0.8130	1.5930	0.5220	0.2320	0.2880	0.9610	0.2780	0.5200	0.4150	0.0000
Firma4-74+	0.8610	0.3990	0.7010	0.4150	0.6000	0.9960	0.3790	0.5510	0.6250	1.5660	0.4950	0.2720	0.1020	0.9720	0.3330	0.6460	0.7440	0.0000
Firma4-75+	0.5000	0.3460	0.6300	0.6100	0.5550	0.9530	0.3660	0.3970	0.6880	1.3590	0.3850	0.1520	0.5760	0.9440	0.3330	0.4480	0.0640	0.0000
Firma4-76+	0.5280	0.1900	0.6760	0.5240	0.5030	0.9670	0.1730	0.5050	0.1250	1.4460	0.4250	0.2400	0.5080	0.9540	0.3330	0.6190	0.1920	0.0000
Firma4-77+	0.9440	0.2940	0.5220	0.4450	0.4830	0.9800	0.3910	0.6660	0.7590	1.4970	0.3580	0.1840	0.2030	0.9720	0.5000	0.6890	0.4770	0.0000
Firma4-78+	0.4440	0.3260	0.5820	0.5750	0.6040	0.9500	0.2660	0.4460	0.8480	1.3090	0.3000	0.1920	0.5760	0.9460	0.5000	0.5610	0.0960	0.0000
Firma4-79+	0.4720	0.3800	0.5500	0.4750	0.5350	0.9430	0.4540	0.3860	0.3170	1.2760	0.2290	0.2560	0.2880	0.9550	0.6110	0.7900	0.4400	0.0000
Firma4-80+	0.3610	0.3800	0.6620	0.5150	0.6100	0.9510	0.3380	0.3820	0.7860	1.2540	0.2330	0.3660	0.2710	0.9540	0.5560	0.7480	0.5770	0.1103
Firma5-10+	0.6940	0.6210	0.2200	0.5030	0.4840	0.9860	1.0000	0.2340	0.0380	1.4960	0.4420	0.1760	0.5590	0.9820	0.3890	0.0250	0.0960	0.0000
Firma5-81+	0.4720	0.3030	0.7840	0.5460	0.5330	0.9880	0.3270	0.5050	0.8390	1.7600	0.7420	0.4560	0.5930	0.9670	0.1110	0.3670	0.2940	0.0000
Firma5-82+	0.9720	0.3830	0.5250	0.6810	0.5750	0.9490	0.3910	0.6890	0.4080	1.8420	0.6290	0.5840	0.7460	0.9380	0.2780	0.4840	0.2630	0.0000
Firma5-83+	0.7500	0.5440	0.4750	0.2460	0.5820	0.9530	0.6230	0.3320	0.2590	1.8180	0.7740	0.4560	0.4750	0.9560	0.1110	0.3320	0.4110	0.0000
Firma5-84+	0.0000	0.0000	0.6200	0.4800	0.0000	0.1060	0.6250	0.0860	0.2250	1.4100	0.5240	0.1520	0.3390	0.9750	0.1670	0.2420	0.2770	0.0000
Firma5-85+	0.3330	0.2550	0.5100	0.5610	0.2850	0.9760	0.7780	0.4680	0.1270	1.2420	0.2280	0.0800	0.1860	0.9700	0.5560	0.3890	0.3650	0.6773
Firma5-86+	0.8890	0.3430	0.6560	0.4430	0.5180	0.9960	0.4210	0.5550	0.4420	1.5420	0.4380	0.3660	0.1190	0.9970	0.3890	0.6760	0.8290	0.0000
Firma5-87+	0.8330	0.3690	0.5960	0.4280	0.4910	0.9700	0.5160	0.4670	0.2770	1.4330	0.3880	0.1840	0.1860	0.9720	0.3890	0.4510	0.5020	0.0000
Firma5-88+	0.3890	0.2020	0.7670	0.4850	0.4620	0.9500	0.2480	0.4360	0.4910	1.2890	0.2810	0.1920	0.4580	0.9590	0.5000	0.6200	0.1960	0.0000
Firma5-89+	0.3610	0.1570	0.5330	0.4010	0.3870	0.9740	0.2640	0.5080	0.6070	1.0000	0.0000	0.0080	0.0510	0.9730	1.0000	0.7160	0.5030	0.0000
Firma5-90+	0.5830	0.2740	0.5800	0.4410	0.5270	0.9700	0.2870	0.4550	0.7770	1.3670	0.3780	0.4880	0.1690	0.9740	0.3890	1.0000	0.8730	0.0000
Firma5-91+	0.8890	0.3890	0.5190	0.3620	0.5170	0.9610	0.5020	0.3980	0.2130	1.3310	0.2720	0.1600	0.2370	0.9740	0.5560	0.4890	0.4050	0.0000

