



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática

Unidad de Posgrado

**Un metaverificador de firmas y su aplicación en la
inscripción de organizaciones políticas en el Perú**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Ingeniería de
Sistemas e Informática con mención en Gestión de Tecnología de
Información y Comunicaciones

AUTOR

Luis Enrique VILCHEZ FERNANDEZ

ASESOR

David Santos MAURICIO SÁNCHEZ

Lima, Perú

2017



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática
UNIDAD DE POSGRADO



**SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN
 INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
 MENCIÓN EN GESTIÓN DE TECNOLOGÍA DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES**

En la Ciudad Universitaria, a los Diecisiete (17) días del mes de noviembre del 2017, siendo las ...19...20 horas, se reunieron en el Aula Magna de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el Jurado Examinador de tesis conformado por los siguientes profesores:

- Dra. Luzmila Elisa Pro Concepción (Presidente).
- Dr. David Santos Mauricio Sánchez (Miembro Asesor).
- Dr. Hugo Froilán Vega Huerta (Miembro).
- Mg. César Luza Montero (Miembro).
- Mg. Zoraida Mamani Rodríguez (Miembro).

Se inició la Sustentación de la tesis invitando al graduando **Luis Enrique Vilchez Fernández**, para que realizara la exposición oral y pública de la tesis para optar el Grado Académico de Magister en Ingeniería de Sistemas e Informática con mención en Gestión de Tecnología de Información y Comunicaciones, siendo la Tesis intitulada:

“Un Metaverificador de Firmas y su Aplicación en la Inscripción de Organizaciones Políticas en el Perú”

Concluida la exposición, los miembros del Jurado Examinador procedieron a formular sus preguntas que fueron absueltas por el graduando; acto seguido se procedió a la evaluación correspondiente, habiendo obtenido la siguiente calificación:

18 MUY BUENO

Por tanto el Presidente del Jurado, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos, le otorga al bachiller **Luis Enrique Vilchez Fernández** el Grado Académico de Magister en Ingeniería de Sistemas e Informática con mención en Gestión de Tecnología de Información y Comunicaciones, cuyo expediente debe ser remitido al Consejo de Facultad para su aprobación.

Siendo las 20:20 horas, el Presidente del Jurado Examinador da por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis.

Luzmila Pro

DRA. LUZMILA ELISA PRO CONCEPCIÓN
 Presidente

David Santos
DR. DAVID SANTOS MAURICIO SÁNCHEZ
 Miembro Asesor

Hugo Froilán
DR. HUGO FROILÁN VEGA HUERTA
 Miembro

César Luza
MG. CÉSAR LUZA MONTERO
 Miembro

Zoraida Mamani
MG. ZORAIDA MAMANI RODRIGUEZ
 Miembro



AGRADECIMIENTO

Al Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad - Innóvate Perú por el apoyo financiero del proyecto de investigación, mediante Convenio N° 176-PNICP-PIAP-2015.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 El problema	2
1.3 Importancia.....	2
1.4 Motivación	3
1.5 Objetivos	4
1.5.1 Objetivo general	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	4
1.6 Propuesta	4
1.7 Organización de la tesis.....	4
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 El Registro de Organizaciones Políticas.....	6
2.1.1 Historia.....	6
2.1.2 Definición.....	6
2.2 La Organización Política.....	6
2.2.1 Definición.....	6
2.2.2 Tipos.....	7
2.2.3 Requisitos para la inscripción.....	7
2.3 Atributos característicos de la firma.....	8
2.3.1 La firma	8
2.3.2 Grafoscopia	9
2.3.3 Falsificación de la firma	13
2.4 Sistema de Verificación automática.....	13
2.5 Algoritmo de aprendizaje automático – Bosque aleatorio.....	15
2.5.1 Definición.....	15

2.5.2	Bootstrapping	15
2.5.3	Bagging	16
2.6	La desigualdad de Chebyshev.....	17
2.5.1	Teorema.....	17
2.5.2	Aplicaciones de la Desigualdad de Chebyshev	17
CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE.....		18
3.1	Metodología de la Investigación.....	18
3.1.1	Planeamiento	18
3.1.2	Desarrollo.....	21
3.2	Resultados.....	23
3.2.1	Visión temporal de las publicaciones.....	23
3.2.2	Fuentes de referencia.....	23
3.3	Análisis.....	24
CAPÍTULO 4: EL APORTE		29
4.1	El Modelo.....	29
4.1.1	Fundamentos del modelo.....	29
4.1.2	Esquema del Modelo	29
4.2	Componente: Conjunto de Datos.....	30
4.3	Componente: Adquisición y Pre-procesamiento.....	31
4.3.1	Adquisición.....	31
4.3.2	Pre-procesamiento.....	34
4.4	Componente: Extracción de Características.....	38
4.4.1	Características basadas en el tamaño de la firma.....	38
4.4.2	Característica basada en la masa.....	41
4.4.3	Características basadas en el centro de gravedad.....	45
4.5	Componente: Clasificación y verificación.....	47
4.5.1	Módulo de descarte	48
4.5.2	Módulo de predicción.....	51
4.6	Componente: Resultados.....	54
CAPÍTULO 5: EL SISTEMA.....		55

5.1	Propuesta de automatización	55
5.2	El Sistema.	57
5.2.1	Descripción del Sistema.	57
5.2.2	Arquitectura del Sistema	58
5.2.3	Requerimientos del sistema.	59
5.2.4	Módulos del sistema	59
5.2.5	Importar Archivo DBF	60
5.2.6	Procesamiento Individual	63
5.2.7	Procesamiento Masivo	66
 CAPÍTULO 6: VALIDACIÓN		67
6.1	Hardware y software utilizado para las pruebas.	67
6.2	Configuración del Sistema.	68
6.3	Instancias de Prueba.....	68
6.4	Resultados.....	70
 CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES.....		85
7.1	Conclusiones.	85
7.2	Trabajos Futuros.	85

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
Tabla 1.1: Organizaciones Políticas denunciadas a través de los medios de comunicación por uso de firmas falsas para su inscripción	3
CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE.....	18
Tabla 3.1 Cadenas de búsquedas utilizadas en la Base de Datos.....	19/20/21
Tabla 3.2 Criterios de inclusión y exclusión	21
Tabla 3.3 Estudios potencialmente elegibles y estudios seleccionados.....	22
Tabla 3.4 Publicaciones realizada por fuente de referencias sobre verificación automática de firmas off-line 2008-2016.....	23
Tabla 3.5 Características identificadas en los trabajos de verificación de firmas.....	25/26
Tabla 3.6 Técnica empleadas en la fase de clasificación de la verificación de la firma off-line.....	26/27
Tabla 3.7 Comparación del rendimiento de sistemas de reconocimiento de línea off-line.....	27/28
CAPÍTULO 4: EL APORTE	29
Tabla 4.1. Dimensiones de las firmas 4.16A y 4.16B.....	39
Tabla 4.2. Dimensiones de las firmas 4.17.....	40
Tabla 4.3. Masas y masas relativas para las firmas de la figura 4.22.....	45
CAPÍTULO 5: EL SISTEMA	55
Tabla 5.1. Detalle de los módulos del sistema desarrollado.....	60
Tabla 5.2. Estructura de archivo DBF a importar.....	62
CAPÍTULO 6: VALIDACIÓN	67
Tabla 6.1 Firmas y planillones tomados para la validación del modelo propuesto.....	69
Tabla 6.2 Resultados obtenidos para el planillón 1 usando alto/ancho.....	70
Tabla 6.3 Resultados obtenidos para el planillón 2 usando alto/ancho.....	70
Tabla 6.4 Resultados obtenidos para el planillón 3 usando alto/ancho.....	70/71

Tabla 6.5 Resultados obtenidos para el planillón 4 usando alto/ancho.....	71
Tabla 6.6 Resultados obtenidos para el planillón 5 usando alto/ancho.....	71
Tabla 6.7 Resultados obtenidos para el planillón 6 usando alto/ancho.....	71/72
Tabla 6.8 Resultados obtenidos para el planillón 7 usando alto/ancho.....	72
Tabla 6.9 Resultados obtenidos para el planillón 8 usando alto/ancho.....	72
Tabla 6.10 Resultados obtenidos para el planillón 9 usando alto/ancho.....	72/73
Tabla 6.11 Matriz de Error obtenido usando alto/ancho.....	73
Tabla 6.12 Resultados obtenidos para el planillón 1 usando masa relativa.....	73
Tabla 6.13 Resultados obtenidos para el planillón 2 usando masa relativa.....	73/74
Tabla 6.14 Resultados obtenidos para el planillón 3 usando masa relativa.....	74
Tabla 6.15 Resultados obtenidos para el planillón 4 usando masa relativa.....	74
Tabla 6.16 Resultados obtenidos para el planillón 5 usando masa relativa.....	74/75
Tabla 6.17 Resultados obtenidos para el planillón 6 usando masa relativa.....	75
Tabla 6.18 Resultados obtenidos para el planillón 7 usando masa relativa.....	75
Tabla 6.19 Resultados obtenidos para el planillón 8 usando masa relativa.....	75/76
Tabla 6.20 Resultados obtenidos para el planillón 9 usando masa relativa.....	76
Tabla 6.21 Matriz de Error obtenido usando masa relativa.....	76
Tabla 6.22 Resultados obtenidos para el planillón 1 usando centro de masa.....	77
Tabla 6.23 Resultados obtenidos para el planillón 2 usando centro de masa.....	77
Tabla 6.24 Resultados obtenidos para el planillón 3 usando centro de masa.....	77/78
Tabla 6.25 Resultados obtenidos para el planillón 4 usando centro de masa.....	78
Tabla 6.26 Resultados obtenidos para el planillón 5 usando centro de masa.....	78
Tabla 6.27 Resultados obtenidos para el planillón 6 usando centro de masa.....	78/79
Tabla 6.28 Resultados obtenidos para el planillón 7 usando centro de masa.....	79
Tabla 6.29 Resultados obtenidos para el planillón 8 usando centro de masa.....	79
Tabla 6.30 Resultados obtenidos para el planillón 9 usando centro de masa.....	79/80
Tabla 6.31 Matriz de Error obtenido usando centro de masa.....	80
Tabla 6.32 Resultados obtenidos para el planillón 1 combinando características.....	80/81
Tabla 6.33 Resultados obtenidos para el planillón 2 combinando características.....	81
Tabla 6.34 Resultados obtenidos para el planillón 3 combinando características.....	81

Tabla 6.35 Resultados obtenidos para el planillón 4 combinando características.....	81/82
Tabla 6.36 Resultados obtenidos para el planillón 5 combinando características.....	82
Tabla 6.37 Resultados obtenidos para el planillón 6 combinando característica.....	82
Tabla 6.38 Resultados obtenidos para el planillón 7 combinando características.....	82/83
Tabla 6.39 Resultados obtenidos para el planillón 8 combinando características.....	83
Tabla 6.40 Resultados obtenidos para el planillón 9 combinando características.....	83
Tabla 6.41 Matriz de Error obtenido combinando características.....	83
Tabla 6.42. Matriz de Error obtenido combinando características.....	84

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO.....	6
Figura 2.1 Elementos estructurales del grafismo	10
Figura 2.2 Forma y ubicación de los rasgos iniciales y finales.....	12
Figura 2.3. Modelo de sistema de identificación biométrica.....	14
Figura 2.4. Random Forest.....	16
CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE.....	18
Figura 3.1: Proceso aplicado para la Revisión Sistemática de Literatura.....	22
Figura 3.2. Visión temporal de publicaciones de verificación de firmas off-line.....	23
Figura 3.3. Proceso de verificación de firmas.....	24
Fig. 3.4 Resultado de las etapas de preprocesamiento [7]. (a) Imagen en escala de grises, (b) Imagen binarizada, (c) Ruido limpiado, (d) Esqueletización y rotación de la imagen, (e) Imagen normalizada.....	24/25
CAPÍTULO 4: EL APORTE	29
Figura 4.1. Representación gráfica del modelo propuesto.....	30
Figura 4.2. Adquisición y pre procesamiento de la firma.....	31
Figura 4.3. Proceso para la adquisición automática de la firma.....	32
Figura 4.4. Variables del software utilizadas para la localización de las firmas.....	33
Figura 4.5. Codificación en Java para la localización y adquisición.....	33
Figura 4.6. Preprocesamiento de imágenes	34
Figura 4.7. Imagen de la firma en escala de grises.....	35
Figura 4.8. Codificación en Java para la conversión a escala de grises.....	35
Figura 4.9. Imagen de la firma normalizada.....	35
Figura 4.10. Codificación en Java para la normalización de la textura.....	36

Figura 4.11. Imagen de la firma normalizada.....	36
Figura 4.12. Imagen de la firma sin ruido.....	37
Figura 4.13. Codificación en Java para la eliminación del ruido.....	37
Figura 4.14. Imagen de la firma esqueletizada.....	37
Figura 4.15. Codificación en Java para la esqueletización.....	38
Figura 4.16. A Firma vertical, 4.16. B Firma horizontal.....	39
Figura 4.17. Seis firmas de una misma persona.....	39
Figura 4.18. Firmas diferentes sobre rectángulos con el mismo alto/ancho.....	41
Figura 4.19. Firmas diferentes sobre rectángulos con el mismo alto/ancho.....	41
Figura 4.20. A) Rectángulo de tamaño 4x9, con 36 pixeles B) Rectángulo de tamaño 2x3, con 6 pixeles.....	42
Figura 4.21. A). Figura en un rectángulo de 4x9. B). Figura A en un rectángulo de 2x3.....	43
Figura 4.22. A). Figura en un rectángulo de 10x12. B). Figura A en un rectángulo de 5x6. C) Figura A en un rectángulo 10x6. D) Figura A en un rectángulo 6x9.....	43/44
Figura 4.23. A). Firma de un escritor. B). Firma A volteada verticalmente.....	45
Figura 4.24. Firmas diferentes con el mismo centro de masa.....	46
Figura 4.25. Cálculo de puntos característicos de una firma.....	47
Figura 4.26. Modelo de clasificación propuesto (Metapredictor).....	48
Figura 4.27. Módulo de descarte del modelo propuesto.....	48
Figura 4.28. Firma de tamaño de 3.11cm x 5.23cm.....	49
Figura 4.29. Figura en un rectángulo de 11x15, con 38 pixeles.....	50
Figura 4.30. Módulo de predicción del modelo propuesto.....	52
Figura 4.31. Matriz de Vectores de características.....	52
Figura 4.32. Codificación en Java para entrenamiento del bosque.....	53
Figura 4.33. Vector de características de la firma en cuestión.....	53

Figura 4.34. Codificación en Java para la predicción del bosque.....	53
CAPÍTULO 5: EL SISTEMA	55
Figura 5.1. Proceso de verificación de firmas.....	55
Figura 5.2. Diagrama de casos de uso del Sistema.....	56
Figura 5.3. Propuesta de automatización.....	56
Figura 5.4. Esquema general del sistema propuesto.....	57
Figura 5.5. Diagrama de despliegue del sistema propuesto.....	58
Figura 5.6. Diagrama de componentes del sistema propuesto.....	58
Figura 5.7. Ventana principal del sistema propuesto	60
Figura 5.8. Interfaz del sistema que permite importar el archivo DBF.....	61
Figura 5.9. Cuadro de diálogo para importar archivo DBF.....	61
Figura 5.10. Estructura de carpetas creadas al importar el archivo DBF.....	62
Figura 5.11. Opción de acceso al módulo de Procesamiento Individual.....	63
Figura 5.12. Interfaz de Procesamiento Individual.....	63
Figura 5.13. Cuadro de diálogo para seleccionar la lista de adherentes.....	64
Figura 5.14. Interfaz que muestra el resultado de la verificación aplicado a una firma.....	64
Figura 5.15. Segmento de la lista de adherentes.....	65
Figura 5.16. Interfaz que muestra el contenido de cada directorio.....	65
Figura 5.17. Opción de acceso al módulo de Procesamiento Masivo.....	66
Figura 5.18. Interfaz de Procesamiento Masivo.....	66
CAPÍTULO 6: VALIDACIÓN	67
Figura 6.1. Esquema general del despliegue del sistema para validación.....	67

RESUMEN

En el Perú, para lograr una inscripción como organización política se debe contar con una relación de adherentes (planillones de firmas) la cual es verificada por el Registro Nacional de Identificación y Estado Civil, utilizando la técnica del cotejo visual.

La problemática radica en que esta técnica es completamente manual, propensa al error humano influenciado por los tiempos cortos para homologación y alta demanda en época electoral, lo cual está ocasionando que la verificación de firmas no se realice de manera exhaustiva, llegando a aceptar firmas cuya originalidad no ha sido completamente verificada. En consecuencia, algunas organizaciones políticas están logrando su inscripción en el ROP con firmas falsificadas, las cuales posteriormente son denunciadas en los medios de comunicación, generando desconfianza en la ciudadanía.

Este trabajo de investigación propone el desarrollo de un metaverificador de firmas, el cual realizará la verificación de los patrones de la firma en cuestión con las firmas genuinas, determinando la originalidad de la misma. La propuesta incluye el uso de nuevas características y un motor de verificación compuesto por dos módulos, el primer módulo tiene como función verificar si la firma en cuestión es falsa, y el segundo, realizar una verificación más detallada de las firmas que no fueron detectadas como falsas en el primer módulo.

Los resultados demuestran que el metaverificador propuesto logra obtener una precisión del 93.3%, lo cual es bastante alto en comparación con resultados señalados en la literatura, usando solo 3 firmas genuinas para el entrenamiento.

Palabras clave: Verificación de firmas, firmas fuera de línea, reconocimiento de firmas, reconocimiento de firma manuscrita.

ABSTRACT

In Peru, in order to obtain an inscription as a political organization, a list of adherents (signatures sheets) must be verified by the National Registry of Identification and Civil Status, using the technique of visual matching.

The problematic reside in which this technique is completely manual, prone to the human error influenced by the short times for the homologation and high demand in the electoral time, which is causing that the verification of signatures is not carried out of exhaustive way, arriving to accept signatures with which Originality has not been completely verified. In consequence, some political organizations are getting their inscription in the ROP with falsified signatures, which are denounced in the mass media, generating distrust in the citizenship.

This research work proposes the development of a meta-verifier of signatures, which performs the verification of the patterns of the signature in question with the genuine signatures, determining the originality of the same. The proposal includes the use of new features and a verification engine composed of two modules, the first module has as function verify if the signature is false, and the second, perform a more detailed verification of signatures that was not detected as false in the first module.

The results show that the proposed meta-verifier achieves an accuracy of 93.3%, wich is quite high compared to the results reported in the literature, using only 3 genuine signatures for training.

Keywords: signature verification, off-line signature, signature recognition, handwriting signature recognition.

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En el Perú, para realizar la inscripción de una organización política, el personero legal de la misma, “Solicita al Jefe de la Unidad Orgánica de Servicios al Ciudadano, le señale, fecha y hora para la recepción de su solicitud; y posteriormente este envía una solicitud de inscripción dirigida al Director del Registro de Organizaciones Políticas (ROP), suscrita por él, con indicación del domicilio legal, teléfono y correo electrónico” [1].

El encargado de recibir la solicitud verifica que esté dirigida al Director de la Dirección Nacional de Registro de Organizaciones Políticas (DNROP) o Registrador Delegado y contenga los aspectos formales [2].

Recibida la solicitud de inscripción, la DNROP o el Registrador Delegado, según corresponda, remite a la ONPE en el caso de partidos políticos o al RENIEC tratándose de movimientos regionales y organizaciones políticas locales, dentro de los cinco (5) días hábiles posteriores, la documentación que se requiere para la verificación de firmas [2].

Tanto la Oficina Nacional de Procesos Electorales (ONPE) como el Registro Nacional de Identificación y Estado Civil (Reniec), realizan el procedimiento de verificación de firmas de listas de adherentes en dos etapas [3], [4]:

a) Verificación Automática.

En esta primera etapa, se procesa electrónicamente el 100% de los datos y se comprueba la autenticidad del número del documento de identidad y de los nombres y apellidos contenidos en la base de datos del medio digital proporcionado por el promotor o personero.

b) Verificación Semiautomática (Cotejo de Firmas).

En esta etapa se procede a cotejar las firmas correspondientes a los registros hábiles obtenidos como consecuencia de la verificación automática. Esta verificación se realiza usando la técnica del cotejo, teniendo en cuenta los conceptos teóricos y prácticos de la grafotecnia, para lo cual se procesará el 100% de los registros declarados hábiles en la etapa anterior.

Desde el 2006 a la actualidad, el Reniec ha recibido 2380'094,251 firmas para verificación [5], mientras que la ONPE, desde el 2007 recibió 13'493,901 firmas para verificación [6].

Para atender la demanda señalada, el Reniec ha establecido producciones diarias de verificación de firmas de hasta 4,000 firmas, es decir, verificar la originalidad de una firma en aproximadamente 7 segundos. En ese sentido, la comparación de firmas no es exhaustiva, llegándose a aceptar firmas, cuya originalidad no ha sido completamente verificada. En consecuencia, algunas organizaciones políticas están logrando su inscripción en el ROP con firmas falsificadas, las cuales posteriormente son denunciadas en los medios de comunicación generando desconfianza en la ciudadanía.

La verificación de la autenticidad de la Firma del titular en los documentos administrativos, es un problema que atañe a diferentes instituciones, ya sean públicas o privadas, debido a que la firma, se usa ampliamente como instrumento de verificación personal y de manifestación de voluntad, tal es así, que su inclusión es obligatoria en documentos como cheques bancarios, contratos, tarjetas de crédito, etc.

Esta problemática, ha merecido que se desarrollen diferentes estudios de verificación automática de firmas, los cuales usan diferentes métodos y técnicas de extracción de características, con el fin de obtener la mejor precisión.

1.2 El problema

Verificar que las firmas contenidas en las listas de adherentes para la inscripción de organizaciones políticas, es homóloga a las firmas contenidas en el Registro Único de Identificación de Personas Naturales.

1.3 Importancia.

La verificación de firmas es importante dado que es la última etapa en el proceso de inscripción de organizaciones políticas, y es en ella donde se determina si los postulantes a organizaciones políticas consiguen su inscripción en el Registro de Organizaciones Políticas del Jurado Nacional de Elecciones.

Asimismo, con el uso de firmas falsas se ha logrado inscribir a organizaciones políticas, quienes posteriormente fueron denunciados a través de los medios de comunicación. De acuerdo los recortes periodísticos obtenidos de El Comercio, La República, Diario Correo, Huaraz Noticias, las organizaciones políticas que habrían sido denunciadas se detallan en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Organizaciones Políticas denunciadas a través de los medios de comunicación por uso de firmas falsas para su inscripción.

Tipo de Organización Política	Nombre de la Organización Política
Partido Político	Code-Renovación
Partido Político	País Posible
Partido Político	Perú 2000
Partido Político	Perú Libre
Movimiento Regional	Movimiento Independiente Regional Maicito
Movimiento Regional	Movimiento Popular Aimara Quechua Amazonense
Organización Política Local	Vamos Tacna
Movimiento Regional	Movimiento Regional Alianza por Tacna
Organización Política Local	Nueva Generación Tacneña
Organización Política Local	Contigo Tacna

En general, la firma es uno de los atributos más aceptados para la identificación personal y el elemento de manifestación de voluntad más usados a nivel mundial, tal es así que su uso es obligatorio en cheques bancarios, contratos, tarjetas de crédito, entre otros; y la verificación de la autenticidad del mismo resulta ser necesario para el no repudio.

1.4 Motivación

Desde el 2006 a la actualidad el Reniec ha recibido 2380'094,251 firmas para la verificación y debido a la gran demanda presentada se ha visto en la necesidad de contratar más personal e incrementar la producción diaria de sus verificadores de firmas a 4000 firmas por día. Con esa asignación diaria, el tiempo estimado para verificar la originalidad de una firma es de aproximadamente 7 segundos, el cual resulta ser muy limitado debido a la complejidad del proceso de homologación de firmas.