Apéndices 3

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Instituto de Ingeniería y Tecnología



Propuesta del tema para la materia de Seminario de Titulación I

Nombre: Perla Patricia Vázquez Herrera	Matrícula: 101861
Programa Académico: Ingeniería en Sistemas Computacionales	
Departamento: Ingeniería Eléctrica y Computación	

Título: Prototipo de software para el reconocimiento automático de firmas utilizando técnicas de aprendizaje de máquina.

Contextualización:

La biométrica se encarga de estudiar métodos para el reconocimiento único de un individuo. El reconocimiento de firmas manuscritas es uno de los temas que se estudian en este campo.

El reconocimiento de firmas se puede llevar a cabo por medio de una firma en un papel, a lo cual se le denomina estático u *offline* [4]. Ocurre cuando la persona escribe su firma para después se digitaliza [1]. Posteriormente se introduce en una computadora para su pre-procesamiento, por ejemplo: la imagen se normaliza, se limpia, se binariza y se esqueletiza, entre otras etapas posibles. Una vez preparada la imagen, se procede a extraer las características, es decir, se extraen ciertas propiedades numéricas que describan en forma particular a una firma. Entre mejor describan las características a cada firma, mayor diferenciación existirá al compararla contra otras firmas. Algunas características que han sido utilizadas en trabajos anteriores, están basadas directamente en atributos geométricos de los trazos, por ejemplo: segmentación por *grid*, *splitting*, distribución de píxeles, densidad de píxeles, distancias de centros de gravedad, curvaturas de trazos, ángulos de inclinación, etc.; o también las basadas en transformaciones de dominio, como son la Transformada Discreta de Radon y la Transformada Discreta del Coseno, entre otras.

Otro medio que se ha investigado es el dinámico u *online*, donde la firma se introduce en una tableta digitalizadora y este dispositivo adquiere la información en tiempo real, tomando en cuenta aspectos dinámicos que no están presentes cuando sólo se toma en cuenta la imagen. Por ejemplo, la presión, la velocidad, el tiempo, intervalos en que la pluma se desplaza en la superficie, etc. [3], de manera que con este método es posible obtener características adicionales a las que se obtienen con el método estático. Aunque en general se consideran más seguros a los sistemas dinámicos, no siempre son aplicables. Por ejemplo, en numerosas ocasiones lo único con lo que se cuenta es

con la imagen de una firma, de manera que los métodos estáticos son los únicos disponibles en estos casos.

Dado que existe algún grado de diferencia entre las firmas de una misma persona (es decir, una persona no firma exactamente igual siempre), es necesario incluir en el proceso de autenticación a un clasificador automático en el cual determina (con algún margen de error), si a pesar de las diferencias, la firma pertenece o no al supuesto autor. Se han utilizado en trabajos anteriores para este problema clasificadores entre otros, algunos de ellos son los siguientes: Redes Neuróales (*Artificial Neural Networks* o ANNS por sus siglas en inglés) [4], Modelos Ocultos de Markov (*Hidden Markov Models* o HMMS por sus siglas en inglés) [5][7][10][11] y Máquinas de Vectores de Soporte (*Support Vector Machines* o SVMS por sus siglas en inglés) [5].

Definición del Problema:

El problema consiste en verificar firmas de forma automatizada, con un nivel aceptable de confiabilidad, sin la intervención de un experto humano, y determinar si una firma es auténtica o falsa.

Objetivo:

Implementar un prototipo de software que permita verificar la autenticidad de una firma utilizando técnicas de aprendizaje de máquina.

Objetivo específico: Implementar una red neuronal que tome como entrada las características de la firma manuscrita de una persona y que clasifique la pertenencia de esa firma a una de dos posibles clases: "firma auténtica" o "firma falsa".

Preguntas de Investigación:

- ¿En base a las pruebas, cuáles características de la imagen serán suficientes para que la Red Neuronal pueda clasificar adecuadamente?
- ¿En base a las pruebas, qué topología y parámetros facilitarán el entrenamiento de la Red Neuronal?
- ¿En base a las pruebas, cuántos ejemplos serán suficientes para lograr un entrenamiento adecuado?
- ¿Basados en los resultados de las pruebas, cuál será el mayor grado de confiabilidad que el sistema será capaz de ofrecer?
- ¿Cuál tipo de error será más frecuente en las respuestas del sistema en la fase final de pruebas: dar como auténtica una firma falsa o dar como falsa una firma auténtica?