Por otro lado, los actuales softwares de verificación automática de firmas tienen una tasa de error de aproximadamente del 10%, el cual resulta inaplicable para casos reales. Asimismo, los actuales software de verificación de firmas, requieren como mínimo de cinco firmas originales para realizar el proceso de entrenamiento, sin embargo, en el Reniec, por cada ciudadano podría no contarse con dicha cantidad de firmas, en ese sentido, el uso de estos software resulta también inaplicable.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Desarrollar un metaverificador de firmas, que permita comprobar la autenticidad y validez de las firmas presentadas en las listas de adherentes por las organizaciones políticas en proceso de inscripción, con el objeto de mejorar la precisión en la verificación de firmas y como consecuencia la validez de inscripción de un partido político en el Registro de Organizaciones Políticas del Jurado Nacional de Elecciones.

1.5.2 Objetivos específicos

- Revisar las Técnicas desarrolladas para la verificación de Firmas.
- Desarrollar cada componente del metaverificador de Firmas.
- Realizar los experimentos y pruebas del modelo
- Validar el metaverificador.

1.6 Propuesta

La presente tesis propone el desarrollo de un sistema de verificación automática de firmas, cuya aplicación se da en el proceso de inscripción de organizaciones políticas.

Dicho sistema realizará la verificación de los patrones de la firma en cuestión con las firmas genuinas, determinando la originalidad de la misma. La verificación de la firma estará soportada por un metaverificador, el cual estará compuesto por dos módulos, el primer módulo tiene como objetivo verificar si la firma en cuestión es falsa, seguidamente, las firmas no detectadas como falsas, pasarán al segundo módulo, quien realizará una verificación más detallada y proporcionará el resultado final.

1.7 Organización de la tesis

La presente tesis está organizada en siete (7) capítulos. En el siguiente capítulo se muestra el marco teórico, en el capítulo tres (3) se describe el estado del arte, el capítulo cuatro (4) describe el aporte de la presente investigación, en el capítulo cinco (5) se detalla el software desarrollado, el capítulo seis (6) muestra los resultados obtenidos del modelo planteado. Finalmente las conclusiones son presentadas en el capítulo siete (7).

Capítulo 2: MARCO TEÓRICO

2.1 El Registro de Organizaciones Políticas.

2.1.1 Historia.

El Registro de Organizaciones Políticas (ROP), fue creado en noviembre de 2003, con la promulgación de la Ley de Partidos Políticos - Ley N° 28094, la que estableció que el Jurado Nacional de Elecciones debe encargarse entre otras actividades custodia el registro de los partidos políticos, alianzas electorales, movimientos regionales y organizaciones políticas locales provinciales y distritales del país.

De este modo el ROP, crea el servicio de información tecnológica de mayor calidad llamado Sistema de Registro de Organizaciones Políticas (SROP) cuyo objetivo es facilitar al ciudadano el acceso rápido a los trámites, solicitudes o consultas [1].

2.1.2 Definición.

El Registro de Organizaciones Políticas está a cargo del Jurado Nacional de Elecciones, de acuerdo a ley. Es de carácter público y está abierto permanentemente, excepto en el plazo que corre entre el cierre de las inscripciones de candidatos y un mes después de cualquier proceso electoral. En el Registro de Organizaciones Políticas consta el nombre del partido político, la fecha de su inscripción, los nombres de los fundadores, de sus dirigentes, representantes legales, apoderados y personeros, la síntesis del Estatuto y el símbolo [7].

2.2 La Organización Política.

2.2.1 Definición

Es una asociación de ciudadanos que se reúnen para constituir una persona jurídica cuyo objetivo es participar por medios lícitos en la vida democrática del país en el marco político de la Constitución Política del Estado y de la Ley de Partidos Políticos. Se les reconoce el derecho de participar en un proceso electoral por medio de la presentación de candidatos y programas de acción o gobierno [1].

2.2.2 Tipos.

Los tipos de Organizaciones Políticas son:

2.2.2.1 Partido Político

Se entiende por partido político a la Organización política de alcance nacional [7].

2.2.2.2 Movimiento Regional

Se entiende como movimientos, las organizaciones políticas de alcance regional o departamental [7].

2.2.2.3 Organización Política Local

Se entiende como organizaciones políticas locales a las organizaciones de alcance provincial o distrital [7].

2.2.3 Requisitos para la inscripción.

En [7] se establecen los siguientes requisitos.

2.2.3.1 De partidos políticos

- a) El Acta de Fundación que contenga lo establecido en el artículo 6°.
- b) La relación de adherentes en número no menor del tres por ciento (3%) de los ciudadanos que sufragaron en las últimas elecciones de carácter nacional, con la firma y el número del Documento Nacional de Identidad (DNI) de cada uno de éstos.
- c) Las actas de constitución de comités partidarios, de acuerdo a lo establecido en el artículo 8°.
- d) El Estatuto del partido, que deberá contener, por lo menos, lo establecido en el artículo 9 de la presente ley.
- e) La designación de los personeros legales, titulares y alternos, que se acreditan ante los
- f) organismos electorales.

- g) La designación de uno o más representantes legales del partido político, cuyas atribuciones se establecerán en el Estatuto, al ser nombrados o por acto posterior.

2.2.3.2 De los movimientos y organizaciones políticas de alcance local

- a) Relación de adherentes en número no menor del tres por ciento (3%) de los ciudadanos que sufragaron en las últimas elecciones de carácter nacional, dentro de la circunscripción en la que el movimiento u organización política local desarrolle sus actividades y pretenda presentar candidatos. Dicha relación se presenta con la firma y el número del Documento Nacional de Identidad (DNI) de cada uno de los adherentes.
- b) Las Actas de Constitución de comités en, a lo menos, la mitad más uno del número de provincias que integren la región o el departamento correspondiente, en el caso de los movimientos. Para los casos de las organizaciones políticas locales cuyas actividades se realicen a nivel de las provincias de Lima y el Callao, así como de cualquier otra provincia en particular, se deberán presentar las Actas de Constitución en, por lo menos, la mitad más uno del total de distritos.
- c) El Acta de Constitución de, cuando menos, un comité partidario en el distrito correspondiente, en el caso de que la organización política local desarrolle sus actividades a nivel distrital.

2.3 Atributos característicos de la firma.

2.3.1 La firma

2.3.1.1 Definición.

Según la Real Academia Española, la firma se define como el Nombre y apellido, o título, que una persona escribe de su propia mano en un documento, para darle autenticidad o para expresar que aprueba su contenido [8].

2.3.1.2 Tipos de Firmas

En [8], se definen los siguientes tipos de firmas:

- a) In extenso.- O completa.

- b) Media Firma.- Se simplifica la completa
- c) Rúbrica.- Orla, ornamento o adorno de la firma.
- d) Visto.- Trazo o trazos bastantes simples, puestos en señal de conformidad.

2.3.2 Grafoscopia

En [10] se define a la grafoscopia como el estudio objetivo de la escritura manuscrita para establecer respecto a la persona que la estampo, si corresponde o no, a su puño y letra, es decir, si es auténtica o falsa.

El estudio de la grafoscopia ha conllevado su división en tres temas [11]:

- Elementos estructurales del grafismo
- Elementos constitutivos del grafismo
- Gestor gráficos.

2.3.2.1 Elementos estructurales del grafismo.

En [9] se señalan a los siguientes como elementos estructurales del grafismo.

- **Forma:** Todas las escrituras y firmas tienen una forma determinada. Presentan una serie de variantes: escritura caligráfica, escritura angulosa, escritura adornada, escritura sencilla o sobria, escritura tipográfica o yuxtapuesta, escritura comprimida o inhibida, escritura artificiosa o estereotipada, escritura inacabada o simplificada, escritura enmarañada o confusa, escritura elegante o distinguida.
- **Dirección:** Es la orientación que sigue la escritura en su desplazamiento; en nuestro caso de izquierda a derecha y horizontal. Se presenta una serie de variantes: horizontal, ascendente, descendente, ondulada o sinuosa, serpenteada, cóncava, convexa, cabalgante, fuera de renglón, imbricada.
- **Inclinación:** Es la angulosidad de los ejes gramáticos con relación a la base de la escritura. Presenta 3 casos: vertical o erguida, inclinada o dextrógira e invertida.
- **Tamaño:** Dimensión de las grafías en una palabra, un renglón o un texto. Se puede clasificar en: Muy pequeña, pequeña, normal, grande y muy grande.

En este tipo de elemento o Genero, existen otras clasificaciones: Escritura prolongada hacia arriba, Escritura prolongada hacia abajo, escritura creciente,

escritura decreciente, escritura uniforme, escritura extendida o filiforme, escritura dilatada, escritura achatada o baja.

- **Continuidad o enlaces:** referido a los cortes o figuras en los escritos. Básicamente se puede clasificar en: Corte inicial, corte central, corte silábico, corte yuxtapuesto, corte irregular.
- **Presión:** mayor o menor fuerza transmitida en el acto de escribir. Básicamente se puede clasificar en: fuerte o firme, normal o mediana, lábil, fina, insuficiente, débil, irregular o desigual.
- **Velocidad:** Mayor o menor aceleración en el acto de escribir. La presión y la velocidad son inversamente proporcionales. A mayor velocidad, menor presión; a mayor presión, menor velocidad. Básicamente se puede clasificar en: muy rápida, rápida, lenta, muy lenta.
- **Orden o Proporcionalidad:** distribución de la escritura de acuerdo al receptor preestablecido o improvisado. Se puede verificar de acuerdo a: La distribución (entre grafías, entre palabras, entre líneas); La dispersión (teniendo en cuenta los márgenes); La proporcionalidad (ya sea proporcionada, desproporcionada o mixta).
- **Ornamentación:** Escritura con adornos o sin ellos.
- **Habilidad:** Escritura desarrollada con: Gran habilidad, poca habilidad y torpeza.

La figura 2.1 muestra una firma, donde se señalan los elementos estructurales descritos.



Figura 2.1. Elementos estructurales del grafismo.

2.3.2.2 Elementos generales de la grafía.

En [9] se indica que cada grafía tiene dos partes:

- a) Principal o trazos.- Conformada por el fino o perfil y el grueso o magistral.
- b) Secundaria o rasgos.- Conformada por los rasgos inicial, final y enlaces o adornos.

En [11], se mencionan algunos rasgos característicos de las firmas, siendo los siguientes:

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

Ejemplo: *ℓ*

- Lanzada. Rasgo curvo que se muestra en la misma letra para rodearla o enlazarla. Ejemplo: *A*
- Bucle. Pequeña especie de lanzada colocada generalmente en el punto final de la letra.
- Ojal. Pequeña abertura redondeada que aparece como un adorno de la letra, semejante a un ojal.
- Arco. Trazo curvo que aparece en forma de semicírculo, que puede ser completo e incompleto. Ejemplo: *a*.
- Espuela. Rasgo que se adosa o adiciona al comienzo de las letras.
- Patín. Pequeña raya horizontal ya sea en la parte superior o inferior de las letras. Ejemplo: *R*.
- Tilde. Rasgo pequeño y horizontal que complementa a la letra “t”.
- Angulo. Gramas de la letra, que aparecen formando vértices con ello ángulos.
- Curva. Cuando en la letra se presenta curvas en el cuerpo. Ejemplo: *s*.

- Nudo. Espiral incompleto que generalmente aparece en el punto de ataque.
- Espiral. Espiral completo.
- Línea regresiva sobre sí. Son las líneas verticales que se trazan de arriba abajo que retornan de abajo a arriba sobre sí mismas, o casi sobre sí mismas.
- Ovalo. Rasgo parecido a un huevo.

La figura 2.2, muestra algunos ejemplos de los rasgos mencionados previamente.

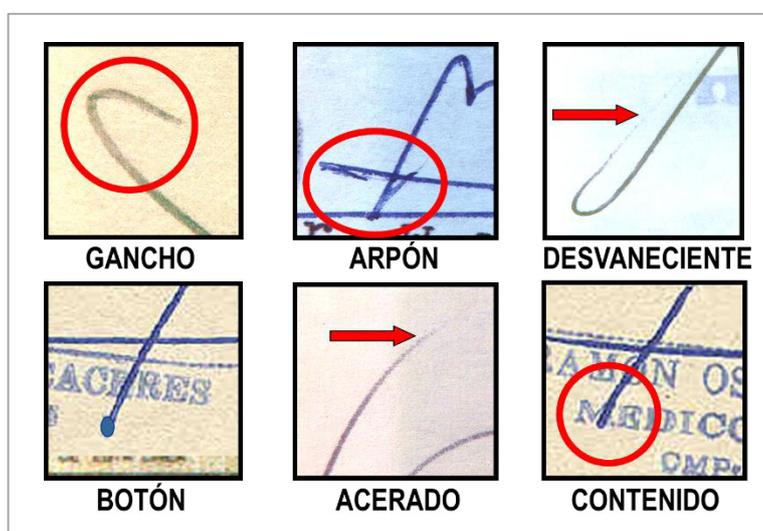


Figura 2.2. Forma y ubicación de los rasgos iniciales y finales.

2.3.2.3 Gestos gráficos

En [9], se definen los gestos gráficos identificatorios como peculiaridades, considerados como características inherentes a cada puño gráfico, plasmados al momento de escribir por el subconsciente, y que diferencian e identifican a las personas.

Estos pasan inadvertidos y solamente algunos gestos gráficos son observables con lentes de aumento o algún otro medio, resultando ser tan sutiles que quedan fuera de las precauciones del falsificador en el proceso de imitación o disimulo.

Los gestos gráficos son considerados muy importantes para determinar la autenticidad o falsedad de los grafismos ya que son difíciles de alterar voluntariamente. Estos son:

- a) Forma de la caja de renglón
- b) Rasgos iniciales y finales

- c) Deformaciones específicas
- d) Homogeneidad o fijeza de las características personales
- e) Punto de ataque

2.3.3 Falsificación de la firma

2.3.3.1 Definición

Toda falsificación es una simulación que pretende esconder la propia identidad gráfica. Los procedimientos elegidos pueden ser diversos y en muchos casos hay implicaciones físicas o químicas. En la falsificación se asume la personalidad de otro con disimulo [12].

2.3.3.2 Tipos de Falsificación.

En [9] se identifican los siguientes tipos de falsificación.

a) Falsificación por calco.

Modalidad burla de falsificación de firmas, mediante la cual con un modelo patrón original, el falsario lo recorre en su trayectoria gráfica con un instrumento y apoyado con elementos especiales (papel carbónico, grafito, cristal mate).

b) Falsificación sin imitación

Cuando el falsificador no tiene un modelo patrón para copiar o imitar, procede a falsificar sin imitar como en cualquiera de estos dos casos:

b.1) Conoce el nombre y apellidos; pero no la firma (elabora una con los datos que posee).

b.2) No conoce el nombre, apellidos ni la firma (e improvisa un modelo al azar).

2.4 Sistema de Verificación automática.

En [13], James L. Wayman, presenta un modelo de sistema aplicable a todos los sistemas biométricos mostrando la relación entre la "verificación" e "identificación" y "acceso" y "operación", ilustrando dónde existen puntos comunes entre estos sistemas aparentemente dispares, y sugiriendo las normas de interfaz que podrían ser útiles.

El modelo presentado incluye el desarrollo de formulaciones matemáticas para la evaluación de los Sistemas Biométricos y está compuesto de los subsistemas mostrados en la Figura 2.3, los cuales se describen a continuación:

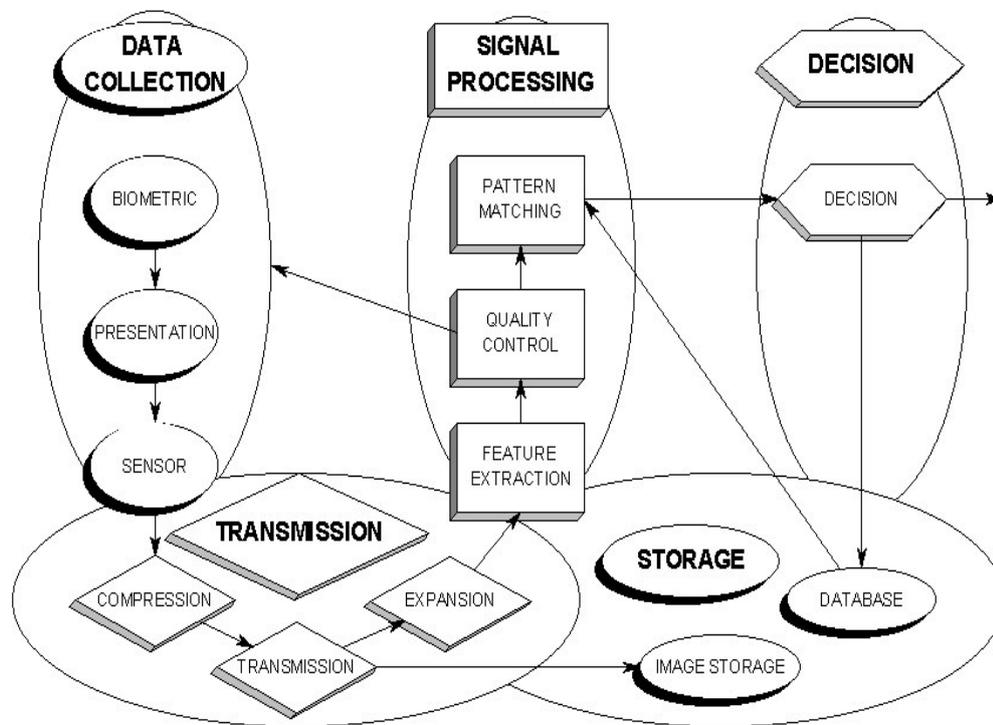


Figura 2.3. Modelo de sistema de identificación biométrica.

- Obtención de datos. Este subsistema define los aspectos relacionados al procedimiento de presentación de la biometría así como los relacionados a la fase de enrolamiento, el cual consiste en registrar nuevos usuarios al sistema.
- Transmisión. Comúnmente en los sistemas de identificación biométricos, la recopilación de datos se realiza en un lugar diferente al lugar donde se realizará el procesamiento o el almacenamiento, por lo que es muy importante la forma en que se hace llegar la información a dicho lugar. La transmisión, puede requerir encriptación, en el caso de que la información sea confidencial.
- Procesamiento de señales. Tiene como objetivo transformar la información mediante diversos algoritmos. Dichos algoritmos tienen la función de extraer las características biométricas presentes en la señal original. La información extraída, generalmente es utilizada para construir el “vector de características”, el cual será utilizado en las siguientes etapas.

- d) Almacenamiento. Este subsistema se encarga del almacenamiento de la información proveniente del subsistema de recopilación de datos (almacenamiento de biometrías) y del subsistema de procesamiento de señales (vectores de características). La importancia del subsistema de almacenamientos se rige por el sistema de verificación (SV) propuesto.
- e) Decisión. Este subsistema se encarga de verificar o identificar una biometría.

2.5 Algoritmo de Aprendizaje Automático – Bosque Aleatorio

2.5.1 Definición.

En [42] se define a Random Forest o bosque aleatorio al conjunto de árboles de decisión, cada uno capaz de producir una respuesta ante un conjunto de valores. Para un problema de clasificación, esta respuesta es una clase a la que se es miembro, lo cual asocia o clasifica un conjunto de valores predictores independientes con una de las categorías presentes en la variable dependiente. En problemas de clasificación, el conjunto de árboles simples votan por la clase más popular. En un problema de regresión, las respuestas se promedian para obtener un estimado de la variable dependiente.

El bosque aleatorio inicia con un árbol de decisión. En éste, una entrada se ingresa en la parte superior y mientras viaja bajo el árbol, los datos se concentran en conjuntos más y más pequeños. Un árbol de decisión es un árbol en el que cada nodo interno está etiquetado con una característica de entrada. Los arcos que vienen de un nodo etiquetado con una característica son nombrados con cada uno de los valores posibles de la característica. Cada hoja del árbol es etiquetada con una clase o una distribución de probabilidad a través de las clases.

Los árboles de decisión no clasifican particularmente bien, por lo que se les llama clasificadores débiles. No obstante, se puede buscar construir un clasificador fuerte a partir de varios clasificadores débiles, llamados ensamble, para lo cual se pueden adoptar diversas estrategias tales como Bootstrapping o Bagging.

2.5.2 Bootstrapping.

Consiste en generar nuevos conjuntos del mismo tamaño mediante un muestreo con reemplazo. Una muestra bootstrap debe tener el 62.3% de las muestras originales

aproximadamente.

2.5.3 Bagging.

Bootstrap Aggregating o Bagging es una técnica que permite entrenar cada clasificador débil con un conjunto de datos diferente, generado por la estrategia de bootstrapping.

Mediante las muestras generadas por bagging se crean árboles de decisión. Con estos se gana diversidad al examinar diversos ejemplos en los datos. Por convención los árboles se sobreentrenan, ya que tienen menos datos y están hechos a su medida. El algoritmo para construir los árboles se describe a continuación:

- Para $b = 1$ a B
- Sacar una muestra bootstrap Z de tamaño N de los datos de entrenamiento.
- Construir un árbol random-forest T_b con los datos bootstrap, repitiendo los pasos siguientes para cada nodo terminal del árbol, hasta que se logra un tamaño de nodo mínimo previamente designado.
 - Seleccionar m variables al azar de entre las p variables
 - Elegir el mejor punto de corte o variable entre las m variables
 - Partir el nodo en dos nodos hijos
- Mostrar ensamble de árboles T_{b1}^B

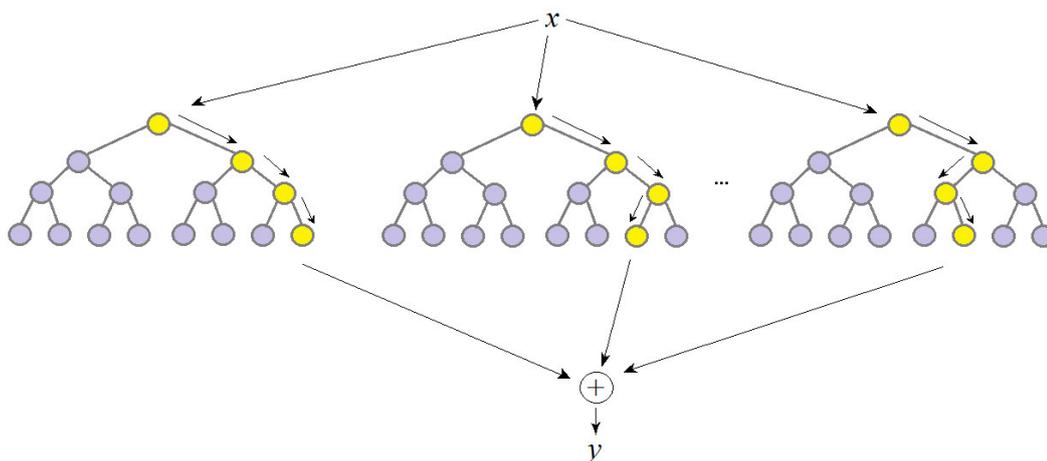


Figura 2.4. Random Forest [42].

Cada decisión del árbol (es decir, cada variable en que el árbol se parte en dos posibles grupos de valores) se crea examinando cada variable y eligiendo el mejor corte de entre todas las variables. Random Forests selecciona un conjunto aleatorio de variables para cada corte.

Por convención, el número de variables a considerar es \sqrt{p} , donde p es el número de entradas candidatas. Por ejemplo, si se tienen 100 variables de entrada, se seleccionan al azar 10 de ellas para cada corte. Esto fuerza los árboles a encontrar formas alternativas de predecir la variable objetivo, además de evitar correlaciones entre los árboles. Al final se mantiene el elemento de aleatoriedad en los conjuntos de entrenamiento, así como al realizar los cortes en los árboles.

Obtenido el ensamble, se introducen variables desconocidas a través de cada árbol, y se obtiene una clase o nodo final en el árbol. La clase predicha es la moda (o el voto de la mayoría) de entre las predicciones de los árboles de decisión.

2.6 La desigualdad de Chebyshev

2.6.1 Teorema.

Sea X una variable aleatoria con esperanza finita μ . Entonces, para todo $k > 0$,

$$P(|X - \mu| \geq k) \leq \frac{Var(X)}{k^2}$$

Es decir, la desigualdad de Chebyshev nos dice que la varianza es una medida de dispersión de los valores de X alrededor de su valor esperado.

2.6.2 Aplicaciones de la desigualdad de Chebyshev.

En [43] se mencionan las principales aplicaciones de la desigualdad de Chebyshev, siendo estas las siguientes: a) Cálculo de cotas para probabilidades, lo cual es importante cuando es difícil dar un valor exacto de la probabilidad; b) Demostración de teoremas límite en probabilidad, y c) Cálculo de tamaño de muestra en la aproximación de la media de una población. A continuación haremos una descripción más precisa de cada uno de estos puntos.

Capítulo 3: ESTADO DEL ARTE

3.1 Metodología de la Investigación

La revisión sistemática considera el procedimiento propuesto por Kitchenham [14], el mismo que ha sido adaptado para desarrollar el presente trabajo e involucra las siguientes fases:

- a) Planeamiento: en esta etapa se plantean las preguntas de investigación y se define el protocolo de revisión.
- b) Desarrollo: en esta etapa se ejecuta el plan y se seleccionan los estudios primarios de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión establecidos para el efecto.
- c) Reportes: muestra los resultados de las estadísticas de la revisión y los resultados del análisis, los mismos que son presentados en los acápites 3.2 y 3.3, respectivamente.

3.1.1 Planeamiento

Esta etapa está dirigida a contestar cuatro preguntas de investigación a partir de la literatura existente, éstas son:

Q1: *¿Qué trabajos se han desarrollado para la adquisición y pre-procesamiento de la firmas?*

Q2: *¿Qué características se han identificado para verificar firmas?*

Q3: *¿Qué algoritmos se han desarrollado para la verificación (Clasificación)?*

Q4: *¿Cuál es el rendimiento que presentan los trabajos de reconocimiento de firmas?*

La búsqueda de la información que condujo a responder las preguntas planteadas se realizaron en los bancos: IEEE Xplore, ACM Digital Library, Springer, Science Direct, DOAJ, Taylor and Francis y Emerald; la investigación cubre el período comprendido desde el año 2008 a 2015, se ha escogido el 2008 porque es la fecha de publicación del trabajo del estado arte de Impedovo et al [15] que es considerado uno de los trabajos más exhaustivo sobre verificación automática de firmas.

Los trabajos seleccionados responden a las cadenas de búsquedas que se muestran en la tabla 3.1, las mismas han sido aplicadas en el título, abstract y keyword.

Tabla 3.1: Cadenas de búsquedas utilizadas en la Base de Datos

Source	String Search
ACM Digital Library	{acmdlTitle:(+signature +verification) OR recordAbstract:(+signature +verification) OR keywords.author.keyword:(+signature +verification) }, { acmdlTitle:(+signature +recognition) OR recordAbstract:(+signature +recognition) OR keywords.author.keyword:(+signature +recognition) }, { acmdlTitle:(+off-line +signature) OR recordAbstract:(+off-line +signature) OR keywords.author.keyword:(+off-line +signature) }, { acmdlTitle:(+handwriting +recognition) OR recordAbstract:(+handwriting +recognition) OR keywords.author.keyword:(+handwriting +recognition) }
IEEE Xplore	(((((("Document Title":signature verification) OR "Abstract":signature verification) OR "Author Keywords":signature verification) OR "Document Title":off-line signature) OR "Abstract":off-line signature) OR "Author Keywords":off-line signature) OR "Document Title":signature recognition) OR "Abstract":signature recognition) OR "Author Keywords":signature recognition) OR "Document Title":handwriting recognition) OR "Abstract":handwriting recognition)
Science Direct	TITLE-ABSTR-KEY(signature verification) or TITLE-ABSTR- KEY(off-line signature) or TITLE-ABSTR-KEY(signature recognition) or TITLE-ABSTR-KEY(handwriting recognition).
Springer	(signature verification OR off-line signature OR signature recognition OR handwritten signature) within English Article 2008 - 2015
DOAJ	{"query":{"query_string":{"query":"signature verification", "default_field":"bibjson.title", "default_operator":"AND"}}, "from":0, "size":100} OR {"query":{"query_string": {"query":"signature verification", "default_field": "bibjson.keywords", "default_operator": "AND"}},

```

"from":0,"size":100} OR {"query":{"query_string":{"query":
"signature verification","default_field":"bibjson.abstract",
"default_operator":"AND"}}, "from": 0,"size":100} OR
{"query":{"query_string":{"query":"off-line signature",
"default_field":"bibjson.title",
"default_operator":"AND"}}, "from":0,"size":100} OR
{"query":{"query_string":{"query":"off-line signature",
"default_field": "bibjson.keywords", "default_operator": "AND"}},
"from":0,"size":100} OR {"query":{"query_string":{"query": "off-
line signature","default_field":"bibjson.abstract",
"default_operator":"AND"}}, "from": 0,"size":100} OR
{"query":{"query_string":{"query":"signature recognition",
"default_field":"bibjson.title",
"default_operator":"AND"}}, "from":0,"size":100} OR
{"query":{"query_string":{"query":"signature recognition",
"default_field": "bibjson.keywords", "default_operator": "AND"}},
"from":0,"size":100} OR {"query":{"query_string":{"query":
"signature recognition","default_field":"bibjson.abstract",
"default_operator":"AND"}}, "from": 0,"size":100} OR
{"query":{"query_string":{"query":"handwriting recognition",
"default_field":"bibjson.title",
"default_operator":"AND"}}, "from":0,"size":100} OR
{"query":{"query_string":{"query":"handwriting recognition",
"default_field": "bibjson.keywords", "default_operator": "AND"}},
"from":0,"size":100} OR {"query":{"query_string":{"query":
"handwriting recognition","default_field":"bibjson.abstract",
"default_operator":"AND"}}, "from": 0,"size":100}

```

Taylor and Francis	ARTICLE TITLE(handwritten signature) OR ARTICLE TITLE(signature recognition) OR ARTICLE TITLE(off-line signature verification) OR ARTICLE TITLE("signature verification") OR ABSTRACT(handwritten signature) OR ABSTRACT (signature recognition) OR ABSTRACT (off-line signature verification) OR ABSTRACT ("signature verification") OR KEYWORDS(handwritten signature) OR KEYWORDS (signature recognition) OR KEYWORDS (off-line signature verification) OR KEYWORDS ("signature verification")
Emerald	CONTENT ITEM TITLE("Off-line signature") OR ABSTRACT("Off-line signature") OR CONTENT ITEM

TITLE("signature recognition") OR ABSTRACT("signature verification")

Se han considerado los criterios de selección y exclusión establecidos en la tabla 3.2. Con respecto a las fuentes de búsqueda, se han incluido journals con factor de impacto SJR.

Tabla 3.2: Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de Selección	Criterios de Exclusión
<ul style="list-style-type: none"> • Presentan modelos, algoritmos, herramientas para la verificación de firmas off-line. • Proponen características de las firmas y/o formas de obtenerlos • Respondan directamente las preguntas de investigación • Proponen métricas para la medición de la precisión del reconocimiento de firmas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Papers que mencionan la verificación de firmas pero que no aportan a su automatización o la extracción de características. • Papers que trabajan el reconocimiento de firmas on-line. • Papers de revisión de la literatura. <p>Posters, editoriales, libros y tesis.</p>

3.1.2 Desarrollo.

Los estudios primarios potenciales identificados en el proceso de búsqueda de acuerdo a la estrategia planteada fueron sometidos a un proceso de selección de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión establecidos; fue necesario realizar una revisión previa a su contenido para poder determinar su relevancia para el presente estudio y principalmente para determinar si estos estudios se refieren a la verificación de firmas off-line. El proceso aplicado, así como los resultados obtenidos en cada paso del proceso, se representan en la Figura 3.1. Luego se procedió a analizar los artículos para contestar las preguntas de investigación.

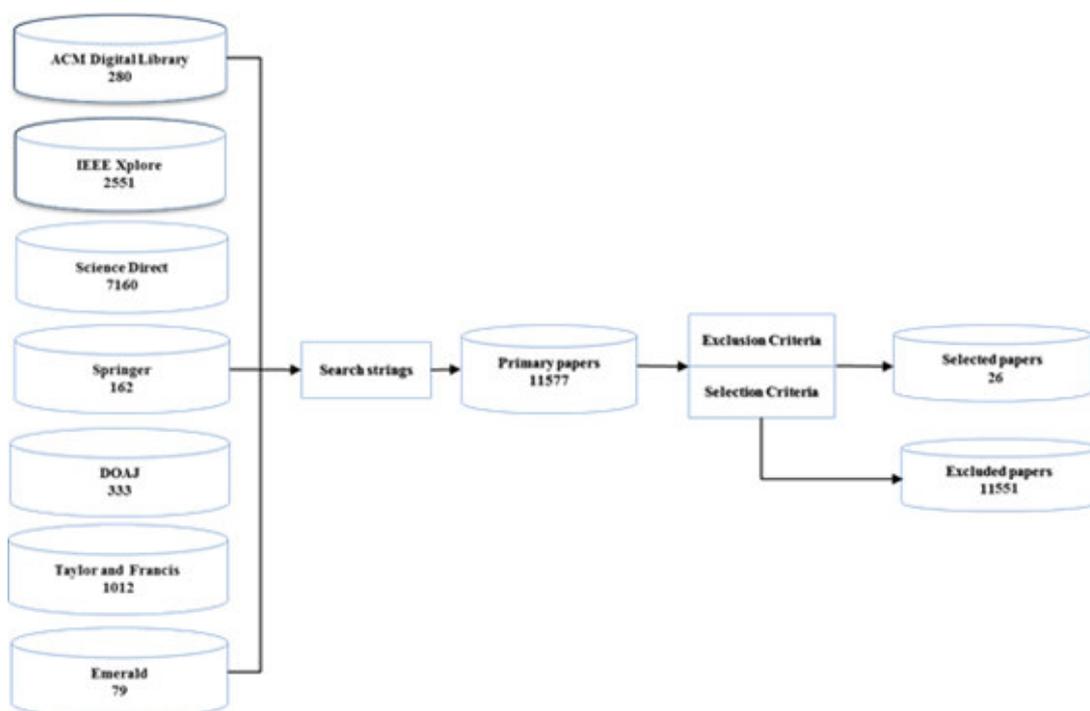


Figura 3.1: Proceso aplicado para la Revisión Sistemática de Literatura

El desarrollo de la revisión sistemática dio como resultado 11,577 papers, de los cuales 26 investigaciones fueron seleccionadas ya que están relacionados con la verificación automática de firmas (ver Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Estudios potencialmente elegibles y estudios seleccionados

Fuente	Estudios potencialmente elegibles	Estudios seleccionados
ACM Digital Library	280	0
IEEE Xplore	2551	7
Science Direct	7160	10
Springer	162	5
DOAJ	333	3
Taylor and Francis	1012	0
Emerald	79	1
TOTAL	11577	26

3.2 Resultados.

3.2.1 Visión temporal de las publicaciones.

La Figura 3.2 muestra que el total de publicaciones en los últimos 8 años que cubren el área de la verificación automática de firmas off-line.

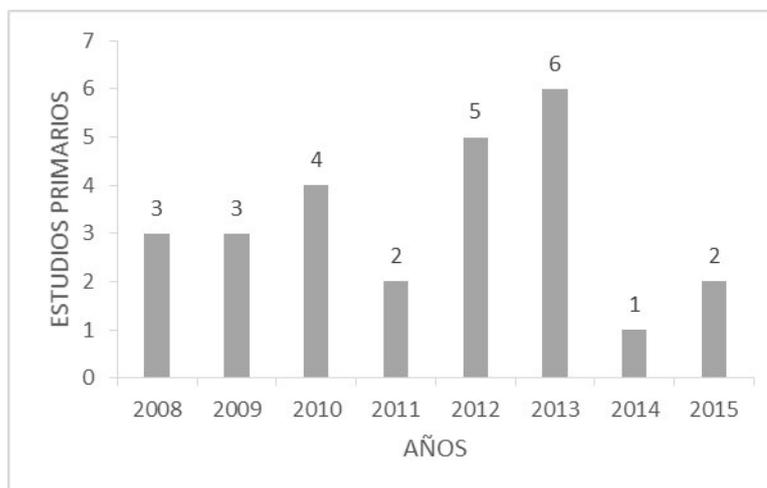


Figura 3.2. Visión temporal de publicaciones de verificación de firmas off-line

3.2.2 Fuentes de referencia.

Los resultados de la búsqueda realizada reflejan que la mayor cantidad de publicaciones se han realizado en la base de datos ScienceDirect con 38.46%, los cuales se muestran en tabla 3.4.

Tabla 3.4. Publicaciones realizada por fuente de referencias sobre verificación automática de firmas off-line 2008-2016

Fuente	Journals	Porcentaje
ACM Digital Library	0	0,00 %
IEEE Xplore	7	26.92 %
Science Direct	10	38.46 %
Springer	5	19.23 %
DOAJ	3	11.54 %
Taylor and Francis	0	0.00 %
Emerald	1	3.85 %
TOTAL	26	100%

3.3 Análisis.

El proceso de verificación automática de firmas, generalmente se realiza en tres fases principales: adquisición de datos y pre-procesamiento, extracción de características y la clasificación [15, 41]. La Figura 3.3 ilustra el proceso de verificación de firmas.

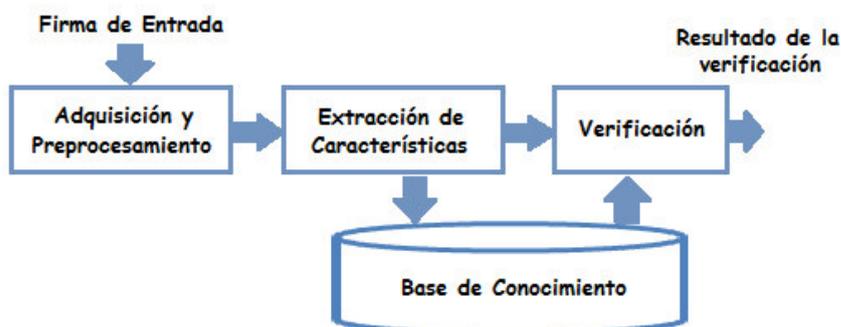


Figura 3.3. Proceso de verificación de firmas.

Adicional a estas fases, las investigaciones proponen modelos que conceptualizan todas las fases o parte de ellas. A continuación revisaremos la literatura para cada una de estas tres fases a fin de responder nuestras preguntas de investigación.

1.1 Q1: ¿Qué trabajos se han desarrollado para la adquisición y pre-procesamiento de la firma?

La adquisición de datos para la verificación de firmas offline se realiza después que la firma se ha completado y plasmado en un documento a través de un escáner óptico [2]. Luego de escanear la imagen, se realiza la etapa de pre-procesamiento, el cual comprende las fases de conversión a escala de grises, binarización, eliminación del ruido, esqueletización y normalización. La figura 3.4 muestra el resultado de cada una de las etapas del pre-procesamiento.

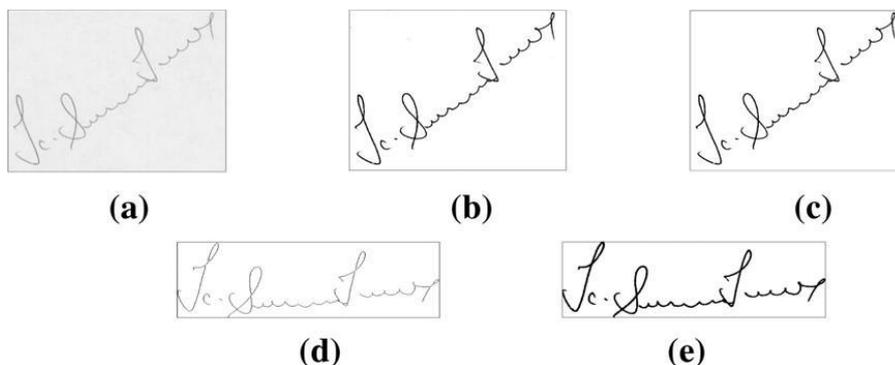


Fig. 3.4 Resultado de las etapas de preprocesamiento [7]. (a) Imagen en escala de grises, (b) Imagen binarizada, (c) Ruido limpiado, (d) Esqueletización y rotación de la imagen, (e) Imagen normalizada.

1.2 Q2: ¿Qué características se han identificado para verificar las firmas?

En la verificación de firmas off-line, las características se clasifican en dos principales categorías: parámetros globales y parámetros locales. Los parámetros globales se refieren a toda la firma; mientras que los parámetros locales, dependiendo del nivel de detalle considerado pueden dividirse en: orientados a componentes (por ejemplo la relación de altura y anchura de los trazos, posición relativas de los trazos, orientación de los trazos, etc.) y orientados a pixel (por ejemplo la densidad del pixel, intensidad del nivel de gris, textura, etc.). Asimismo, algunos parámetros que se consideran para ser características globales, también se pueden aplicar de forma local, y viceversa [14].

En la Tabla 3.5 se listan las diversas características extraídas para la verificación de firmas, obtenidas de los trabajos seleccionados de acuerdo a la metodología de investigación planteada.

Tabla 3.5. Características identificadas en los trabajos de verificación de firmas.

Característica	Referencia
Conectividad	[17]
Curvas	[16], [17] , [20], [40]
Densidad	[17], [18] , [20], [36] , [40]
LPB	[19], [33]
GLCM	[19]
Inclinación	[20], [40]
Distribución	[20], [40]
Anillo Perimétrico	[21]
Coincidencia	[22]
Distancia	[22]
Energía	[22]

Gradiente	[23], [28], [38]
Alto/Ancho	[24]
Centro de gravedad	[24], [34], [40]
Momentos de HU	[25]
Histograma	[26], [29], [38]
ESC	[27], [37]
DPDF	[27], [37]
Momentos de Zernique	[28]
Proyección de Ángulos	[30], [31], [39]
Líneas	[31]
Arcos	[31]
HMM	[35]

1.3 Q3: ¿Qué algoritmo se han desarrollado para la verificación (Clasificación)?

En la Tabla 3.6 se listan los diversos trabajos agrupados por técnicas desarrollados para la clasificación de la firma.

Tabla 3.6. Técnica empleadas en la fase de clasificación de la verificación de la firma off-line.

Técnicas	Referencias
SVM	[16], [17], [19], [20], [26], [28], [31], [33], [35]
ANN	[17], [24], [25], [40]
HMM	[18], [21]
Algoritmo Genético	[20]
Distancia de Mahalanobis	[21]
Serpientes Difusas	[22]
DTW	[23]

Similitud/Disimilitud	[27], [29], [30], [37]
Distancia Euclidiana	[30], [34], [36], [38], [41]
ADT	[32]
Correlación	[36]
Fuzzy	[39]

1.4 Q4: ¿Cuál es el rendimiento que presentan los trabajos de reconocimiento de firmas?

En la tabla 3.7, se presenta la evaluación del rendimiento de los trabajos de reconocimiento de firmas fuera de línea revisados.

Tabla 3.7. Comparación del rendimiento de sistemas de reconocimiento de línea off-line

Trabajo	Técnica	Data Set	Tranning	PR	ERR	FAR	FRR	AER
[16]	SVM	CEDAR	4V					8.7%
[17]	SVM, ANN	CEDAR	---		8.3%			
[18]	HMM	---	4V			6.5%	7.7%	
[19]	SVM	MCYT	5V		12.0%			
[20]	SVM, GA	---	4V		6.3%			
[21]	Mahalanobis, HMM	MCYT	5V		15.0%			
[22]	Serpientes Difusas	---	5V		12.5%			
[23]	DTW	MCYT	---		5.5%			
[24]	ANN	GPDS				26.8%	17.3%	
[25]	ANN	MCYT	10V			11.0%	7.0%	
[26]	SVM	DAVAB	---	96.3%				
[27]	Disimilaridad	GPDS	---					7.2%
[28]	SVM	GPDS	---		15.1%			
[29]	Similaridad	GPDS	12V		7.2%			

[30]	Similaridad Distancia Euclidiana	---	---	8.6%		
[31]	SVM	GPDS	---	8.8%		
[32]	ADT	GPDS	---	4.0%		
[33]	SVM	GPDS	---	3.4%		
[34]	Distancia Euclidiana	---	---		0.4%	20.8%
[35]	SVM	MCYT	---		10.0%	8.0%
[36]	Correlación	---	---			
[37]	Disimilaridad	---	5V	5.6%		
[38]	Distancia Euclidiana	Chinese, Dutch	---	87.7%		
[39]	Fuzzy	SVC2004	---		0.6%	22.1%
[40]	HMM	Brasileiro	---			11.2%
[41]	Distancia Euclidiana	MCYT	5V	6.3%		

Como se observa en la tabla 3.7, la mayoría de los trabajos usan como métrica el Error, asimismo se observa que el pre-procesamiento depende de la técnica de extracción de características. Por otro lado se observa que las técnicas de clasificación usadas en los últimos trabajos son basados en la distancia, Modelos Ocultos de Markov, Redes Neuronales y Maquinas de Vectores de Soporte, asimismo se observa que el 73% de los trabajos revisados usan bases de datos públicas.

Capítulo 4: EL APORTE

En este capítulo se detalla el modelo de verificación automática de firmas para la solución del problema, obtenido después de un proceso de investigación exhaustiva.

4.1 El Modelo

4.1.1 Fundamentos del modelo.

Un modelo de verificación automática de firmas es un conjunto de procesos con reglas bien definidas que permiten identificar la identidad de un sujeto a partir de un conjunto de características ya conocidas.

Dicho modelo está conformado por los siguientes componentes:

- Conjunto de datos.
- Adquisición y pre-procesamiento.
- Extracción de características.
- Clasificación.
- Resultados.

Este modelo está compuesto por una fuente de datos que contiene firmas originales de diferentes sujetos, otros de los componentes es la adquisición y el preprocesamiento, en el cual se han usado las técnicas ya conocidas. Otro de los componentes, considerado el más importante del modelo, es la extracción de características, para ello se han usado características basadas en el tamaño de la firma, características basadas en la densidad y características basadas en el centro de masa. Así como la extracción de características, la clasificación y verificación es un componente fundamental, ya que éste nos dará la decisión final del modelo.

4.1.2 Esquema del Modelo

La figura 4.1 muestra la representación gráfica del modelo propuesto y se observa la interacción entre los componentes y el flujo que sigue el modelo. Como se observa, el modelo se inicia con el ingreso de datos (Firmas de entrada) al componente de pre-procesamiento, los cuales generan resultados que se convertirán en variables de entrada para el componente de clasificación y verificación (Metapredictor), el cual proporcionara la decisión final.

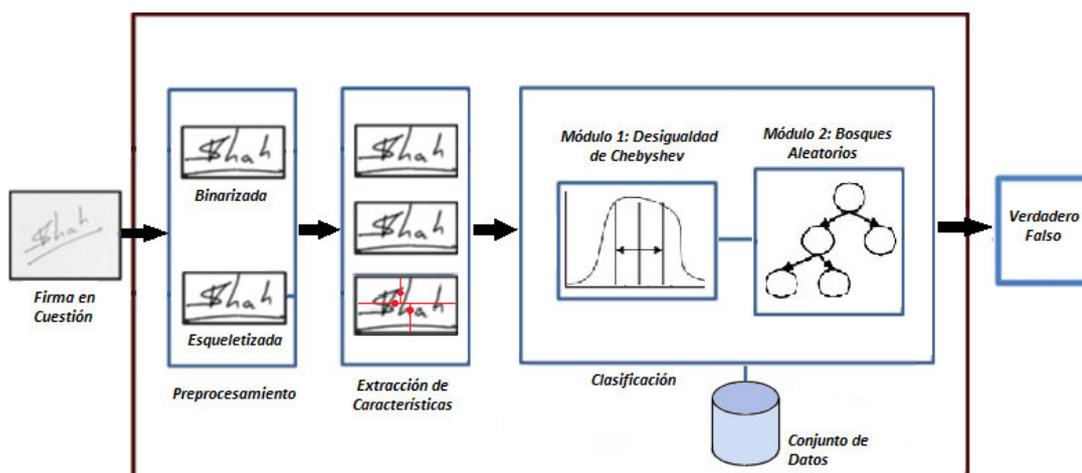


Figura 4.1. Representación gráfica del modelo propuesto.