Justificación:

La realización de este prototipo puede ayudar a demostrar que es posible automatizar el proceso de verificación de firmas y ponerlo al alcance de una persona no experta en

esta área. Aún y cuando el sistema propuesto no pudiera alcanzar los niveles de suficiencia de un experto humano, se considera que puede ser útil a manera de un primer filtro para detectar casos relativamente obvios de falsificaciones, agilizando el proceso de autenticación al quitar carga a un perito humano. Sería deseable que al experto solo le llegaran casos complejos donde su conocimiento y experiencia sean la mejor manera de validar si la firma es auténtica o falsa.

Otra justificación de este proyecto es en cuanto a saber los alcances y limitaciones que pueden tener las estrategias computacionales implementadas al aplicarlas al proceso de autenticación de firmas, lo cual puede llevar a conclusiones acerca de qué modificaciones o uso de otras técnicas pudieran mejorar los resultados obtenidos.

Solución Propuesta:

La solución podría contar con las siguientes características:

-El sistema será del tipo *off-line*, lo cual implica que se trabajará solamente con imágenes y no se utilizará ningún hardware especializado, como es el caso de las tablillas digitalizadoras.

-Habrá una etapa de pre-procesamiento de las imágenes, seguida de la extracción de características, para finalmente entrenar a un clasificador mediante técnicas de aprendizaje de máquina.

-Las etapas exactas que se utilizarán en el pre-procesamiento serán definidas en las etapas iniciales de este proyecto, sin embargo se anticipa que por lo menos deberá incluirse una estandarización de dimensiones, de resolución, una "limpieza" de la imagen, ajustes de brillo y contraste, una binarización (profundidad de color de un bit) y una esqueletización.

-Las características a ser extraídas de la imagen se decidirán en las etapas iniciales de este proyecto, sin embargo se tiene contemplado que sean del tipo basado en características geométricas de los trazos, no en transformaciones de dominio.

-El clasificador será una red neuronal multicapa.

-El sistema aprenderá a reconocer las firmas auténticas y falsas de una persona en particular. Para efectos de demostración y comprobación, y hasta donde el tiempo lo permita, se extenderá la implementación para varias personas, es decir, se construirán y entrenarán diferentes redes neuronales, una por cada persona distinta que sea incluida en la fase de pruebas. Sin embargo, en todos los casos, cada red neuronal solo reconocerá dos clases: "firma auténtica" y "firma falsa", para una persona en particular.

- Solamente se construirá una red por persona.

-El nivel de confiabilidad del sistema será cuantificado al final del proyecto, en base a los resultados obtenidos.

Metodología Propuesta:

- 1) Definir el tipo de pre-procesamiento que puede servir para el caso concreto de imágenes que representan firmas, de manera que se puedan elegir las etapas que serán implementadas en este proyecto.
- 2) Definir el método que se elegirá para la extracción de características de las imágenes, que sean relevantes para el caso concreto de la autenticación de firmas, acordes al método *offline* y basadas en la medición de atributos geométricos de los trazos de la firma.
- 3) Establecer los detalles de diseño y parámetros funcionales que tendrá la red neuronal para utilizarla como clasificador en la validación de firmas manuscritas.
- 4) Decidir el lenguaje y entorno de programación que será utilizado.
- 5) Recolectar ejemplos de firmas auténticas y falsas de una persona. Más personas serán consideradas según lo permita el tiempo disponible para la finalización de este proyecto.
- 6) Obtener muestras reales en papel de firmas manuscritas de una persona. Se contemplan muestras distintas para las etapas de entrenamiento, validación y prueba de la red neuronal.
- 7) Digitalizar (escanear) los ejemplos de recolectados de las firmas.
- 8) Pre-procesar las imágenes recolectadas.
- 9) Extraer las características de las imágenes recolectadas y almacenarlas para su posterior ingreso a la red neuronal.
- 10) Implementar y entrenar a la red neuronal (utilizando los ejemplos de entrenamiento y validación). Establecer el error obtenido en el entrenamiento.
- 11) Probar la red neuronal (utilizando los ejemplos de prueba). Establecer el error real o confiabilidad del prototipo.
- 12) Documentación del proyecto.