4.2 Componente: Conjunto de Datos.

El objetivo del presente componente es obtener un conjunto de datos que permita realizar las pruebas y validación del software, para ello, se ha procedido a realizar la construcción de un banco de firmas. Se ha considerado el siguiente procedimiento en la construcción del banco de firmas.

a) Lugar de obtención.

Las firmas fueron obtenidas en las siguientes ciudades:

- Lima
- Cusco
- Chimbote

b) Formato a usar.

Se han considerado los siguientes formatos:

- Formato 1: Lista de adherentes con datos de prueba, para la validación del modelo (Anexo 1).
- Formato 2: Formato para registrar varias firmas de un mismo escritor, para ser usados en el entrenamiento del modelo.

c) Numero de Firmante y firmas.

Mediante el formato 1 se han capturado firmas de 50 personas (1 firma por persona), mientras que a través del formato 2, se han capturado firmas de 80 personas (6 firmas por persona).

Asimismo, haciendo uso de las firmas contenidas en el formato 2, se han construido las listas de adherentes requeridas para la validación para el modelo.

4.3 Componente: Adquisición y Pre-procesamiento.

El objetivo del presente componente es obtener las firmas de la lista de adherentes (planillón) para ser ingresadas al sistema de verificación de firmas. Estas firmas serán localizadas, adquiridas y mejoradas con el pre-procesamiento de las mismas, tal como se muestra en la figura 4.2.

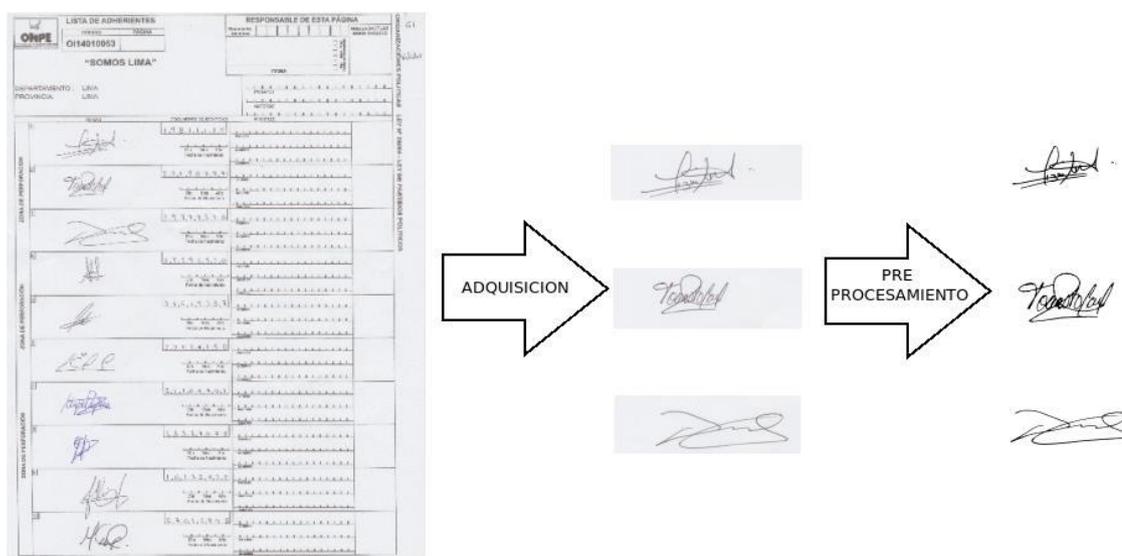


Figura 4.2. Adquisición y pre procesamiento de la firma.

4.3.1 Adquisición.

4.3.1.1 Definición.

Proceso por el cual se extraen las firmas del fondo (lista de adherentes) para facilitar el proceso de verificación o reconocimiento. Previo a la extracción de la firma, esta tiene que haber sido localizada generando cuadros limitadores alrededor de esta, es decir, se determina la posición de la firma en la imagen.

4.3.1.2 Proceso.

Adaptaremos el proceso de Jung [Jung+2004] para la adquisición automática de firmas, al cual excluirémos la etapa de segmentación, ya que se trabajará con la imagen

de una firma y no con caracteres de texto. El proceso para la adquisición de la firma se muestra en la Figura 4.3.

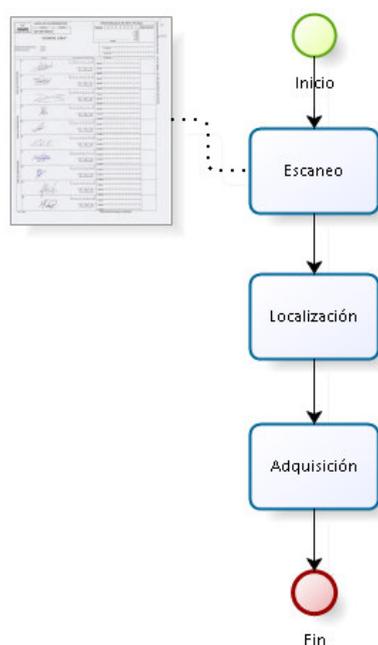


Figura 4.3. Proceso para la adquisición automática de la firma.

El proceso de escaneo de la firma del planillón se realizó en una multifuncional Cannon PIXMA MP240 a 600p de calidad, obteniendo así imágenes con resoluciones de 4700x6900 pixeles, las mismas que son almacenadas en formato *.jpg.

En la fase de localización usaremos un algoritmo geométrico para la localización de la firma tomando en consideración las dimensiones en pixeles del planillón escaneado. Las firmas serán extraídas del recuadro que las encierra. La figura 4.4 muestra la configuración de las variables utilizadas por el software, para la localización de las firmas.

```

20 //Punto inicial Firma
21 private static final int X_INICIAL_FIRMA = 398;
22 private static final int Y_INICIAL_FIRMA = 1435;
23
24 //Dimensiones Firma
25 private static final int ANCHO_FIRMA = 1450;
26 private static final int ALTO_FIRMA = 480;
27
28 //Distancia entre cada Firma
29 private static final int DISTANCIA_ENTRE_FIRMAS = 518;
30
31 //Punto inicial seleccion superior para firma
32 private static final int X_SELECCION_SUPERIOR_FIRMA = 400;
33 private static final int Y_SELECCION_SUPERIOR_FIRMA = 1370;
34
35 //Ancho y alto seleccion superior
36 private static final int ANCHO_SELECCION_SUPERIOR = 290;
37 private static final int ALTO_SELECCION_SUPERIOR = 250;
38
39 //Ancho y alto seleccion superior firma
40 private static final int ANCHO_SELECCION_SUPERIOR_FIRMA = 200;
41 private static final int ALTO_SELECCION_SUPERIOR_FIRMA = 75;
42
43 //Variaciones base para cada Firma
44 private static final int VAR_SUPERIOR_FIRMA_BASE = 52;
45
46 //Punto inicial seleccion lateral
47 private static final int X_SELECCION_LATERAL = 0;
48 private static final int Y_SELECCION_LATERAL = 660;
49
50 //Ancho y alto seleccion superior
51 private static final int ANCHO_SELECCION_LATERAL = 190;
52 private static final int ALTO_SELECCION_LATERAL = 130;
53
54

```

Figura 4.4. Variables del software utilizadas para la localización de las firmas.

Finalmente, luego de localizar la firma, se utiliza el Framework de procesamiento de imágenes Fiji para cortar la imagen localizada del planillón. La figura 4.5 muestra la codificación realizada en Java, para la localización y adquisición de la firma, haciendo uso del Framework mencionado.

```

58 public Map<AtributosPersona, String> getAtributosPersona(int i, ImagePlus impPlanillon, DefaultAppCargaConfig appConfig,
59 Map<AtributosPersona, String> persona = new HashMap<AtributosPersona, String>());
60 PreprocesamientoDNI prePro = new PreprocesamientoDNI();
61 ImageProcessor improPlanillon = impPlanillon.getProcessor();
62 //calcula para variaciones de distintos planillones
63 Roi roiPlanillon = new Roi(X_SELECCION_SUPERIOR_FIRMA, Y_SELECCION_SUPERIOR_FIRMA,
64 ANCHO_SELECCION_SUPERIOR, ALTO_SELECCION_SUPERIOR);
65 ImagePlus impVarSuperior = preprocesarVariacionSuperior(prePro,
66 improPlanillon, roiPlanillon);
67 int pxVarSuperior = getVariacionSuperior(impVarSuperior, ALTO_SELECCION_SUPERIOR,
68 ANCHO_SELECCION_SUPERIOR, TipoRecorrido.DESDE_ARRIBA);
69 ImagePlus impVarLateral = preprocesarVariacionesLaterales(prePro,
70 improPlanillon, i);
71 int pxVarLateral = getVariacionLateral(impVarLateral);
72 int[] varPlanillonSupLate = new int[] {pxVarSuperior, pxVarLateral};
73 int varSuperior = VAR_SUPERIOR_PLANILLON_BASE - varPlanillonSupLate[0];
74 int varLateral = VAR_LATERAL_PLANILLON_BASE - varPlanillonSupLate[1];
75 //Calcula variacion Superior Firma
76 Roi roiVarSupFirma = new Roi(X_SELECCION_SUPERIOR_FIRMA - varLateral, Y_SELECCION_SUPERIOR_FIRMA - varSuperior
77 + i * DISTANCIA_ENTRE_FIRMAS,
78 ANCHO_SELECCION_SUPERIOR_FIRMA, ALTO_SELECCION_SUPERIOR_FIRMA);
79 ImagePlus impVarSuperiorFirma = preprocesarVariacionSuperior(prePro,
80 improPlanillon, roiVarSupFirma);
81 int pxVarSuperiorFirma = getVariacionSuperior(impVarSuperiorFirma, ALTO_SELECCION_SUPERIOR_FIRMA,
82 ANCHO_SELECCION_SUPERIOR_FIRMA, TipoRecorrido.DESDE_ABAJO);
83 int varSuperiorFirma = VAR_SUPERIOR_FIRMA_BASE - pxVarSuperiorFirma;
84 //Para la firma
85 Roi roiFirma = new Roi(X_INICIAL_FIRMA - varLateral + 4,
86 Y_INICIAL_FIRMA + i * DISTANCIA_ENTRE_FIRMAS - varSuperior - varSuperiorFirma,
87 ANCHO_FIRMA, ALTO_FIRMA);
88 improPlanillon.setRoi(roiFirma);
89 ImagePlus impFirma = new ImagePlus("Firma", improPlanillon.crop());
90 new FileSaver(impFirma).saveAsPng(appConfig.getRutaFirmasProcesadas() + "Firma" + (i + 1) + ".png");
91 return persona;

```

Figura 4.5. Codificación en Java para la localización y adquisición.

4.3.2 Pre-procesamiento.

4.3.2.1 Definición

El pre-procesamiento de la imagen de la firma consiste en la aplicación de métodos que nos permitan tener imágenes libres de ruido o normalizadas con la finalidad de tener entradas al sistema de verificación de firmas lo más adecuadas posibles para la etapa de extracción de características y reconocimiento.

4.3.2.2 Proceso

Las etapas seleccionadas para el pre-procesamiento de las imágenes son: Conversión a escala de grises, normalización de textura, binarización, eliminación del ruido, esqueletización y finalmente la normalización del tamaño. Estas etapas son aplicadas tanto a la firma en cuestión, como a sus firmas de entrenamiento. El proceso general se ilustra en la figura 4.6.

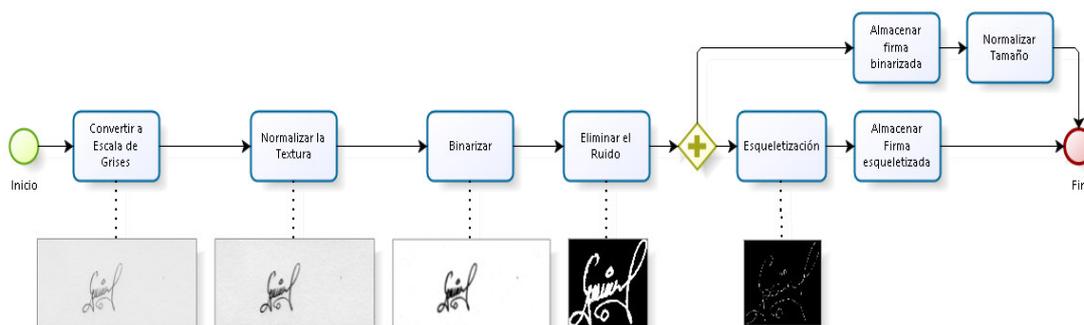


Figura 4.6. Preprocesamiento de imágenes.

a) Conversión a escala de grises.

Es usada para la eliminación de los colores en la imagen. En la conversión a escala de grises, el valor de cada píxel será un número entero en el rango de $[0...255]$, donde el mínimo valor 0 representa el mínimo brillo (negro) y 255 el máximo brillo (blanco). La figura 4.7 muestra la imagen convertida a escala de grises.

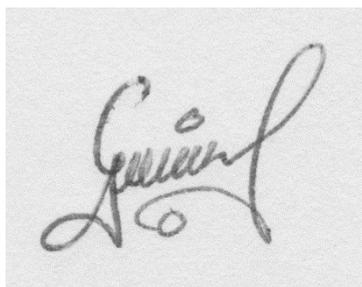


Figura 4.7. Imagen de la firma en escala de grises.

En la imagen 4.8, se muestra el código en Java utilizado para la conversión a escala de grises, haciendo uso del Framework Fiji.

```

21
22  /** Converts this ImagePlus to 8-bit grayscale. */
23  public synchronized void convertToGray8() {
24      if (imp.getStackSize()>1) {
25          new StackConverter(imp).convertToGray8();
26          return;
27      }
28      ImageProcessor ip = imp.getProcessor();
29      if (type==ImagePlus.GRAY16 || type==ImagePlus.GRAY32) {
30          imp.setProcessor(null, ip.convertToByte(doScaling));
31          imp.setCalibration(imp.getCalibration()); //update calibration
32      } else if (type==ImagePlus.COLOR_RGB)
33          imp.setProcessor(null, ip.convertToByte(doScaling));
34      else if (ip.isPseudoColorLut()) {
35          boolean invertedLut = ip.isInvertedLut();
36          ip.setColorModel(LookUpTable.createGrayscaleColorModel(invertedLut));
37          imp.updateAndDraw();
38      } else {
39          ip = new ColorProcessor(imp.getImage());
40          imp.setProcessor(null, ip.convertToByte(doScaling));
41      }
42      ImageProcessor ip2 = imp.getProcessor();
43      if (Prefs.useInvertingLut && ip2 instanceof ByteProcessor && !ip2.isInvertedLut() && !ip2.isColorLut()) {
44          ip2.invertLut();
45          ip2.invert();
46      }
47  }

```

Figura 4.8. Codificación en Java para la conversión a escala de grises.

b) Normalización de la textura.

En esta etapa, los valores de los píxeles de la imagen son recalculados, es decir, el valor de cada pixel, es incrementado de manera proporcional hasta el mayor rango permitido, para nuestro caso el rango máximo es 255 por ser una imagen de 8-bits. La figura 4.9 muestra la imagen de la firma luego de aplicar la normalización de la textura.



Figura 4.9. Imagen de la firma normalizada.

En la imagen 4.10, se muestra el código en Java utilizado para la normalización de la textura, haciendo uso del Framework Fiji.

```

49
50 public ImagePlus normalizar(ImagePlus imagen){
51
52     stackSize = imagen.getStackSize();
53     imagen.trimProcessor();
54
55     Roi roi = imagen.getRoi();
56     if (roi!=null) roi.endPaste();
57     if (stackSize==1)
58         Undo.setup(Undo.TRANSFORM, imagen);
59     else
60         Undo.reset();
61     if (equalize)
62         equalize(imagen);
63     else
64         stretchHistogram(imagen, saturated);
65     if (normalize)
66         imagen.getProcessor().resetMinAndMax();
67     return imagen;
68 }

```

Figura 4.10. Codificación en Java para la normalización de la textura.

c) Binarización.

En esta etapa la imagen es procesada para obtener una imagen binaria, donde cada pixel asume uno de los dos valores discretos: 1 o 0. Para realizar la binarización, usaremos el método global derivado del histograma conocido como Método de Umbralización [Kapur+1985]. La figura 4.11 muestra la imagen de la firma luego de aplicar la binarización.



Figura 4.11. Imagen de la firma normalizada.

d) Eliminación del Ruido

Esta etapa se realiza a efecto de descartar los puntos, líneas o trazos que no correspondan a la firma. Para realizar la eliminación del ruido utilizaremos el filtro de la mediana, mediante el cual, se visita cada píxel de la imagen y se reemplaza por la mediana de los píxeles vecinos. Seguidamente, aplicamos una operación XOR para invertir los píxeles de la imagen y finalmente se recorta la firma encuadrándola en el menor rectángulo que la contiene. La figura 4.12 muestra la imagen final obtenida en esta etapa. Esta imagen es duplicada, una

de ellas es almacenada para ser usada en el siguiente componente y la otra continúa el flujo del pre-procesamiento.



Figura 4.12. Imagen de la firma sin ruido.

En la imagen 4.13, se muestra el código en Java utilizado para la eliminación del ruido de la imagen, haciendo uso del Framework Fiji.

```
38 public void filtroMediana(int radio, ImageProcessor impro){
39     RankFilters rfDni = new RankFilters();
40     rfDni.rank(impro, radio, RankFilters.MEDIAN);
41 }
--
```

Figura 4.13. Codificación en Java para la eliminación del ruido.

e) Esqueletización

Esta etapa consiste en reducir a un pixel el grosor de cada segmento de la firma. La imagen esqueletizada también es almacenada para ser usada en el siguiente componente. La figura 4.14 muestra la imagen de la firma esqueletizada.



Figura 4.14. Imagen de la firma esqueletizada.

En la imagen 4.15, se muestra el código en Java utilizado para la esqueletización de la imagen, haciendo uso del Framework Fiji.

```

625 private ImagePlus obtenerImagenEsqueletizada(final ImageProcessor imp) {
626     PreprocesamientoFirma preFirma = new PreprocesamientoFirma();
627
628     //Esqueletizacion
629     ImagePlus imagenEsquele = new ImagePlus("Img Esqueletizacion", imp.duplicate());
630
631     //Filtro de la maxima
632     preFirma.filtroMaxima(RADIO_FILTRO_MAXIMA, imagenEsquele.getProcessor());
633
634     Binary esqueleBinary = new Binary();
635     esqueleBinary.setup("skel", imagenEsquele);
636     esqueleBinary.run(imagenEsquele.getProcessor());
637
638     imagenEsquele.getProcessor().invertLut();
639
640     return imagenEsquele;
641 }

```

Figura 4.15. Codificación en Java para la esqueletización.

f) Normalización del tamaño.

En nuestro caso de estudio, esta etapa se empleada para uniformizar los tamaños de las firmas de entrenamiento que posea cada firma en cuestión; las dimensiones para la normalización son dadas por el tamaño de la firma estampada en el planillón.

4.4 Componente: Extracción de Características.

El objetivo del presente componente es obtener las características más relevantes de la firma como entrada al motor de verificación de firmas. Las características de las firmas serán obtenidas a partir de las firmas almacenadas en el componente anterior.

El sistema propuesto, considera el uso de tres características: a) Basadas en el tamaño de la firma, b) Basados en la masa de la firma y c) Basados en el centro de masa.

4.4.1 Características basadas en el tamaño de la firma.

Uno de los elementos estructurales de la firma, considerado por los peritos grafotécnicos en el proceso de homologación, es la dimensión de la misma, dado por el alto (a) y el ancho (b) del menor rectángulo que lo envuelve.

Obsérvese la fig. 4.16A y 4.16B, las cuales representan a dos firmas. Las dimensiones del menor rectángulo que las envuelve se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Dimensiones de las firmas 4.16A y 4.16B.

Firma	Alto (a)	Ancho (b)
4.16A	23	17
4.16B	10	27

Como se puede apreciar, dichas dimensiones varían de manera no proporcional, por lo que se puede concluir que son firmas diferentes en estructura.

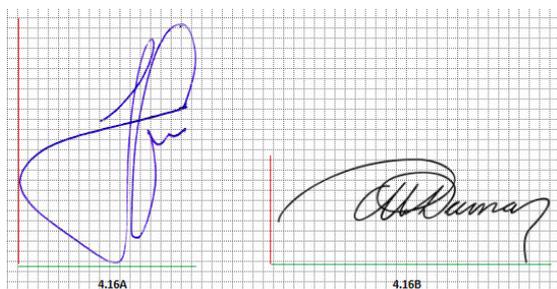


Figura 4.16A Firma vertical, 4.16B Firma horizontal.

No obstante, comúnmente sucede que las firmas estampadas por un mismo escritor tienen diferentes dimensiones, tal como se muestran en la figura 4.17, en la cual se presentan 6 firmas de una misma persona escrita en tamaños diferentes. Obsérvese que las dimensiones de alto y ancho varían entre 2.74 a 3.84 cm y de 4.83 a 7.27 cm respectivamente.



Figura 4.17. Seis firmas de una misma persona

Dado que una característica que identifique a una firma debe ser invariante al tamaño, se consideró el uso del ratio alto/ancho, que a diferencia de M. Taylan y L. Canan en [24], este será aplicado a toda la firma, al cual denominaremos ratio de dimensión, el mismo que se denota de la siguiente manera:

$$\omega = \frac{a}{b} \text{ donde } \begin{cases} a = \text{alto de la firma} \\ b = \text{ancho de la firma} \end{cases} \quad (1)$$

La tabla 4.2 ilustra los valores de dicho ratio para las 6 firmas de la Figura 4.17, incluyendo la desviación estándar (σ).

Tabla 4.2. Dimensiones de las firmas 4.16A y 4.16B.

Firma	Alto (a)	Ancho (b)	ω
A	3.38	6.47	0.522
B	2.80	5.79	0.484
C	2.74	4.83	0.567
D	2.77	5.87	0.472
E	3.84	7.27	0.528
F	2.96	6.38	0.464
σ	0.402	0.746	0.036

Obsérvese que la desviación estándar σ del ratio ω es menor que a y b , por lo que se concluye que los ratios ω de los rectángulos asociados a firmas diferentes para una misma persona son muy similares.

Este concepto se puede generalizar para determinar una nueva característica invariante al tamaño de todas las firmas de un mismo individuo, denominada ratio de dimensión promedio, el cual se define de la siguiente manera:

Sea $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ los ratios de dimensión de los menores rectángulos de n firmas de un individuo I , el ratio de dimensión promedio de las firmas del individuo I , se expresa como:

$$\bar{\omega} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \omega_i \quad (2)$$

Esta característica es de bajo costo computacional y representa poca variación, sin embargo, solo evalúa las dimensiones de la firma, es decir su estructura, por lo que se

hace necesario complementar la evaluación, dado que pueden existir firmas totalmente diferentes con el mismo alto/ancho, como se puede apreciar en la figura 4.18.

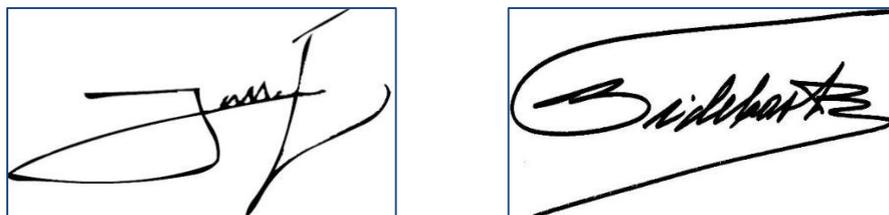


Figura 4.18. Firmas diferentes sobre rectángulos con el mismo alto/ancho

En ese sentido, se concluye que firmas diferentes podrían tener el mismo alto/ancho, pero si una firma presenta alto/ancho muy diferente a la de otra firma, se puede afirmar que son firmas de personas diferentes.

Para complementar la evaluación de la originalidad de la firma, se propone el uso de la característica descrita en el acápite siguiente.

4.4.2 Característica basada en la masa.

Obsérvese la figura 4.19A y 4.19B, las cuales muestran firmas de diferentes autores con el mismo alto y ancho; utilizando la técnica del cotejo visual y considerando únicamente los trazos de las firmas, se puede afirmar que ambas pertenecen a diferentes autores ya que la figura 4.19A presenta mayor número de trazos que la figura 4.19B.



Figura 4.19. Firmas diferentes sobre rectángulos con el mismo alto/ancho

El trazo de una imagen digitalizada, está conformado por un conjunto de píxeles. El total de trazos de una firma estaría conformado por el número total de píxeles de la misma. A este número total de píxeles de la firma se le denomina masa y es considerada como una característica de la firma [29].

Sin embargo, la masa de una firma varía cuando esta se escribe en tamaños diferentes, reduciendo su significancia como una característica válida para identificar firmas falsas, dado que al variar el tamaño del menor rectángulo que contenga a una firma, el número de pixeles disminuye o aumenta si la firma es realizada sobre un rectángulo de menor o mayor tamaño respectivamente.



Figura 4.20. A) Rectángulo de tamaño 4x9, con 36 pixeles. B) Rectángulo de tamaño 2x3, con 6 pixeles

Como se puede apreciar en la figura 4.20. Al reducir el tamaño del rectángulo de 4x9 a 2x3, el número de pixeles se reduce de 36 a 6. De aquí se puede observar que la tasa de variación del número de pixeles de la Figura 4.20B respecto a la figura 4.20A está dado por $\Delta = \frac{2 \times 3}{4 \times 9} = 0.167$, el cual permite determinar la equivalencia de números de pixeles entre imágenes de dos dimensiones para ambos rectángulos. No obstante, esta tasa de variación es útil para imágenes de dos dimensiones no siendo adecuado para firmas, cuya dimensión en general es una, dado que son líneas. Por esta razón se considera como tasa de variación para firmas esqueletizadas: $\tilde{\Delta} = \sqrt{\Delta}$.

Utilizando ese concepto, para corregir el problema de la variación de la masa influenciada por el tamaño de la firma, se ha determinado una característica basada en la masa que sea poco sensible a la variación del tamaño del rectángulo mínimo que contenga a la firma, a la cual la denominamos masa relativa y denotaremos por \hat{m} .

Sea m_i la masa de una firma f_i esqueletizada, y $p_1^i \times p_2^i$ el tamaño del menor rectángulo que lo contenga. Entonces la masa relativa \hat{m}_i para f_i esqueletizada, respecto de un rectángulo de tamaño $\hat{p}_1 \times \hat{p}_2$ es dada por:

$$\hat{m}_i = \sqrt{\frac{\hat{p}_1^i \times \hat{p}_2^i}{p_1^i \times p_2^i}} m_i \quad (3)$$

Considérese la figura 4.21 para determinar la masa relativa de la firma 4.21A respecto al rectángulo de la firma 4.21B.



Figura 4.21. A). Figura en un rectángulo de 4×9 . B). Figura A en un rectángulo de 2×3

Se observa que la masa de la figura 4.21 en A es 15, y en B es 5. Al aplicar la ecuación dada en (3), obtenemos: $\hat{m}_{A(2,3)} = \sqrt{\frac{2 \times 3}{4 \times 9}} 15 = 6.12$, valor que es más próximo a la masa de la firma B.

Este concepto de masa relativa se puede generalizar para determinar una nueva característica basada en la masa, invariante al tamaño de todas las firmas de un individuo, denominada masa relativa promedio, el cual se define de la siguiente manera:

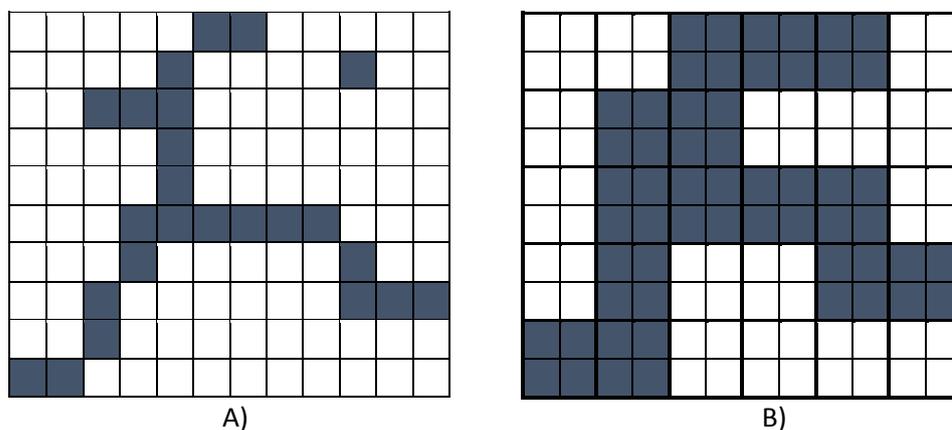
Sea m_1, m_2, \dots, m_n y $a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, \dots, a_n \times b_n$ las masas relativas y los tamaños de los menores rectángulos respectivamente de n firmas esqueletizadas de un individuo I , la masa relativa promedio de las firmas del individuo I , se expresa como:

$$\hat{m}_I = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{m}_{i(\bar{a}, \bar{b})} \quad (4)$$

Donde: $\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$ y $\bar{b} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i$

Es decir la masa relativa promedio de un individuo I denotado por \hat{m}_I , es el promedio de las masas relativas de las firmas de I respecto al rectángulo de tamaño dado por el promedio de los tamaños los menores rectángulos que contienen a las firmas.

Considérese la figura 4.22 para calcular la masa relativa promedio.



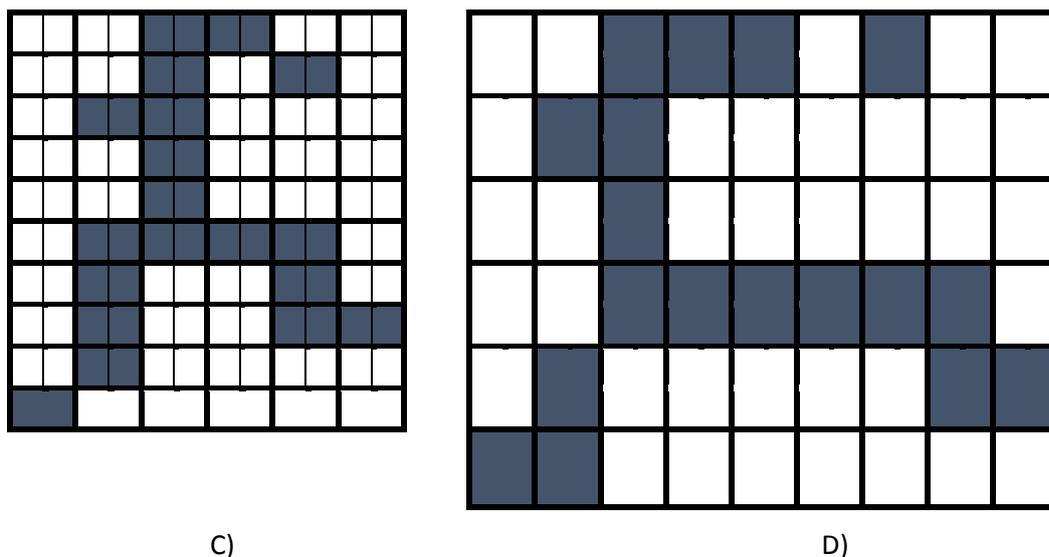


Figura 4.22. A) Figura en un rectángulo de 10x12. B) Figura A en un rectángulo de 5x6. C) Figura A en un rectángulo 10x6. D) Figura A en un rectángulo 6x9.

El promedio de los tamaños de los menores rectángulos está dado por $\bar{a}\bar{b} = 7.75 \times 8.25$, donde $\bar{a} = (10 + 5 + 10 + 6)/4$ y $\bar{b} = (12 + 6 + 6 + 9)/4$.

Aplicando la formula descrita en (3) se obtienen las siguientes masas relativas:

$$\hat{m}_{A(7.75,8.25)} = \sqrt[2]{\frac{7.75 \times 8.25}{10 \times 12}} 24 = 17.518$$

$$\hat{m}_{B(7.75,8.25)} = \sqrt[2]{\frac{7.75 \times 8.25}{5 \times 6}} 14 = 20.438$$

$$\hat{m}_{C(7.75,8.25)} = \sqrt[2]{\frac{7.75 \times 8.25}{10 \times 6}} 19 = 19.613$$

$$\hat{m}_{D(7.75,8.25)} = \sqrt[2]{\frac{7.75 \times 8.25}{6 \times 9}} 18 = 19.586$$

Y la masa relativa promedio: $\hat{m}_I = \frac{1}{4}(17.518 + 20.438 + 19.613 + 19.586) = 19.289$.

La tabla 4.3 muestra las masas y masas relativas de las firmas de la figura 4.22. Se observa que la desviación estándar de la masa relativa respecto a la masa es 3 veces menor; es decir la masa relativa presenta menos variación que la masa, para firmas de un mismo firmante.

Tabla 4.3. Masas y masas relativas para las firmas de la figura 4.22.

	A	B	C	D	μ	σ
m	24	14	19	18	18.750	3.562
\hat{m}	17.518	20.438	19.613	19.586	19.289	1.078

El uso de las masas relativas de diferentes firmas de un mismo escritor respecto al rectángulo de tamaño promedio que las contiene, resulta ser un atributo casi invariante al tamaño y de bajo costo computacional, sin embargo, solo evalúa las dimensiones de los trazos, por lo que se hace necesario complementar la evaluación, dado que pueden existir firmas totalmente diferentes con la misma masa relativa, como se puede apreciar en la figura 4.23.

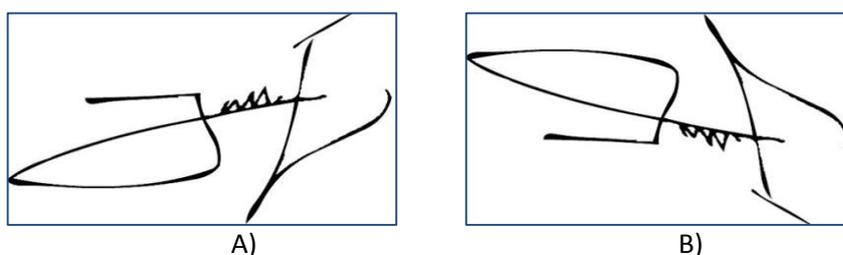


Figura 4.23. A). Firma de un escritor. B). Firma A volteada verticalmente.

En ese sentido, se concluye que firmas diferentes podrían tener la misma masa relativa, pero si una firma presenta una masa relativa muy diferente a la de otra firma, se puede afirmar que son firmas de personas diferentes.

Para complementar la evaluación de la originalidad de la firma, se propone el uso de la característica presentada en [16] descrita en el acápite siguiente.

4.4.3 Características basadas en el centro de masa.

El centro de masa de una firma es considerada como una característica de la firma, sin embargo su aplicación a toda la firma no es una característica suficiente para detectar una firma falsa, puesto que pueden existir firmas diferentes con el mismo centro de masa, tal como se muestra en la figura 4.24.



Figura 4.24. Firmas diferentes con el mismo centro de masa.

Para superar esta dificultad, en [16] se construye un algoritmo de extracción de puntos característicos basado en el centro de masa, el cual para el presente estudio, fue adaptado a fin de obtener el vector de características de la firma. El algoritmo propuesto, al cual se le denominará Algoritmo de Puntos Característicos (APC) es el siguiente:

Algoritmo APC:

Considere “ P ” un parámetro del algoritmo, el cual determina la profundidad de subdivisiones a realizarse sobre la imagen.

- **Paso 1:** Calcular el centro de masa de la imagen de la firma. Definir $K=0$;
Si $P=K$, saltar al Paso 4.
- **Paso 2:** Calculando centro de masa de segmentos horizontales.
 - 2.1 Trazar una línea horizontal pasando por centro de masa, dividiendo la imagen en 2 sub-imágenes.
 - 2.2 Calcular el centro de masa de cada sub-imagen.
 - 2.3 Incrementar K en 1. Si $P=K$ saltar al Paso 4.
- **Paso 3:** Calculando centro de masa de segmentos verticales.
 - 3.1 Trazar líneas verticales pasando por cada centro de masa calculado anteriormente, dividiendo cada sub-imagen en 2 nuevas imágenes.
 - 3.2 Calcular el centro de masa de cada nueva imagen obtenida.
 - 3.3 Incrementar K en 1. Si $P=K$ saltar al Paso 4, sino repetir desde Paso 2.
- **Paso 4:** Considerar los centros de masa obtenidos en los pasos previos como un conjunto de puntos característicos.

La figura 4.25 ilustra el algoritmo descrito para $P=2$; donde A corresponde al Paso 1, B al Paso 2.1, C al Paso 2.2, D al Paso 3.1, E corresponde al Paso 3.2 y finalmente el Paso 4 genera el conjunto de punto característicos conformado por los centros de masa: $CPC = \{1,2,3,4,5,6,7\}$.

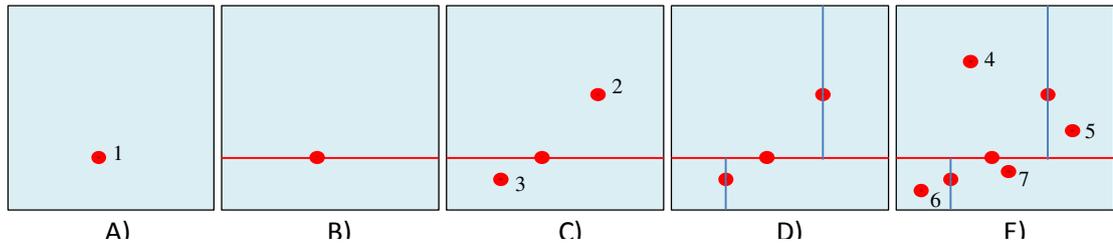


Figura 4.25. Cálculo de puntos característicos de una firma.

Considérese las siguientes notaciones para el algoritmo APC:

$F_{(m \times n)}$: Firma binaria de tamaño $m \times n$ de un individuo.

p : Profundidad del algoritmo.

CM_F : Centro de masa de $F_{(m \times n)}$, dado por el par ordenado (CM_X, CM_Y)

CM_X :
$$\frac{\sum_{i=0}^{i=m} \sum_{j=0}^{j=n} j \times I(j,i)}{\sum_{i=0}^{i=m} \sum_{j=0}^{j=n} I(j,i)}$$
, Donde $I(j, i) = \begin{cases} 0, & \text{pixel blanco} \\ 1, & \text{pixel negro} \end{cases}$

CM_Y :
$$\frac{\sum_{i=0}^{i=n} \sum_{j=0}^{j=m} j \times I(j,i)}{\sum_{i=0}^{i=m} \sum_{j=0}^{j=n} I(j,i)}$$
, Donde $I(j, i) = \begin{cases} 0, & \text{pixel blanco} \\ 1, & \text{pixel negro} \end{cases}$

N_{PC} : Número total de puntos característicos: $\sum_{k=0}^{k=p} (2^k)$

CPC: Conjunto de puntos característicos $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_{N_{PC}}, y_{N_{PC}})\}$, donde cada par ordenado corresponde a los CM_F obtenido por APC.

4.5 Componente: Clasificación y verificación.

La presente tesis, propone el desarrollo de un metapredicador como componente de clasificación y verificación. Dicho metapredicador está compuesto por dos módulos, tal como se ilustra en la figura 4.26, los cuales son:

- a) Módulo de descarte.
- b) Módulo de predicción.

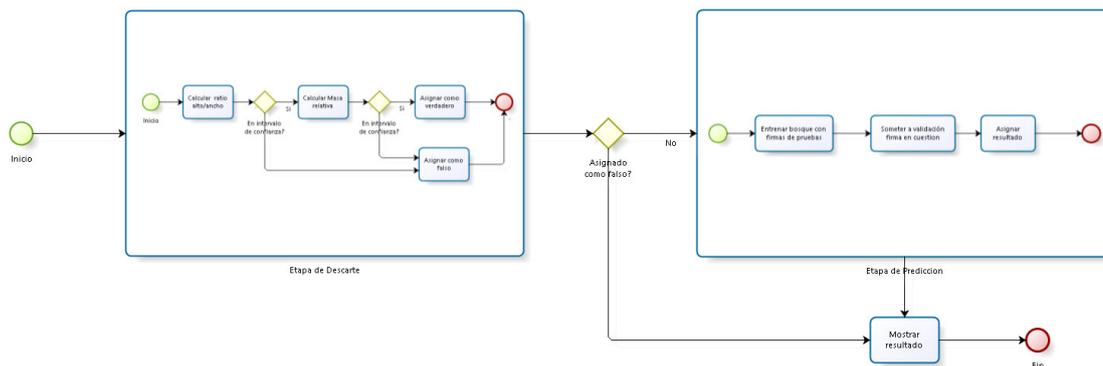


Figura 4.26. Modelo de clasificación propuesto (Metapredictor).

4.5.1 Módulo de descarte

Tal como su nombre lo indica, este módulo se encarga de realizar el descarte de la firma en cuestión si esta es diferente a las firmas de entrenamiento, teniendo en consideración el ratio alto/ancho y la masa relativa. El procedimiento que se realiza en el módulo de descarte se ilustra en la figura 4.27.

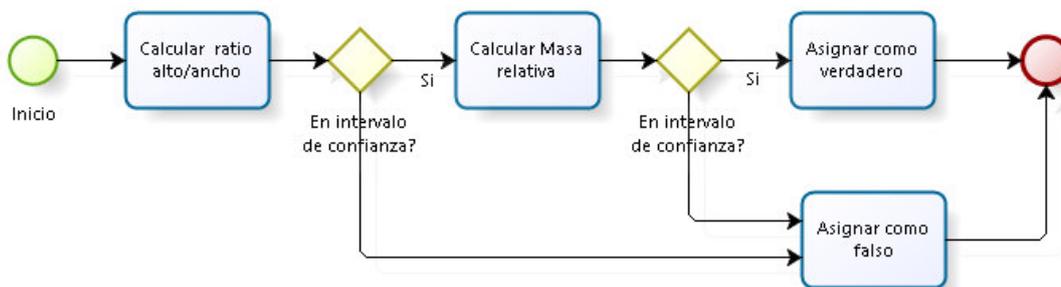


Figura 4.27. Módulo de descarte del modelo propuesto.

El procedimiento ilustrado en la figura 4.27, muestra dos criterios para calificar una firma como falsa, los cuales describiremos a continuación.

4.5.1.1 Criterio para detectar una firma falsa usando el ratio de dimensión.

Considerando que en el acápite 4.4.1 se determinó que los ratios de dimensión (ω) de los rectángulos asociados a firmas diferentes para una misma persona son muy similares, se requiere establecer un intervalo de confianza para dicho ratio, que permita determinar si un ratio $\tilde{\omega}$ en observación, pertenece a una firma falsa.

Dado que $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ son variables aleatorias con probabilidad desconocida, correspondientes a los ratios de dimensión de los menores rectángulos de n firmas f

de un individuo I , y que estas se encuentran concentradas en torno a la media $\bar{\omega}$ con una desviación estándar σ , bajo estas condiciones es posible aplicar la desigualdad de Chebychev dado por:

$$P(|\omega - \bar{\omega}| < k\sigma) \geq 1 - 1/k^2 \quad \forall \omega \text{ Correspondiente a una firma de } I \quad (5)$$

O bien utilizando su complemento:

$$P(|\omega - \bar{\omega}| \geq k\sigma) \leq 1/k^2 \quad \forall \omega \text{ Correspondiente a una firma de } I \quad (6)$$

De la hipótesis, si $\tilde{\omega}$ es el valor del ratio de dimensión para la firma \tilde{f} se verifica que:

Criterio de evaluación:

Si $\tilde{\omega} \notin (\bar{\omega} - k\sigma, \bar{\omega} + k\sigma) \Rightarrow \tilde{f}$ es una firma falsa para I , con probabilidad de al menos $1 - 1/k^2$ (7)

Considérese la figura 4.28 para ilustrar el criterio de evaluación, con relación a las firmas de la figura 4.17.



Figura 4.28. Firma de tamaño de 3.11cm x 5.23cm

Dado que la figura 4.28 corresponde a una firma es cuestión, su ratio de dimensión es expresado por $\tilde{\omega}$. Aplicando la fórmula descrita en (1) para la figura 4.28 se obtiene $\tilde{\omega} = 0.594$. Asimismo, aplicando la fórmula descrita en (2) para calcular el ratio de dimensión promedio para las firmas de la figura 4.17, se obtiene $\bar{\omega} = 0.506$, con $\sigma = 0.036$.

Al aplicar el criterio de evaluación (7) a un 75% de confianza, esto es $1 - \frac{1}{k^2} = 0.75$, donde $k = 2$, se obtiene el siguiente intervalo de confianza:

$$(0.506 - 2(0.036), 0.506 + 2(0.036)) = (0.434, 0.578)$$

Dado que $\tilde{\omega} = 0.594 \notin (0.434, 0.578)$, entonces al 75% o más de probabilidad, se puede afirmar que la firma de la figura 4.28 no corresponde a las firmas de la figura 4.17.

Como se comentó en el componente anterior, firmas diferentes podrían tener el mismo ratio de dimensión; para esos casos, en los que no se pueda detectar la firma como falsa con este primer método, se aplicará el siguiente descarte.

Al igual que el procedimiento anterior, usaremos la desigualdad de Chebychev para la obtención de un intervalo de confianza para una firma, teniendo en consideración que no se conoce la distribución para las masas relativas asociadas a una firma.

4.5.1.2 Criterio para detectar una firma falsa usando la masa relativa

Considerando que en el acápite 4.4.2 se determinó que las masas relativas \hat{m}_i de diferentes firmas de un mismo escritor respecto al rectángulo de tamaño promedio que las contiene, resulta ser un atributo casi invariante, se usará la desigualdad de Chebychev para la obtención de un intervalo de confianza para una firma, que permita determinar si una firma en cuestión es falsa.

Sea \hat{m}_I y σ la masa relativa promedio y la desviación estándar respectivamente de las firmas de un individuo I , cuyo rectángulo promedio que las envuelve a las firmas tiene tamaño (\bar{a}, \bar{b}) , y sea A la firma a ser verificada.

Si $\hat{m}_{A(\bar{a}, \bar{b})} \notin (\hat{m}_I - k\sigma, \hat{m}_I + k\sigma) \Rightarrow A$ es una firma falsa para I , con probabilidad de al menos $1 - 1/k^2$ (8)

Considérese la firma de la figura 4.29 (denominada A) para ilustrar el criterio de evaluación, con relación a las firmas de la figura 4.22.

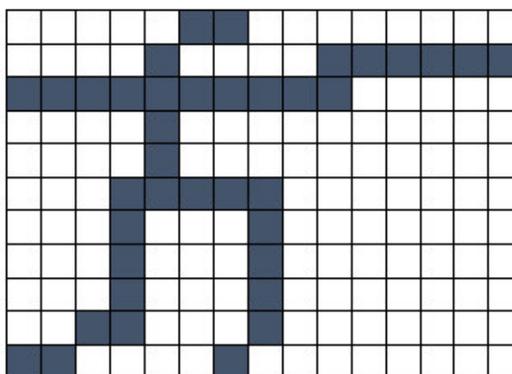


Figura 4.29. Figura en un rectángulo de 11x15, con 38 pixeles

Aplicando la fórmula descrita en (3) para la figura A respecto al rectángulo promedio de las imágenes de la figura 4.22, se obtiene:

$$\hat{m}_{A(7.75,8.25)} = \sqrt[2]{\frac{7.75 \times 8.25}{11 \times 15}} 38 = 23.654$$

Y el intervalo de confianza a un 75%, esto es $1 - \frac{1}{k^2} = 0.75$, donde $k = 2$, considerando σ para \hat{m}_I descrito en la tabla 4.3, es dado por:

$$(\hat{m}_I - 2\sigma, \hat{m}_I + 2\sigma) = (19.289 - 2(1.078), 19.289 + 2(1.078)) = (17.133, 21.445)$$

Dado que $\hat{m}_{A(7.75,8.25)} \notin (17.133, 21.445)$, entonces al 75% o más de probabilidad, se puede afirmar que la firma de la figura 4.29 no corresponde a las firmas de la figura 4.22.