Observaciones del evaluador:

Poner atención en el tiempo dedicado al proyecto

Aprobado

Aprobado con condición

Rechazado

Fecha de terminación del proyecto: Noviembre 2015

Nombre del asesor responsable: Saúl González


Alumno


Evaluador


Evaluador


Maestro de la materia


Asesor


UACJ
DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA
Y COMPUTACIÓN

Propuesta del tema para la materia de Seminario de Titulación I

Nombre: Verónica Rodríguez Rocha	Matrícula: 101863
Programa Académico: Ingeniería en Sistemas Computacionales	
Departamento: Ingeniería Eléctrica y Computación	

Título: Prototipo de software para el reconocimiento automático de firmas utilizando técnicas de aprendizaje de máquina.

Contextualización:

La biométrica se encarga de estudiar métodos para el reconocimiento único de un individuo. El reconocimiento de firmas manuscritas es uno de los temas que se estudian en este campo.

El reconocimiento de firmas se puede llevar a cabo por medio de una firma en un papel, a lo cual se le denomina estático u *offline* [4]. Ocurre cuando la persona escribe su firma para después se digitaliza [1]. Posteriormente se introduce en una computadora para su pre-procesamiento, por ejemplo: la imagen se normaliza, se limpia, se binariza y se esqueletiza, entre otras etapas posibles. Una vez preparada la imagen, se procede a extraer las características, es decir, se extraen ciertas propiedades numéricas que describan en forma particular a una firma. Entre mejor describan las características a cada firma, mayor diferenciación existirá al compararla contra otras firmas. Algunas características que han sido utilizadas en trabajos anteriores, están basadas directamente en atributos geométricos de los trazos, por ejemplo: segmentación por *grid*, *splitting*, distribución de píxeles, densidad de píxeles, distancias de centros de gravedad, curvaturas de trazos, ángulos de inclinación, etc.; o también las basadas en transformaciones de dominio, como son la Transformada Discreta de Radon y la Transformada Discreta del Coseno, entre otras.

Otro medio que se ha investigado es el dinámico u *online*, donde la firma se introduce en una tableta digitalizadora y este dispositivo adquiere la información en tiempo real, tomando en cuenta aspectos dinámicos que no están presentes cuando sólo se toma en cuenta la imagen. Por ejemplo, la presión, la velocidad, el tiempo, intervalos en que la pluma se desplaza en la superficie, etc. [3], de manera que con este método es posible obtener características adicionales a las que se obtienen con el método estático. Aunque en general se consideran más seguros a los sistemas dinámicos, no siempre son aplicables. Por ejemplo, en numerosas ocasiones lo único con lo que se cuenta es

con la imagen de una firma, de manera que los métodos estáticos son los únicos disponibles en estos casos.

Dado que existe algún grado de diferencia entre las firmas de una misma persona (es decir, una persona no firma exactamente igual siempre), es necesario incluir en el proceso de autenticación a un clasificador automático en el cual determina (con algún margen de error), si a pesar de las diferencias, la firma pertenece o no al supuesto autor. Se han utilizado en trabajos anteriores para este problema clasificadores entre otros, algunos de ellos son los siguientes: Redes Neurónales (*Artificial Neural Networks* o ANNS por sus siglas en inglés) [4], Modelos Ocultos de Markov (*Hidden Markov Models* o HMMS por sus siglas en inglés) [5][7][10][11] y Máquinas de Vectores de Soporte (*Support Vector Machines* o SVMS por sus siglas en inglés) [5].

Definición del Problema:

El problema consiste en verificar firmas de forma automatizada, con un nivel aceptable de confiabilidad, sin la intervención de un experto humano, y determinar si una firma es auténtica o falsa.

Objetivo:

Implementar un prototipo de software que permita verificar la autenticidad de una firma utilizando técnicas de aprendizaje de máquina.

Objetivo específico: Implementar una red neuronal que tome como entrada las características de la firma manuscrita de una persona y que clasifique la pertenencia de esa firma a una de dos posibles clases: "firma auténtica" o "firma falsa".

Preguntas de Investigación:

- ¿En base a las pruebas, cuáles características de la imagen serán suficientes para que la Red Neuronal pueda clasificar adecuadamente?
- ¿En base a las pruebas, qué topología y parámetros facilitarán el entrenamiento de la Red Neuronal?
- ¿En base a las pruebas, cuántos ejemplos serán suficientes para lograr un entrenamiento adecuado?
- ¿Basados en los resultados de las pruebas, cuál será el mayor grado de confiabilidad que el sistema será capaz de ofrecer?
- ¿Cuál tipo de error será más frecuente en las respuestas del sistema en la fase final de pruebas: dar como auténtica una firma falsa o dar como falsa una firma auténtica?