De igual forma, como se comentó en el componente anterior, firmas diferentes podrían tener el mismo ratio de dimensión y la misma masa relativa; para esos casos, en los que no se pueda detectar la firma como falsa con este segundo método, la decisión final será dada en el siguiente módulo (predicción).

4.5.2 Módulo de predicción.

Este módulo se encarga de proporcionar el resultado final del modelo, haciendo uso de algoritmos de aprendizaje supervisado. Estos algoritmos generan una función que establece una correspondencia entre las entradas y las salidas deseadas del sistema.

Una de sus aplicaciones es el problema de clasificación, donde el algoritmo trata de etiquetar (clasificar) una serie de vectores, utilizando una base de conocimiento formada por vectores etiquetados previamente.

La eficiencia de los algoritmos de aprendizaje supervisado está influenciada por los atributos seleccionados para representar a un objeto en el vector de características y por el tamaño de la base de conocimiento (datos de entrenamiento).

Dado que para el presente estudio la cantidad de datos de entrenamiento es limitado y teniendo en consideración que el Algoritmo APC descrito en el acápite 4.4.3, permite obtener vectores de características formado por múltiples variables, se propone la aplicación del algoritmo de clasificación “Random Forest” o Bosques aleatorios.

El procedimiento que se realiza en el módulo de predicción se ilustra en la figura 4.30.

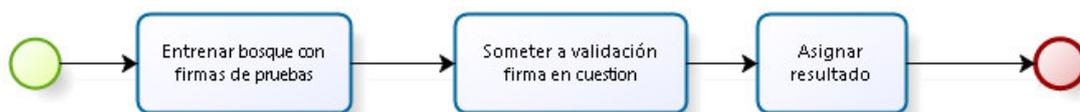


Figura 4.30. Módulo de predicción del modelo propuesto.

El flujo ilustrado en la figura 4.30, muestra dos procesos claves: a) El entrenamiento y b) La validación.

4.5.2.1 Entrenamiento

Sean V_1, V_2, \dots, V_n los vectores de características (calculados en el acápite 4.4.3) de las firmas genuinas de entrenamiento, asociados a una firma f y $\hat{V}_1, \hat{V}_2, \dots, \hat{V}_m$ los vectores de características asociados a las firmas $\hat{f}_1, \hat{f}_2, \dots, \hat{f}_m$ de m escritores aleatorios diferentes de f , donde f y $\hat{f}_1, \hat{f}_2, \dots, \hat{f}_m$ corresponde a firmas estampadas en una lista de adherentes y $m \leq 9$, usaremos dichos vectores para construir una matriz de vectores que servirá de entrada para el entrenamiento del bosque.

Previo a la construcción de la matriz de vectores, a cada vector de características se le agregará un nuevo elemento, dado por la variable categórica “Resultado”, cuyo valor será “Verdadero” si corresponde a las firmas de entrenamiento asociados a una firma f o “Falso” si está asociado a las firmas $\hat{f}_1, \hat{f}_2, \dots, \hat{f}_m$. Con ello, la matriz de vectores estará dada por la unión de los vectores calculados.

La figura 4.31 muestra una matriz de vectores de características para una firma f , donde $n = 3, m = 4$ y $P = 2$, siendo P el parámetro profundidad del algoritmo dado en el acápite 4.4.3.

v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12	v13	v14	RESULTADO
501.0	230.0	558.0	127.0	446.0	100.0	370.0	151.0	172.0	105.0	313.0	117.0	130.0	83.0	FALSO
409.0	221.0	503.0	145.0	324.0	67.0	356.0	182.0	124.0	115.0	210.0	84.0	128.0	48.0	VERDADERO
449.0	179.0	480.0	125.0	414.0	61.0	326.0	118.0	183.0	133.0	273.0	76.0	178.0	41.0	FALSO
389.0	235.0	474.0	159.0	298.0	81.0	276.0	191.0	161.0	132.0	170.0	95.0	171.0	63.0	VERDADERO
407.0	255.0	466.0	172.0	359.0	68.0	261.0	167.0	198.0	176.0	190.0	81.0	198.0	53.0	FALSO
417.0	227.0	502.0	156.0	334.0	69.0	342.0	191.0	144.0	124.0	204.0	90.0	134.0	47.0	VERDADERO
464.0	263.0	562.0	176.0	374.0	80.0	370.0	195.0	227.0	154.0	220.0	89.0	190.0	69.0	FALSO

Figura 4.31. Matriz de Vectores de características.

Dicha matriz, será la entrada para el entrenamiento supervisado del bosque aleatorio, cuya configuración en el software R es:

- Número de árboles: 15.

➤ Constructor de modelos: randomForrest.

En la figura 4.32 se muestra el código en Java, utilizado para realizar el entrenamiento del bosque.

```

connection.eval("crs$dataset <- read.csv(\"file:///D:/firmas/autenticas/\"+numPlanillon+\"/\"+i+\"/preprocesada/matrixE.csv\");
REXP crs$noobs = connection.eval("crs$noobs <- nrow(crs$dataset)");
REXP crs$sample = connection.eval("crs$sample <- crs$train <- sample(nrow(crs$dataset), 1*crs$noobs)");
REXP crs$validate = connection.eval("crs$validate <- NULL");
REXP crs$test = connection.eval("crs$test <- NULL");
System.out.println("Entrenando con " + crs$noobs.asInteger()+ " firmas");

REXP crs$input= connection.eval("crs$input <- c(\"v1\", \"v2\", \"v3\", \"v4\", \"
+ \"v5\", \"v6\", \"v7\", \"v8\", \"
+ \"v9\", \"v10\", \"v11\", \"v12\", \"
+ \"v13\", \"v14\")");
REXP crs$numeric = connection.eval("crs$numeric <- c(\"v1\", \"v2\", \"v3\", \"v4\", \"
+ \"v5\", \"v6\", \"v7\", \"v8\", \"
+ \"v9\", \"v10\", \"v11\", \"v12\", \"
+ \"v13\", \"v14\")");
REXP crs$categoric = connection.eval("crs$categoric <- NULL");
REXP crs$target = connection.eval("crs$target <- \"RESULTADO\")");
REXP crs$risk = connection.eval("crs$risk <- NULL");
REXP crs$ident = connection.eval("crs$ident <- NULL");
REXP crs$ignore = connection.eval("crs$ignore <- NULL");
REXP crs$weights = connection.eval("crs$weights <- NULL");
/*LEER ARCHIVO A EVALUAR*/
connection.eval("crs$testset <- read.csv(\"D:/firmas/autenticas/\"+numPlanillon+\"/\"+i+\"/planillon/matrixE.csv\", na.stri
REXP crs$pr = null;
connection.eval("library(randomForest, quietly=TRUE)");
connection.eval("set.seed(" + crv$seed + ")");
REXP crs$rf = connection.eval("crs$rf <- randomForest::randomForest(RESULTADO ~ ., data=crs$dataset[crs$sample,c(crs$inp

```

Figura 4.32. Codificación en Java para entrenamiento del bosque.

4.5.2.2 Validación

Sea \tilde{V} el vector de características de las firmas en cuestión \tilde{f} , a dicho vector se le agregará un nuevo elemento, dado por la variable categórica “Resultado”, cuyo valor se desea determinar.

La figura 4.33 muestra el resultado del procedimiento descrito para una firma \tilde{f} . Considere que los parámetros utilizados para generar el vector de características para la firma \tilde{f} , deben ser los mismos parámetros utilizados en el entrenamiento.

v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12	v13	v14	RESULTADO
461.0	232.0	504.0	139.0	421.0	84.0	293.0	176.0	173.0	110.0	265.0	98.0	196.0	67.0	

Figura 4.33. Vector de características de la firma en cuestión.

El vector de características mostrado en la figura 4.34 será sometido al modelo creado en el entrenamiento, el cual determinará si la firma es Verdadera o Falsa.

En la figura 4.34 se muestra el código en Java, utilizado para la predicción del bosque.

```

crs$pr= connection.eval("crs$pr <- predict(crs$rf, newdata=na.omit(crs$testset[,c(crs$input)]))");
connection.eval("sdata <- subset(crs$testset[,], select=c())");
/*Retorno de Respuesta de prediccion*/
connection.eval("cbind(sdata, crs$pr)");

//String[] names=crs$pr._attr().asList().at(0).asStrings();
String[] values = crs$pr.asStrings();
int w=0;
while (w < crs$pr.length()) {
    prediccion=values[w];
}

```

Figura 4.34. Codificación en Java para la predicción del bosque.

4.6 Componente: Resultados

El objetivo del presente componente es mostrar el resultado de la verificación realizada, es decir, indicar si la firma en cuestión es “Verdadera” o “Falsa”, tal como se muestra en la figura 5.13 del capítulo 5.

Capítulo 5: EL SISTEMA

En este capítulo se describe el sistema desarrollado, detallando la arquitectura del mismo y los módulos que comprende la aplicación.

5.1 Propuesta de automatización

Actualmente, el proceso de verificación de firma se realiza en dos etapas, la primera, denominada verificación automática, valida la correspondencia entre el número del DNI con el nombre de su titular; y la segunda, denominada verificación semiautomática, verifica la validez de las firmas [5]. La figura 5.1 ilustra el procedimiento descrito.

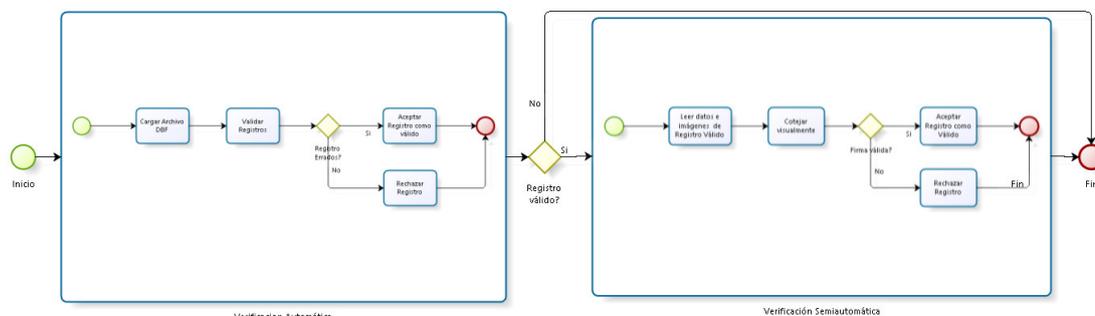


Figura 5.1. Proceso de verificación de firmas.

La propuesta de automatización se centra en el proceso de verificación semiautomática, para lo cual se han definido los siguientes requerimientos, ilustrados en la figura 5.2.

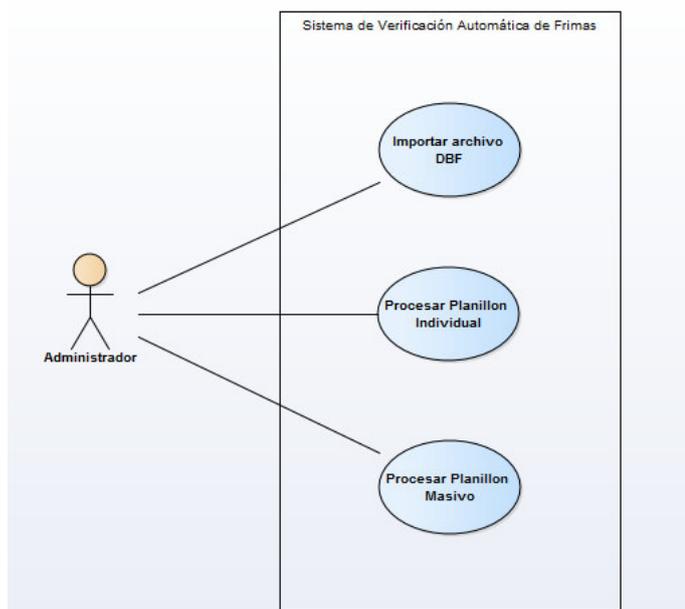


Figura 5.2. Diagrama de casos de uso del Sistema.

En consecuencia, el flujo del proceso de verificación automática de firmas se muestra en la figura 5.3.

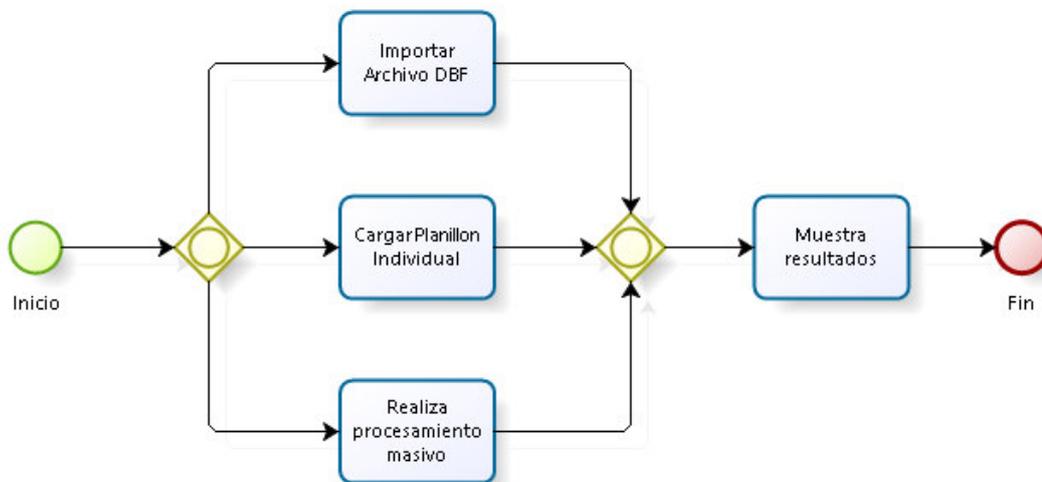


Figura 5.3. Propuesta de automatización.

En esta figura, se ilustran las funcionalidades principales del sistema:

- Importar Archivo DBF
- Procesamiento individual de planillones.
- Procesamiento masivo de planillones.

5.2 El Sistema.

5.2.1 Descripción del Sistema.

El sistema propuesto está conformado por tres módulos que realizan las funcionalidades descritas en el acápite anterior. Dicho sistema está integrado al software R, el cual entrena y valida el algoritmo de aprendizaje “Random Forest”, asimismo hace uso del Framework Fiji para el procesamiento de las imágenes. Para su correcto funcionamiento, requiere el uso de un servicio web que proporcione las firmas genuinas de entrenamiento de las personas asociadas a una firma en cuestión; para el experimento, se ha construido un banco de pruebas, descrito en el acápite 4.2.

El sistema, cuenta con un archivo de configuración denominado `procesamiento.properties`, a través del cual se establecen las rutas para el pre-procesamiento de las imágenes y las cantidades de firmas para el entrenamiento.

El esquema general del sistema se ilustra en la figura 5.4.

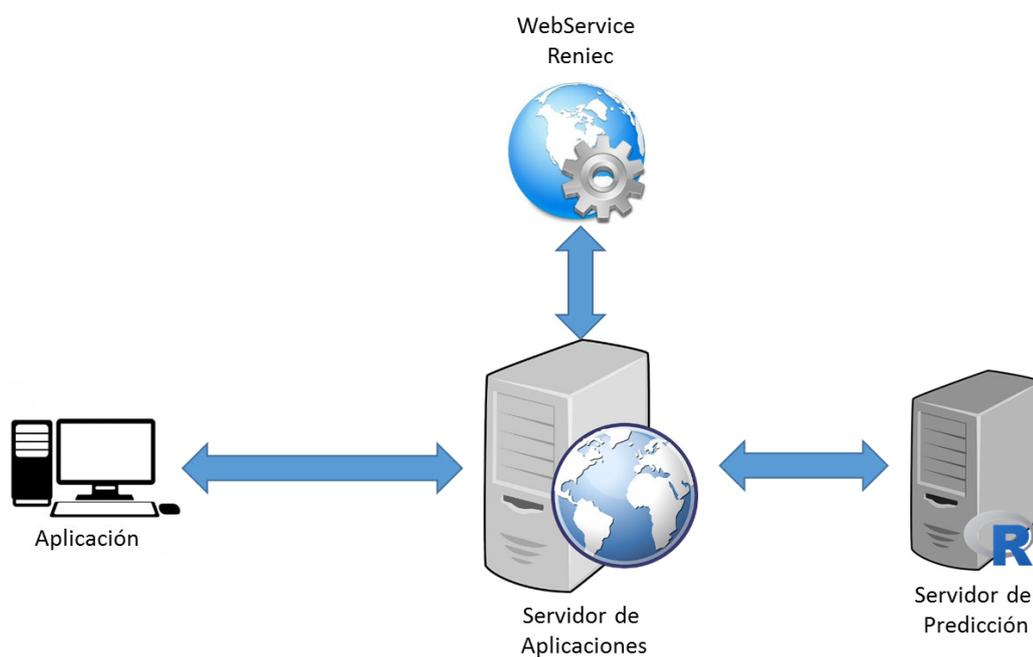


Figura 5.4. Esquema general del sistema propuesto.

5.2.2 Arquitectura del Sistema

5.2.2.1 Modelo de Despliegue

La disposición física de los artefactos software de la aplicación desarrollada se ilustran en la figura 5.5.

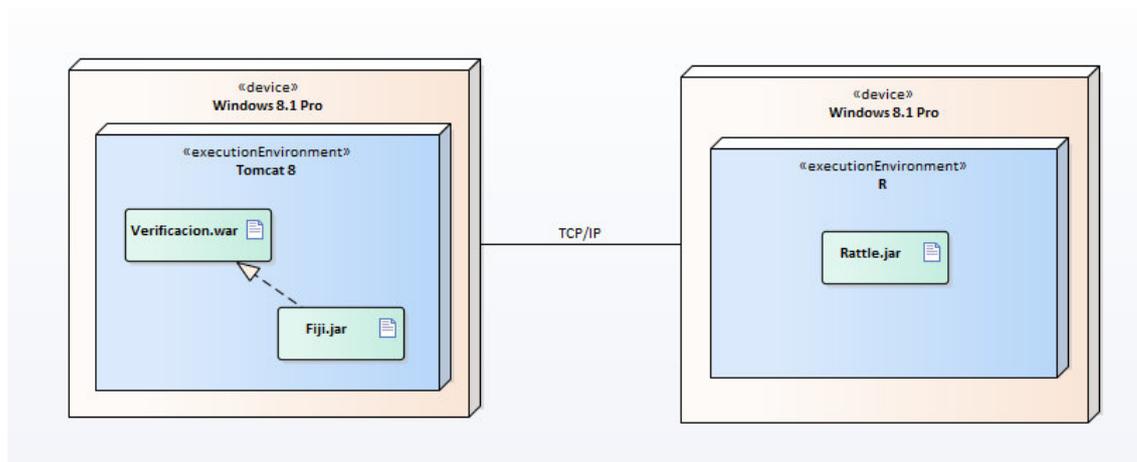


Figura 5.5. Diagrama de despliegue del sistema propuesto.

5.2.2.2 Modelo de Componentes

La división en componentes y las dependencias entre estos, del software desarrollado se ilustra en la figura 5.6.

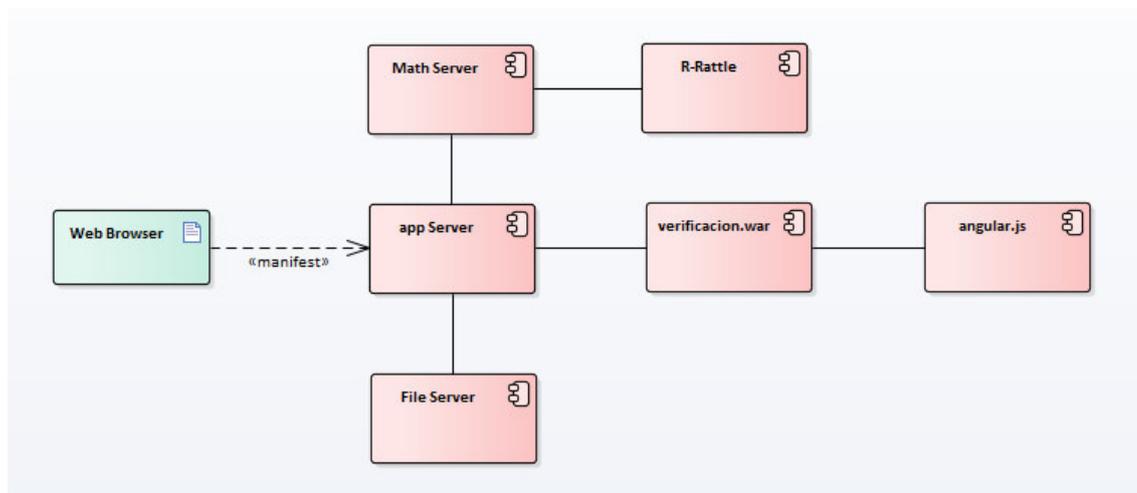


Figura 5.6. Diagrama de componentes del sistema propuesto.

5.2.3 Requerimientos del sistema.

5.2.3.1 Requerimientos de hardware

Los requerimientos mínimos de hardware utilizados para el desarrollo del software son los siguientes:

- PC
 - Procesador: Intel Corei7
 - Velocidad: 2.40GHz
 - Memoria: 8Gb de Memoria RAM
- Multifuncional
 - Cannon PIXMA MP240

5.2.3.2 Requerimientos de Software

Los requerimientos mínimos son los siguientes:

- Para el desarrollo del sistema
 - Sistema Operativo Windows 8.1.
 - JDK 1.8.
 - Apache tomcat 8.
 - IDE: Eclipse Luna
 - Frameworks: Fiji, IJ, jai, Joone, Spring, Maven, Rserve, AngularJs.
- Para el uso del sistema
 - Sistema Operativo Windows 8.1.
 - Navegador Chrome 54.x en adelante.

5.2.4 Módulos del sistema

La ventana principal del sistema se muestra en la figura 5.7, en la cual se señalan los principales módulos, cuyas funcionalidades se detallan en la tabla 5.1.



Figura 5.7. Ventana principal del sistema propuesto.

Tabla 5.1. Detalle de los módulos del sistema desarrollado.

Ítem	Módulo	Descripción
1	Importar archivo DBF	Este módulo permite realizar la carga del archivo DBF que contiene la información de los adherentes, creando los directorios requeridos por el sistema para realizar la verificación de firmas.
2	Procesamiento Individual	Este módulo permite realizar la verificación automática de las firmas contenidas en las listas de adherentes de las organizaciones políticas una a una.
3	Procesamiento Masivo	Este módulo permite realizar la verificación automática de las firmas contenidas en las listas de adherentes de las organizaciones políticas por bloques.

5.2.5 Importar Archivo DBF

Este módulo permite realizar la carga del archivo DBF que contiene la información de los adherentes, creando los directorios requeridos por el sistema para realizar la verificación de firmas. Para ello, deberá dar clic en el botón “Carga DBF”, señalado en la figura 5.8.



Figura 5.8. Interfaz del sistema que permite importar el archivo DBF.

Seguidamente, deberá ubicar y seleccionar el archivo DBF a través del siguiente cuadro de diálogo, tal como se ilustra en la figura 5.9.

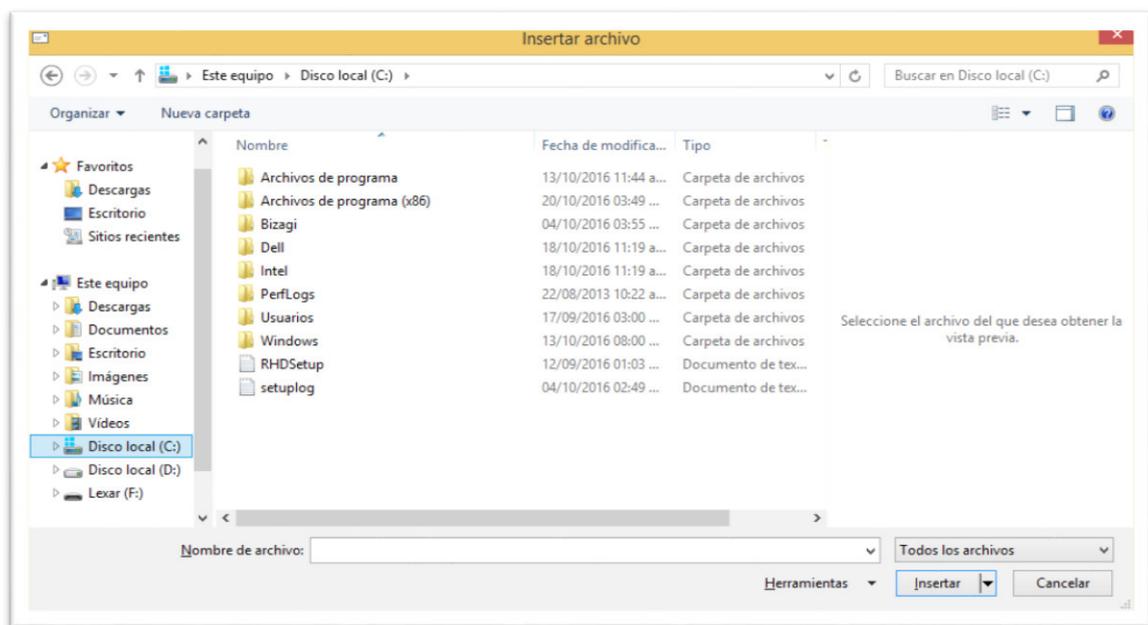


Figura 5.9. Cuadro de diálogo para importar archivo DBF.

Finalmente, la aplicación creará los directorios requeridos. Dichos directorios se crearán en la ubicación definida en el archivos de configuración del sistema. La estructura de los archivos creados se muestra en la figura 5.10.

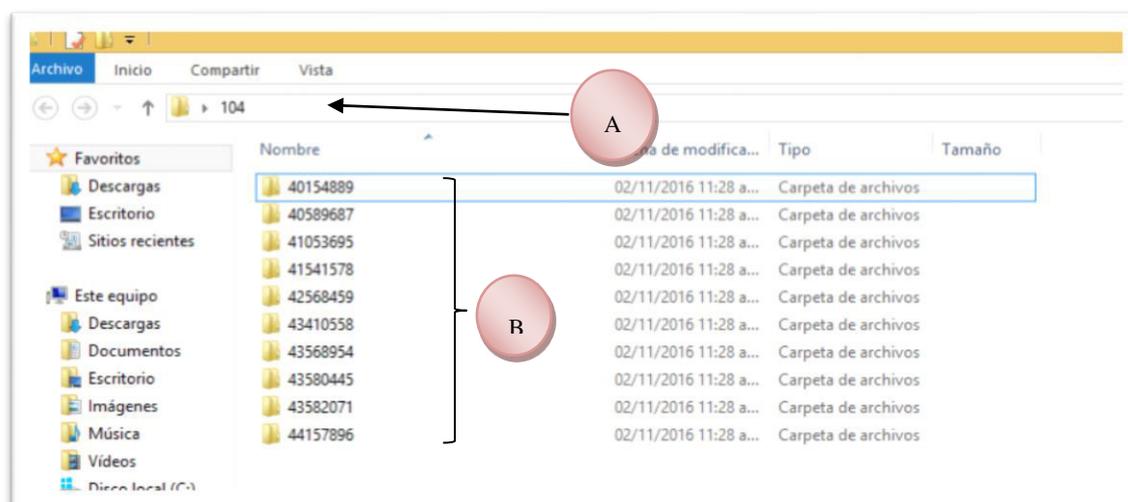


Figura 5.10. Estructura de carpetas creadas al importar el archivo DBF.

Donde:

- A. Corresponde al número de página de la lista de adherentes.
- B. Son los números de DNI que pertenecen a dicha página.

La estructura del archivo DBF se muestra en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Estructura de archivo DBF a importar.

NUM_PAG	NUM_ITE	NUM_ELE	APE_PAT	APE_MAT	NOM_ADE
79	1	43263006	SANCHEZ	ATERO	GILMER
79	2	46142814	SALINAS	ANTONIO	WULMA
79	3	40223317	BUSTOS	QUISPE	FREDY
79	4	43263007	PEREZ	GADEA	MANUEL
79	5	43172446	VILLANUEVA	SALINAS	DAIDANIA
79	6	43401487	RAFAEL	LOPEZ	NANCY
79	7	48641002	ASENCIOS	VARRA	AMILCAR
79	8	23098215	LOPEZ	QUISPE	FLORA
79	9	43711421	PRINCIPE	SEGURA	YUDI
79	10	23098551	CABANILLAS	LOPEZ	ANDRES
80	1	43116149	CARO	HUAYANAY	ALCAYO
80	2	44458734	HUAYANAY	SALINAS	SILA
80	3	33435020	CHINCHANO	ATERO	PEDRO
80	4	23098545	CRUZ	LOPEZ	SILVIO
80	5	23090675	VILLANUEVA	RODRIGUEZ	EMILIANO
80	6	70522276	SATURNO	RODRIGUEZ	ALICIA

5.2.6 Procesamiento Individual

Este módulo permite realizar la verificación automática de las firmas contenidas en las listas de adherentes de las organizaciones políticas una a una (lista completa).

Para acceder al módulo, se debe dar clic en el botón “Procesamiento individual” ubicado en la ventana principal del sistema. La imagen 5.11 ilustra lo señalado:



Figura 5.11. Opción de acceso al módulo de Procesamiento Individual.

Seguidamente, el sistema mostrará la ventana ilustrada en la figura 5.12.

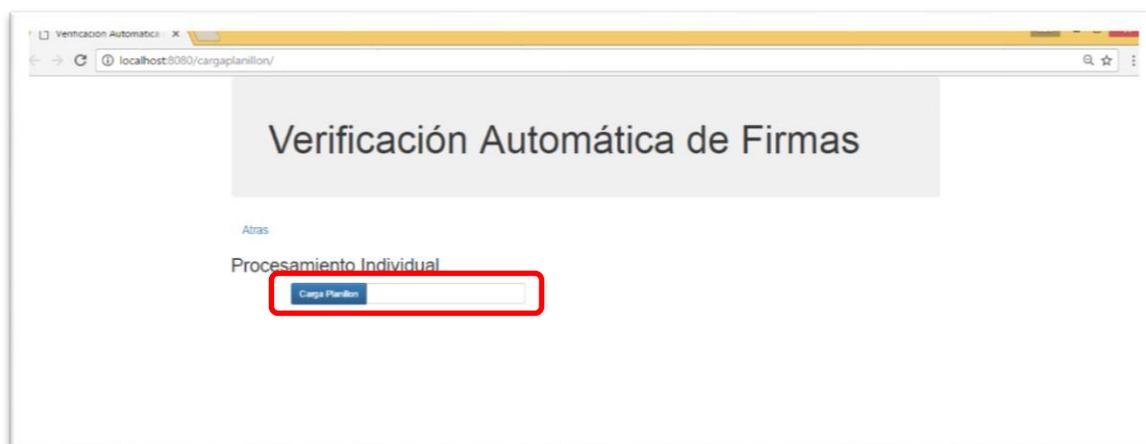


Figura 5.12. Interfaz de Procesamiento Individual.

En ella, deberá dar clic en el botón “Carga Planillón” para seleccionar la lista de adherentes que se desea verificar, tal como se muestra en la figura 5.13.

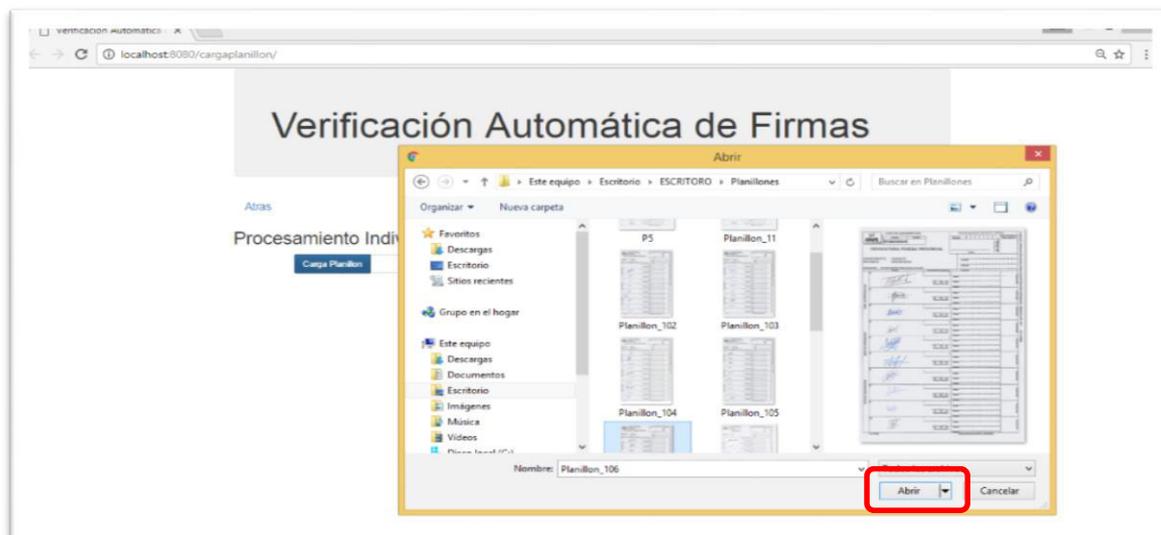


Figura 5.13. Cuadro de diálogo para seleccionar la lista de adherentes.

Seleccionada la lista de adherentes, se deberá dar clic en el botón abrir, seguidamente el sistema realizará la verificación de cada una de las firmas contenidas en dicha lista.

Los resultados de la verificación se mostrarán individualmente, tal como se muestra en la figura 5.14.



Figura 5.14. Interfaz que muestra el resultado de la verificación aplicado a una firma.

Donde:

- A. Firma ampliada contenida en la lista de adherentes.
- B. Botón para ver la evaluación de la firma anterior.
- C. Botón para ver la evaluación de la firma siguiente.
- D. Resultado de la evaluación.
- E. Firma reducida contenida en la lista de adherentes.
- F. Firma de entrenamiento preprocesada.

Para el correcto funcionamiento del sistema, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Las imágenes de las listas de adherentes deben ser digitalizadas en formato *.jpg, a una resolución de 5104x7016.
2. El nombre del archivo debe estar compuesto por el prefijo “Planillon_” y el nro de la página de la lista de adherentes: Ejemplo: Planillon_104, extraído de la figura 5.15.



Figura 5.15. Segmento de la lista de adherentes.

3. Para los casos en los que no se cuente con servicios web que retornen firmas de entrenamiento (requeridos por el software), se deberá agregar manualmente a cada directorio creado en el módulo anterior, las firmas de entrenamiento (mínimo tres firmas). La figura 5.16 muestra el contenido de cada directorio

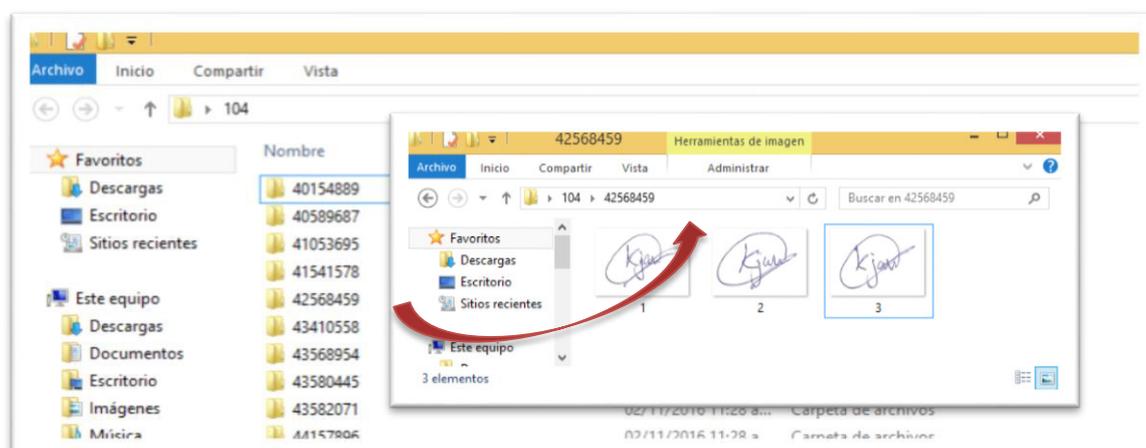


Figura 5.16. Interfaz que muestra el contenido de cada directorio.

5.2.7 Procesamiento Masivo

Este módulo permite realizar la verificación automática de las firmas contenidas en las listas de adherentes de las organizaciones políticas por bloques. Para acceder al módulo, se debe dar clic en el botón “Procesamiento masivo” ubicado en la ventana principal del sistema. La imagen 5.17 ilustra lo señalado:



Figura 5.17. Opción de acceso al módulo de Procesamiento Masivo.

Seguidamente, el sistema mostrará la ventana ilustrada en la figura 5.18



Figura 5.18. Interfaz de Procesamiento Masivo.

En ella, deberá dar clic en el botón “Procesar Planillones” para seleccionar las listas de adherentes que se desea verificar. En esta opción se permite seleccionar varias listas de adherentes. Seguidamente, el sistema realiza las evaluaciones y muestra los resultados en un archivo Excel.

Capítulo 6: VALIDACIÓN

6.1 Hardware y software utilizado para las pruebas.

Para la realización de las pruebas se utilizaron dos computadoras, una para el despliegue de los componentes de la aplicación y el software de predicción y la otra usada a modo cliente, asimismo, se trabajó con un conjunto de datos de pruebas, prescindiendo del servicio web que proporciona las firmas de entrenamiento. La figura 6.1 ilustra lo antes señalado.

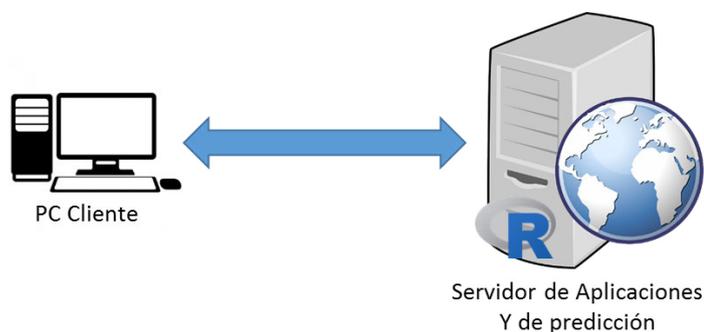


Figura 6.1. Esquema general del despliegue del sistema para validación.

Las características de las computadoras requeridas se describen a continuación:

Del servidor de aplicaciones:

- Hardware.
 - Procesador: Intel Corei7
 - Velocidad: 2.40GHz
 - Memoria: 8Gb de Memoria RAM
- Software.
 - Sistema Operativo Windows 8.1.
 - JDK 1.8.
 - Apache Tomcat 8.

Del Cliente:

- Hardware
 - ✓ Computadora:
 - Procesador: Intel Corei7
 - Velocidad: 2.40GHz
 - Memoria: 8Gb de Memoria RAM

- ✓ Scanner de mediana producción
 - Alimentador Automático y Manual, Dúplex, Color.
 - Resolución desde 150 a 600 dpi (hasta 400 dpi con CGA).
 - Velocidad de 130 ppm (200, 300 dpi)
 - Capacidad del alimentador de 500 documentos
- Software
 - Sistema Operativo Windows 8.1.
 - Navegador Chrome 54.x en adelante.

6.2 Configuración del Sistema.

Los parámetros del archivo de configuración del sistema se muestran a continuación:

- directorio.carga.dbf= D:/firmas/dbfs/
- directorio.app.firmas.procesadas=images/firmas/
- cantidad.firmas.falsas.entrenamiento=4
- cantidad.personas.planillon=10
- regular.expression.nombre.planillon=^Planillon_[0-9]+\$.jpg
- regular.expression.nombre.firmafalsa=^Firma[0-9]+\$.png
- directorio.procesar.firmas.planillon=D:/firmas/autenticas/
- directorio.carga.planillones=D:/cargas/

La configuración del módulo de descarte es el siguiente:

- $1 - 1/k^2 = 0.97$

La configuración del módulo de predicción es el siguiente:

- $p = 6$
- Número de árboles: 15.
- Constructor de modelos: randomForrest.

6.3 Instancias de Prueba.

Se contó con una base de datos de 90 firmas, correspondientes a 30 firmantes, es decir, para cada firmante se contó con 3 firmas auténticas. Las firmas fueron extraídas de personas residentes en Lima, Chimbote y Cuzco, cuya edad fluctúa entre los 20 y 45 años.

Asimismo, se contó con 9 listas de adherentes (planillones de 10 firmas), donde 3 listas de adherentes corresponden a firmas originales de los firmantes (excepto un planillon, el cual solo contiene 9 firmas originales) y los otros 6 planillones, corresponden a firmas diferentes a los firmantes del conjunto de datos utilizado.

La tabla 6.1 muestra la cantidad de firmas tomadas para el proceso de validación.

Tabla 6.1. Firmas y planillones tomados para la validación del modelo propuesto.

Firmante	Firmas Autenticas	Planillón a verificar		Planillón a verificar		Planillón a verificar	
1	3	P1	V	P2	F	P3	F
2	3		V		F		F
3	3		V		F		F
4	3		V		F		F
5	3		V		F		F
6	3		V		F		F
7	3		V		F		F
8	3		V		F		F
9	3		V		F		F
10	3		V		F		F
11	3	P4	V	P5	F	P6	F
12	3		V		F		F
13	3		V		F		F
14	3		V		F		F
15	3		V		F		F
16	3		V		F		F
17	3		V		F		F
18	3		V		F		F
19	3		V		F		F
20	3		F		F		F
21	3	P7	V	P8	F	P9	F
22	3		V		F		F
23	3		V		F		F
24	3		V		F		F
25	3		V		F		F
26	3		V		F		F
27	3		V		F		F
28	3		V		F		F
29	3		V		F		F
30	3		V		F		F

6.4 Resultados.

- Los resultados usando la característica ratio de dimensión (alto/ancho) se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 6.2. Resultados obtenidos para el planillón 1 usando alto/ancho.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
1	1	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	2	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	3	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	4	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	5	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	6	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	7	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	8	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	9	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	10	3	0	VERDADERO	VERDADERO

Tabla 6.3. Resultados obtenidos para el planillón 2 usando alto/ancho.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
2	1	3	0	FALSO	VERDADERO
	2	3	0	FALSO	VERDADERO
	3	3	0	FALSO	FALSO
	4	3	0	FALSO	VERDADERO
	5	3	0	FALSO	VERDADERO
	6	3	0	FALSO	VERDADERO
	7	3	0	FALSO	FALSO
	8	3	0	FALSO	VERDADERO
	9	3	0	FALSO	VERDADERO
	10	3	0	FALSO	VERDADERO

Tabla 6.4. Resultados obtenidos para el planillón 3 usando alto/ancho.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
3	1	3	0	FALSO	FALSO
	2	3	0	FALSO	VERDADERO
	3	3	0	FALSO	VERDADERO
	4	3	0	FALSO	FALSO
	5	3	0	FALSO	FALSO
	6	3	0	FALSO	VERDADERO
	7	3	0	FALSO	FALSO

	8	3	0	FALSO	VERDADERO
	9	3	0	FALSO	VERDADERO
	10	3	0	FALSO	VERDADERO

Tabla 6.5. Resultados obtenidos para el planillón 4 usando alto/ancho.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
4	1	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	2	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	3	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	4	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	5	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	6	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	7	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	8	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	9	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	10	3	0	FALSO	VERDADERO

Tabla 6.6. Resultados obtenidos para el planillón 5 usando alto/ancho.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
5	1	3	0	FALSO	VERDADERO
	2	3	0	FALSO	VERDADERO
	3	3	0	FALSO	VERDADERO
	4	3	0	FALSO	VERDADERO
	5	3	0	FALSO	VERDADERO
	6	3	0	FALSO	FALSO
	7	3	0	FALSO	FALSO
	8	3	0	FALSO	FALSO
	9	3	0	FALSO	FALSO
	10	3	0	FALSO	VERDADERO

Tabla 6.7. Resultados obtenidos para el planillón 6 usando alto/ancho.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
6	1	3	0	FALSO	FALSO
	2	3	0	FALSO	VERDADERO
	3	3	0	FALSO	VERDADERO
	4	3	0	FALSO	VERDADERO
	5	3	0	FALSO	VERDADERO
	6	3	0	FALSO	FALSO
	7	3	0	FALSO	FALSO
	8	3	0	FALSO	FALSO

	9	3	0	FALSO	FALSO
	10	3	0	FALSO	VERDADERO

Tabla 6.8. Resultados obtenidos para el planillón 7 usando alto/ancho.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
7	1	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	2	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	3	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	4	3	0	FALSO	FALSO
	5	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	6	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	7	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	8	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	9	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	10	3	0	VERDADERO	VERDADERO

Tabla 6.9. Resultados obtenidos para el planillón 8 usando alto/ancho.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
8	1	3	0	FALSO	FALSO
	2	3	0	FALSO	VERDADERO
	3	3	0	FALSO	FALSO
	4	3	0	FALSO	FALSO
	5	3	0	FALSO	VERDADERO
	6	3	0	FALSO	VERDADERO
	7	3	0	FALSO	FALSO
	8	3	0	FALSO	FALSO
	9	3	0	FALSO	FALSO
	10	3	0	FALSO	VERDADERO

Tabla 6.10. Resultados obtenidos para el planillón 9 usando alto/ancho.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
9	1	3	0	FALSO	FALSO
	2	3	0	FALSO	VERDADERO
	3	3	0	FALSO	FALSO
	4	3	0	FALSO	FALSO
	5	3	0	FALSO	VERDADERO
	6	3	0	FALSO	FALSO
	7	3	0	FALSO	VERDADERO
	8	3	0	FALSO	FALSO
	9	3	0	FALSO	VERDADERO

	10	3	0	FALSO	FALSO
--	----	---	---	-------	-------

Tabla 6.11. Matriz de Error obtenido usando alto/ancho.