Justificación:

La realización de este prototipo puede ayudar a demostrar que es posible automatizar el proceso de verificación de firmas y ponerlo al alcance de una persona no experta en

esta área. Aún y cuando el sistema propuesto no pudiera alcanzar los niveles de suficiencia de un experto humano, se considera que puede ser útil a manera de un primer filtro para detectar casos relativamente obvios de falsificaciones, agilizando el proceso de autenticación al quitar carga a un perito humano. Sería deseable que al experto solo le llegaran casos complejos donde su conocimiento y experiencia sean la mejor manera de validar si la firma es auténtica o falsa.

Otra justificación de este proyecto es en cuanto a saber los alcances y limitaciones que pueden tener las estrategias computacionales implementadas al aplicarlas al proceso de autenticación de firmas, lo cual puede llevar a conclusiones acerca de qué modificaciones o uso de otras técnicas pudieran mejorar los resultados obtenidos.

Solución Propuesta:

La solución podría contar con las siguientes características:

-El sistema será del tipo *off-line*, lo cual implica que se trabajará solamente con imágenes y no se utilizará ningún hardware especializado, como es el caso de las tablillas digitalizadoras.

-Habrá una etapa de pre-procesamiento de las imágenes, seguida de la extracción de características, para finalmente entrenar a un clasificador mediante técnicas de aprendizaje de máquina.

-Las etapas exactas que se utilizarán en el pre-procesamiento serán definidas en las etapas iniciales de este proyecto, sin embargo se anticipa que por lo menos deberá incluirse una estandarización de dimensiones, de resolución, una "limpieza" de la imagen, ajustes de brillo y contraste, una binarización (profundidad de color de un bit) y una esqueletización.

-Las características a ser extraídas de la imagen se decidirán en las etapas iniciales de este proyecto, sin embargo se tiene contemplado que sean del tipo basado en características geométricas de los trazos, no en transformaciones de dominio.

-El clasificador será una red neuronal multicapa.

-El sistema aprenderá a reconocer las firmas auténticas y falsas de una persona en particular. Para efectos de demostración y comprobación, y hasta donde el tiempo lo permita, se extenderá la implementación para varias personas, es decir, se construirán y entrenarán diferentes redes neuronales, una por cada persona distinta que sea incluida en la fase de pruebas. Sin embargo, en todos los casos, cada red neuronal solo reconocerá dos clases: "firma auténtica" y "firma falsa", para una persona en particular.

- Solamente se construirá una red por persona.

-El nivel de confiabilidad del sistema será cuantificado al final del proyecto, en base a los resultados obtenidos.

Metodología Propuesta:

- 1) Definir el tipo de pre-procesamiento que puede servir para el caso concreto de imágenes que representan firmas, de manera que se puedan elegir las etapas que serán implementadas en este proyecto.
- 2) Definir el método que se elegirá para la extracción de características de las imágenes, que sean relevantes para el caso concreto de la autenticación de firmas, acordes al método *offline* y basadas en la medición de atributos geométricos de los trazos de la firma.
- 3) Establecer los detalles de diseño y parámetros funcionales que tendrá la red neuronal para utilizarla como clasificador en la validación de firmas manuscritas.
- 4) Decidir el lenguaje y entorno de programación que será utilizado.
- 5) Recolectar ejemplos de firmas auténticas y falsas de una persona. Más personas serán consideradas según lo permita el tiempo disponible para la finalización de este proyecto.
- 6) Obtener muestras reales en papel de firmas manuscritas de una persona. Se contemplan muestras distintas para las etapas de entrenamiento, validación y prueba de la red neuronal.
- 7) Digitalizar (escanear) los ejemplos de recolectados de las firmas.
- 8) Pre-procesar las imágenes recolectadas.
- 9) Extraer las características de las imágenes recolectadas y almacenarlas para su posterior ingreso a la red neuronal.
- 10) Implementar y entrenar a la red neuronal (utilizando los ejemplos de entrenamiento y validación). Establecer el error obtenido en el entrenamiento.
- 11) Probar la red neuronal (utilizando los ejemplos de prueba). Establecer el error real o confiabilidad del prototipo.
- 12) Documentación del proyecto.

Observaciones del evaluador:

Poner atención en el tiempo dedicado al proyecto.

Aprobado

Aprobado con condición

Rechazado

Fecha de terminación del proyecto: Noviembre 2015

Nombre del asesor responsable: Saúl González


Verónica Rodríguez R.
Alumno


Evaluador


Evaluador


Maestro de la materia


Aesor


UACJ
DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA
Y COMPUTACIÓN