N=90	Predicho: Verdadero	Predicho: Falso	Error
Actual: Verdadero	28	0	0.00%
Actual: Falso	34	28	54.84%

Las métricas obtenidas usando el ratio de dimensión son las siguientes:

Falsa Aceptación: $FAR = 54.84\%$

Falso Rechazo: $FRR = 0\%$

Correcta Aceptación: $TA = 100\%$

Correcto Rechazo: $TR = 45.16\%$

Error Promedio: $AER = \frac{FRR+FAR}{2} = 27.42\%$

Precisión: $Accuracy = \frac{28+28}{28+28+34+0} = 0.6222 = 62.2\%$

➤ Los resultados usando la masa relativa son las siguientes:

Tabla 6.12. Resultados obtenidos para el planillón 1 usando masa relativa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
1	1	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	2	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	3	3	0	VERDADERO	FALSO
	4	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	5	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	6	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	7	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	8	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	9	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	10	3	0	VERDADERO	VERDADERO

Tabla 6.13. Resultados obtenidos para el planillón 2 usando masa relativa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
2	1	3	0	FALSO	FALSO

	2	3	0	FALSO	VERDADERO
	3	3	0	FALSO	VERDADERO
	4	3	0	FALSO	VERDADERO
	5	3	0	FALSO	FALSO
	6	3	0	FALSO	FALSO
	7	3	0	FALSO	VERDADERO
	8	3	0	FALSO	VERDADERO
	9	3	0	FALSO	VERDADERO
	10	3	0	FALSO	VERDADERO

Tabla 6.14. Resultados obtenidos para el planillón 3 usando masa relativa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
3	1	3	0	FALSO	VERDADERO
	2	3	0	FALSO	VERDADERO
	3	3	0	FALSO	FALSO
	4	3	0	FALSO	VERDADERO
	5	3	0	FALSO	VERDADERO
	6	3	0	FALSO	VERDADERO
	7	3	0	FALSO	VERDADERO
	8	3	0	FALSO	FALSO
	9	3	0	FALSO	VERDADERO
	10	3	0	FALSO	FALSO

Tabla 6.15. Resultados obtenidos para el planillón 4 usando masa relativa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
4	1	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	2	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	3	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	4	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	5	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	6	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	7	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	8	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	9	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	10	3	0	FALSO	VERDADERO

Tabla 6.16. Resultados obtenidos para el planillón 5 usando masa relativa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
5	1	3	0	FALSO	VERDADERO

	2	3	0	FALSO	FALSO
	3	3	0	FALSO	FALSO
	4	3	0	FALSO	VERDADERO
	5	3	0	FALSO	FALSO
	6	3	0	FALSO	FALSO
	7	3	0	FALSO	VERDADERO
	8	3	0	FALSO	VERDADERO
	9	3	0	FALSO	VERDADERO
	10	3	0	FALSO	FALSO

Tabla 6.17. Resultados obtenidos para el planillón 6 usando masa relativa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
6	1	3	0	FALSO	VERDADERO
	2	3	0	FALSO	FALSO
	3	3	0	FALSO	VERDADERO
	4	3	0	FALSO	VERDADERO
	5	3	0	FALSO	VERDADERO
	6	3	0	FALSO	FALSO
	7	3	0	FALSO	FALSO
	8	3	0	FALSO	VERDADERO
	9	3	0	FALSO	VERDADERO
	10	3	0	FALSO	VERDADERO

Tabla 6.18. Resultados obtenidos para el planillón 7 usando masa relativa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
7	1	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	2	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	3	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	4	3	0	FALSO	FALSO
	5	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	6	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	7	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	8	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	9	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	10	3	0	VERDADERO	VERDADERO

Tabla 6.19. Resultados obtenidos para el planillón 8 usando masa relativa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
8	1	3	0	FALSO	FALSO

	2	3	0	FALSO	VERDADERO
	3	3	0	FALSO	VERDADERO
	4	3	0	FALSO	FALSO
	5	3	0	FALSO	FALSO
	6	3	0	FALSO	FALSO
	7	3	0	FALSO	VERDADERO
	8	3	0	FALSO	VERDADERO
	9	3	0	FALSO	VERDADERO
	10	3	0	FALSO	VERDADERO

Tabla 6.20. Resultados obtenidos para el planillón 9 usando masa relativa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
9	1	3	0	FALSO	FALSO
	2	3	0	FALSO	VERDADERO
	3	3	0	FALSO	VERDADERO
	4	3	0	FALSO	VERDADERO
	5	3	0	FALSO	FALSO
	6	3	0	FALSO	FALSO
	7	3	0	FALSO	VERDADERO
	8	3	0	FALSO	VERDADERO
	9	3	0	FALSO	VERDADERO
	10	3	0	FALSO	VERDADERO

Tabla 6.21. Matriz de Error obtenido usando masa relativa.

N=90	Predicho: Verdadero	Predicho: Falso	Error
Actual: Verdadero	27	1	3.57%
Actual: Falso	40	22	64.52%

Las métricas obtenidas usando la masa relativa son las siguientes:

Falsa Aceptación: $FAR = 64.52\%$

Falso Rechazo: $FRR = 3.57\%$

Correcta Aceptación: $TA = 96.43\%$

Correcto Rechazo: $TR = 35.48\%$

Error Promedio: $AER = \frac{FRR+FAR}{2} = 34.05\%$

$$\text{Precisión: Accuracy} = \frac{27+22}{27+1+40+22} = 0.5444 = 54.4\%$$

- Los resultados usando los centros de masa son los siguientes:

Tabla 6.22. Resultados obtenidos para el planillón 1 usando centro de masa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
1	1	3	0	VERDADERO	FALSO
	2	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	3	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	4	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	5	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	6	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	7	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	8	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	9	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	10	3	0	VERDADERO	VERDADERO

Tabla 6.23. Resultados obtenidos para el planillón 2 usando centro de masa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
2	1	3	0	FALSO	VERDADERO
	2	3	0	FALSO	VERDADERO
	3	3	0	FALSO	FALSO
	4	3	0	FALSO	VERDADERO
	5	3	0	FALSO	FALSO
	6	3	0	FALSO	FALSO
	7	3	0	FALSO	FALSO
	8	3	0	FALSO	FALSO
	9	3	0	FALSO	FALSO
	10	3	0	FALSO	FALSO

Tabla 6.24. Resultados obtenidos para el planillón 3 usando centro de masa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
3	1	3	0	FALSO	FALSO
	2	3	0	FALSO	FALSO
	3	3	0	FALSO	FALSO
	4	3	0	FALSO	FALSO
	5	3	0	FALSO	FALSO

	6	3	0	FALSO	FALSO
	7	3	0	FALSO	VERDADERO
	8	3	0	FALSO	FALSO
	9	3	0	FALSO	FALSO
	10	3	0	FALSO	FALSO

Tabla 6.25. Resultados obtenidos para el planillón 4 usando centro de masa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
4	1	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	2	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	3	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	4	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	5	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	6	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	7	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	8	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	9	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	10	3	0	FALSO	FALSO

Tabla 6.26. Resultados obtenidos para el planillón 5 usando centro de masa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
5	1	3	0	FALSO	FALSO
	2	3	0	FALSO	FALSO
	3	3	0	FALSO	FALSO
	4	3	0	FALSO	FALSO
	5	3	0	FALSO	VERDADERO
	6	3	0	FALSO	FALSO
	7	3	0	FALSO	FALSO
	8	3	0	FALSO	FALSO
	9	3	0	FALSO	FALSO
	10	3	0	FALSO	FALSO

Tabla 6.27. Resultados obtenidos para el planillón 6 usando centro de masa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
6	1	3	0	FALSO	FALSO
	2	3	0	FALSO	FALSO
	3	3	0	FALSO	FALSO

	4	3	0	FALSO	FALSO
	5	3	0	FALSO	FALSO
	6	3	0	FALSO	FALSO
	7	3	0	FALSO	FALSO
	8	3	0	FALSO	FALSO
	9	3	0	FALSO	FALSO
	10	3	0	FALSO	FALSO

Tabla 6.28. Resultados obtenidos para el planillón 7 usando centro de masa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
7	1	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	2	3	0	VERDADERO	FALSO
	3	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	4	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	5	3	0	VERDADERO	FALSO
	6	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	7	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	8	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	9	3	0	VERDADERO	VERDADERO
	10	3	0	VERDADERO	VERDADERO

Tabla 6.29. Resultados obtenidos para el planillón 8 usando centro de masa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
8	1	3	0	FALSO	FALSO
	2	3	0	FALSO	FALSO
	3	3	0	FALSO	VERDADERO
	4	3	0	FALSO	VERDADERO
	5	3	0	FALSO	VERDADERO
	6	3	0	FALSO	FALSO
	7	3	0	FALSO	VERDADERO
	8	3	0	FALSO	FALSO
	9	3	0	FALSO	VERDADERO
	10	3	0	FALSO	FALSO

Tabla 6.30. Resultados obtenidos para el planillón 9 usando centro de masa.

Planillón	Firmante	Firmas Autenticas	Firmas Falsas	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
9	1	3	0	FALSO	FALSO

	2	3	0	FALSO	FALSO
	3	3	0	FALSO	FALSO
	4	3	0	FALSO	FALSO
	5	3	0	FALSO	FALSO
	6	3	0	FALSO	FALSO
	7	3	0	FALSO	FALSO
	8	3	0	FALSO	FALSO
	9	3	0	FALSO	FALSO
	10	3	0	FALSO	FALSO

Tabla 6.31. Matriz de Error obtenido usando centro de masa.

N=90	Predicho: Verdadero	Predicho: Falso	Error
Actual: Verdadero	27	3	10.00%
Actual: Falso	10	51	16.39%

Las métricas obtenidas usando el centro de masa son las siguientes:

Falsa Aceptación: $FAR = 16.39\%$

Falso Rechazo: $FRR = 10.00\%$

Correcta Aceptación: $TA = 90.00\%$

Correcto Rechazo: $TR = 83.61\%$

Error Promedio: $AER = \frac{FRR+FAR}{2} = 13.20\%$

Precisión: $Accuracy = \frac{27+51}{27+3+10+51} = 0.8667 = 86.7\%$

- Los resultados combinando las tres características, siguiendo el procedimiento descrito en el aporte, son los siguientes:

Tabla 6.32. Resultados obtenidos para el planillón 1 combinando características.

Planillón	Firmante	Resultado Esperado	Alto/Ancho	Masa Relativa	Centro de Masa	Resultado Final
1	1	V	V	V	F	F
	2	V	V	V	V	V
	3	V	V	F	-	F
	4	V	V	V	V	V
	5	V	V	V	V	V
	6	V	V	V	V	V

	7	V	V	V	V	V
	8	V	V	V	V	V
	9	V	V	V	V	V
	10	V	V	V	V	V

Tabla 6.33. Resultados obtenidos para el planillón 2 combinando características.

Planillón	Firmante	Resultado Esperado	Alto/Ancho	Masa Relativa	Centro de Masa	Resultado Final
2	1	F	V	F	-	F
	2	F	V	V	V	V
	3	F	F	-	-	F
	4	F	V	V	V	V
	5	F	V	F	-	F
	6	F	V	F	-	F
	7	F	F	-	-	F
	8	F	V	V	F	F
	9	F	V	V	F	F
	10	F	V	V	F	F

Tabla 6.34. Resultados obtenidos para el planillón 3 combinando características.

Planillón	Firmante	Resultado Esperado	Alto/Ancho	Masa Relativa	Centro de Masa	Resultado Final
3	1	F	F	-	-	F
	2	F	V	V	F	F
	3	F	V	F	-	F
	4	F	F	-	-	F
	5	F	F	-	-	F
	6	F	V	V	F	F
	7	F	F	-	-	F
	8	F	V	F	-	F
	9	F	V	V	F	F
	10	F	V	F	-	F

Tabla 6.35. Resultados obtenidos para el planillón 4 combinando características.

Planillón	Firmante	Resultado Esperado	Alto/Ancho	Masa Relativa	Centro de Masa	Resultado Final
4	1	V	V	V	V	V
	2	V	V	V	V	V
	3	V	V	V	V	V
	4	V	V	V	V	V

	5	V	V	V	V	V
	6	V	V	V	V	V
	7	V	V	V	V	V
	8	V	V	V	V	V
	9	V	V	V	V	V
	10	F	V	V	F	F

Tabla 6.36. Resultados obtenidos para el planillón 5 combinando características.

Planillón	Firmante	Resultado Esperado	Alto/Ancho	Masa Relativa	Centro de Masa	Resultado Final
5	1	F	V	V	F	F
	2	F	V	F	-	F
	3	F	V	F	-	F
	4	F	V	V	F	F
	5	F	V	F	-	F
	6	F	F	-	-	F
	7	F	F	-	-	F
	8	F	F	-	-	F
	9	F	F	-	-	F
	10	F	V	F	-	F

Tabla 6.37. Resultados obtenidos para el planillón 6 combinando características.

Planillón	Firmante	Resultado Esperado	Alto/Ancho	Masa Relativa	Centro de Masa	Resultado Final
6	1	F	F	-	-	F
	2	F	V	F	-	F
	3	F	V	V	F	F
	4	F	V	V	F	F
	5	F	V	V	F	F
	6	F	F	-	-	F
	7	F	F	-	-	F
	8	F	F	-	-	F
	9	F	F	-	-	F
	10	F	V	V	F	F

Tabla 6.38. Resultados obtenidos para el planillón 7 combinando características.

Planillón	Firmante	Resultado Esperado	Alto/Ancho	Masa Relativa	Centro de Masa	Resultado Final
7	1	V	V	V	V	V
	2	V	V	V	F	F
	3	V	V	V	V	V
	4	F	F	-	-	F

	5	V	V	V	F	F
	6	V	V	V	V	V
	7	V	V	V	V	V
	8	V	V	V	V	V
	9	V	V	V	V	V
	10	V	V	V	V	V

Tabla 6.39. Resultados obtenidos para el planillón 8 combinando características.

Planillón	Firmante	Resultado Esperado	Alto/Ancho	Masa Relativa	Centro de Masa	Resultado Final
8	1	F	F	-	-	F
	2	F	V	V	F	F
	3	F	F	-	-	F
	4	F	F	-	-	F
	5	F	V	F	-	F
	6	F	V	F	-	F
	7	F	F	-	-	F
	8	F	F	-	-	F
	9	F	F	-	-	F
	10	F	V	V	F	F

Tabla 6.40. Resultados obtenidos para el planillón 9 combinando características.

Planillón	Firmante	Resultado Esperado	Alto/Ancho	Masa Relativa	Centro de Masa	Resultado Final
9	1	F	F	-	-	F
	2	F	V	V	F	F
	3	F	F	-	-	F
	4	F	F	-	-	F
	5	F	V	F	-	F
	6	F	F	-	-	F
	7	F	V	V	F	F
	8	F	F	-	-	F
	9	F	V	V	F	F
	10	F	F	-	-	F

Tabla 6.41. Matriz de Error obtenido combinando características.

N=90	Predicho: Verdadero	Predicho: Falso	Error
Actual: Verdadero	24	4	14.29%
Actual: Falso	2	60	3.23%

Falsa Aceptación: $FAR = 3.23\%$

Falso Rechazo: $FRR = 14.29\%$

Correcta Aceptación: $TA = 85.71\%$

Correcto Rechazo: $TR = 96.77\%$

Error Promedio: $AER = \frac{FRR+FAR}{2} = 8.76\%$

Precisión: $Accuracy = \frac{24+60}{24+4+2+60} = 0.933 = 93.3\%$

La tabla 6.42 detalla las principales métricas obtenidas del modelo propuesto, en ella se observa que los mejores resultados se obtienen aplicando de las 3 características propuestas en el presente trabajo, obteniendo una precisión del 93.30%.

Tabla 6.42. Matriz de Error obtenido combinando características.

	FAR	FRR	AER	Accuracy
Ratio de Dimensión (1)	54.84%	00.00%	27.42%	62.20%
Masa Relativa (2)	64.52%	03.57%	34.05%	54.40%
Centros de Masa (3)	16.39%	10.00%	13.20%	86.70%
Integración (1)(2)(3)	03.23%	14.29%	8.76%	93.30%

Capítulo 7: CONCLUSIONES

7.1 Conclusiones.

- ✓ Se logró revisar las técnicas desarrolladas para la verificación automática de firmas.
- ✓ Se logró desarrollar el algoritmo de verificación automática de firmas (metaverificador).
- ✓ Se logró validar el modelo propuesto.
- ✓ Se logró obtener una precisión del 93.3%, esto es, bastante alta en comparación con resultados señalados en la literatura, usando solo 3 firmas genuinas para el entrenamiento del modelo.

7.2 Trabajos Futuros.

- ✓ Se podría implementar el sistema propuesto en las siguientes instituciones para los casos siguientes:
 - Reniec
 - Inconstitucionalidad de tratados internacionales celebrados por el Perú, y otras normas de rango legal.
 - Demanda de rendición de cuentas.
 - Demarcación Territorial.
 - Iniciativa de Reforma Constitucional.
 - Iniciativa en Formación de Ordenanzas Regionales y Municipales.
 - Iniciativa de Formación de Leyes.
 - Movimientos Regionales.
 - Organizaciones Políticas Locales.
 - Referéndum.
 - Revocatoria de Autoridades
 - Inscripción de Organizaciones Políticas
 - SUNARP
 - Verificación de firmas del Notario en escrituras públicas.
 - NOTARIAS
 - Verificación de firmas en certificaciones de firmas.

- PNP
 - Verificación de firmas en el departamento de grafotecnia.
- ✓ Podrían incluirse en el modelo otros factores que podrían ser de interés para evaluar firmas on-line.
- ✓ Al igual como se ha usado el metapredicador para verificación de firmas off-line, debería tomarse como referencia para la verificación de firmas on-line.

Referencias Bibliográficas

- [1] Jurado Nacional de Elecciones (JNE), consultado el 28/10/2016, <http://www.jne.gob.pe/>
- [2] Resolución N° 0208-2015-JNE, Reglamento del Registro de Organizaciones Políticas. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 21 de agosto de 2015.
- [3] Resolución Jefatural N° 46-2015-JNAC/RENIEC, Reglamento para la verificación de firmas. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 06 de marzo de 2015.
- [4] Resolución Jefatural N° 070-2004-J/ONPE, Reglamento de Verificación de Firmas de Listas de Adherentes para la inscripción de Organizaciones Políticas. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 30 de marzo de 2004.
- [5] Registro Nacional de Identificación y Estado Civil (Reniec), consultado el 28/10/2016, <https://www.reniec.gob.pe/portal/intro.htm>
- [6] Oficina Nacional de Procesos Electorales (Onpe), consultado el 28/10/2016, <https://www.onpe.gob.pe/>
- [7] Congreso de la República, Ley de Partidos Políticos, [Ley N° 28094], Lima, Perú, 01 de noviembre de 2003.
- [8] Real Academia Española (RAE), consultado el 28/10/2016, <http://www.rae.es/>
- [9] Monge Dure, C.A. (2000). Diccionario Grafotecnico. Lima, Peru: T y P Ediciones.
- [10] Orellano Wiarco Octavio Alberto y Orellano Trinidad Octavio Alberto; Grafoscopia; Ed. Porrúa, México 2006; 1ra Edición.
- [11] Cardoso, C, Lozano, N, (2009). Algoritmos genéticos aplicados al reconocimiento de firma autógrafa (Tesis de pregrado), Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- [12] Coordinación de Estudios de Pericia Caligráfica Judicial - Peritaje Grafopsicológico - Criminalista, consultado el 28/10/2016, <http://grafologiauniversitaria.com/falsificaciones.htm>
- [13] Wayman, James, L, “A Generalized Biometric Identification System Model”, Proc. IEEE, Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers, 1997.
- [14] Barbara Kitchenham: Procedure for performing Systematic Reviews, <http://www.inf.ufsc.br/~awangenh/kitchenham.pdf> , (2004).
- [15] D. Impedovo, G. Pirlo, Automatic signature verification: the state of the art, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part C 38 (5) (2008) 609–635.
- [16] Y. Guerbai, Y. Chibani, B. Hadjadji; “The effective use of the one-class SVM classifier for handwritten signature verification based on writer-independent parameters”; Pattern Recognition, Volumen 48, (2015), 103-113.
- [17] R. Kumar, J. Shrama, B. Chanda; “Writer-independent off-line signature verification using surroundedness feature”; Pattern Recognition Letters; Volumen 33, (2012), 301-308.
- [18] L. Batista, E. Granger, R. Sabourin; “Dynamic selection of generative–discriminative ensembles for off-line signature verification”; Pattern Recognition; Volumen 45, (2015), 1326-1340.
- [19] J.F. Vargas, M.A.Ferrer, C.M.Travieso y J.B.Alonso, Off-line signature verification based on grey level information using texture features, Computer

- Science, Volumen 44, (2011), 375–385.
- [20] D. Bertolini, L.S. Oliveira, E. Justino, R. Sabourin, Reducing forgeries in writer-independent off-line signature verification through ensemble of classifiers, *Computer Science*, Volumen 43, (2010), 387–396.
- [21] Jing Wen, Bin Fang, Y.Y. Tang, TaiPing Zhang; Model-based signature verification with rotation invariant features; *Pattern Recognition*, Volumen 42, (2009), 1458 - 1466
- [22] J. Vélez, A. Sánchez, B. Moreno, J.L. Esteban; “Fuzzy shape-memory snakes for the automatic off-line signature verification problem”; *Fuzzy Sets and Systems*; (2009), 182 – 197.
- [23] Güler, Inan; Meghdadi, Majid; “A diferente approach to off-line handwritten signature verification using the optimal dynamics time warping algorithm”, *Digital Signal Processing*; Volumen 18, (2008), 940-950.
- [24] M. Taylan Das, L. Canan Dulger; “Signature verification (SV) toolbox: Application of PSO-NN”; *Engineering Applications of Artificial Intelligence*; Volumen 22, (2009), 688-694.
- [25] K.R. Radhika, M.K. Venkatesha, G.N. Sekhar; “Signature authentication based on subpattern analysis”; *Applied Soft Computing*; Volumen 11, (2011), 3218-3228.
- [26] Zhang, Bailing; “Off-line signature verification and identification by pyramid histogram of oriented gradients”; *International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics*; Volumen 3, (2010), 611-630.
- [27] George S. Eskander, R. Sabourin, E. Granger; “Hybrid writer-independent–writer-dependent offline signature verification system”; *IET Biometrics*; Volumen 2, (2013), 169-181.
- [28] S. Pal, U. Pal, M. Blumenstein; “Off-line verification technique for Hindi signature”; *IET Biometrics*; Volumen 2, (2013), 182-190.
- [29] G. Pirlo, D. Impedovo; “Cosine similarity for analysis and verification of static signatures”; *IET Biometrics*; Volumen 2, Iss. 4, (2013), 151-158.
- [30] J. Swanepoel, J. Coetzer; “A robust dissimilarity representation for writer-independent signature modelling”; *IET Biometrics*; Volumen 2, Iss. 4, (2013), 159-168.
- [31] K. Tselios, E.N. Zois, E. Siores, A. Nassiopoulos, G. Economou; “Grid-based feature distributions for off-line signature verification”; Volumen 1, (2012), 72-81.
- [32] G. Pirlo, D. Impedovo; “Verification of Static Signature by Optical Flow Analysis”; *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*; Volumen 43, Iss. 5, (2013), 499-504.
- [33] M. A Ferrer, J.F. Vargas, A. Morales, A. Ordóñez; “Robustness of Offline Signature Verification Based on Gray Level Features”; *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*; Volumen 7, (2012), 966-977.
- [34] D. Jena, B. Majhi, S.K. Panigrahy, S.K. Jena; “Improved Offline Signature Verification Scheme Using Feature point Extraction Method”; *IEEE International Conference on Cognitive Informatics*; (2010), 475-480.
- [35] R.K. Radhika, M.K. Venkatesha, G.N. Sekhar, G.N.; “Off-line Signature

- Authentication based on Moment Invariants Using Support Vector Machine”; Computer Science; Volumen 6, Iss. 3, (2010), 305-311.
- [36]D. Bhattacharyya, S.K. Bandyopadhyay, P. Das, D. Ganguly, S. Mukherjee; “Statistical Approach for Offline Handwritten Signature Verification”; Computer Science; Volumen 4, Iss. 3, (2008), 181-185.
- [37]D. Rivard, E. Granger, R. Sabourin; “Multi-feature extraction and selection in writer-independent off-line signature verification”; Springer: IJDAR; Volumen 16, (2013), 83-103.
- [38]P. The-Anh, L. Hong-Há, D. Nang-Toan; “Offline handwritten signature verification using local and global features”; Springer: Annals of Mathematics and Artificial Intelligence; Volumen 75, (2015), 231-247.
- [39]P. Kudłacik, P. Porwik, “A new approach to signature recognition using the fuzzy method”; Pattern Analysis Applications; Volumen 17, (2012), 451-463.
- [40]Luana Batista, Eric Granger, Robert Sabourin; “Improving performance of HMM-based off-line signature verification systems through a multi-hypothesis approach”; IJDAR International Journal on Document Analysis and Recognition; Volumen 13, (2010), 33-47.
- [41]G. Pirlo, D. Impedovo; “Confidence voting method ensemble applied to off-line signature verification”; Pattern Analysis Applications; Volumen 15, (2012), 113-120
- [42]Jasso, G, (2016). Identificación de ironía en textos cortos (Tesis de pregrado), Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- [43]Hernández, I, (2004). La mejor desigualdad tipo Chebyshev (Tesis de pregrado), Universidad de Sonora, Sonora.