

Universidad de las Ciencias Informáticas

Algoritmo de extracción de minucias para un sistema de verificación de personas por huellas dactilares

**Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero
en Ciencias Informáticas**

Autores

Yerandy Arias González

Alexander Leyva Morales

Tutores

MsC. Héctor Raúl González Díez

Ing. Rafael Leodan Álvarez Cardero

Ciudad de La Habana, febrero de 2009

“Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros: **Alexander Leyva Morales y Yerandy Arias González**, nos declaramos como únicos autores del presente trabajo y autorizamos a la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) a que haga uso del mismo de la manera que mejor estime.

Y para que así conste firmamos la presente a los 27 días del mes de febrero de 2009.

Alexander Leyva Morales

MsC. Hector Raúl González Diez

Yerandy Arias González

Ing. Rafael Leodan Álvarez Cardero

DATOS DE CONTACTO

TUTOR: MsC. Héctor Raúl González Díez (***hglez@uci.cu***)

Profesor graduado de Licenciatura en Física Nuclear. Ha impartido las asignaturas de Física I, Física II, Matemática 3 y Matemática 4. Es profesor de la facultad 7 y se desempeña actualmente como Jefe de Polo de Imágenes y líder del Grupo de Procesamiento de Imágenes (GPI) de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI).

TUTOR: Ing. Rafael Leodan Cardero Álvarez (***rlcordero@uci.cu***)

Profesor graduado de Ingeniería en Ciencias Informáticas. Es profesor de la facultad 7 y se desempeña actualmente como Jefe del Área Temática de Procesamiento Digital de Imágenes de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI).

Agradecimientos

Antes que todo a mi mamá, por todo su esfuerzo, su infinito amor y su completa dedicación a mi formación como un hombre de bien.

A mi papá por su cariño, su guía y principalmente por haberme enseñado a ser buen hijo con su proceder.

A mi abuelo Manolo por su amor, su ternura y por enseñarme el valor de la fe.

A mi abuelo Negro, por educar a mi madre como lo hizo y regalármela tal como es.

A mis abuelitas Inés, Aurora e Irene, por cuidarme como lo hicieron cuando las necesité, por su paciencia, por su amor.

A mi tía Norma por quererme, adoptarme y tratarme como su hijo.

A Nuriam por enseñarme a soñar, a ambicionar. Por demostrarme que ser auténtico nos hace único y principalmente por inculcarme la profunda convicción de que la gloria es sólo para aquellos hombres que siguen sus grandes ideas hasta el fin.

A mi tía Carolina por enseñarme con su ejemplo el significado de la devoción a la familia.

A mi tío Orlando por enseñarme el amor a la Patria.

A Katerine, Rafa y Lorenita, a Lídise y Zenaidita, a Marlen, a mi hermano y a Katy, mi niña, por la transparencia del cariño que me brindan.

A mi familia que siempre anda conmigo.

A Robertico, quien de ser un gran amigo pasó a ser mi hermano.

A Aníbal y Cloti, a Benítez, a Pedro, a Elvia y Roque, a mi tutor Hector, a mis educadores.

A Marlenis, por derrochar bondad, nobleza y desinterés en sus acciones con mi madre y conmigo.

A mis amigos.

Alexander Leyva Morales

Los sentimientos se llevan en el corazón, y las palabras no bastan para expresar cuan grandes y profundos pueden ser. He crecido y madurado en todos los aspectos de mi vida, gracias a mis esfuerzos personales y a los de muchas personas que en buenas y malas se han mantenido a mi lado, y es por ello que merecen mi reconocimiento más sincero.

A mis padres por su dedicación y su amor desmesurado, por nunca haber perdido la confianza en mí, por mostrarme el camino correcto y por haber impregnado en mi corazón sentimientos tan nobles...

A mi abuela querida a la cual las palabras más dulces de mi alma no podrían describir la ternura y delicadeza que ella guarda en sí...

A mi hermana por ser mi amiga y confidente...

A mi tío por recordarme que un día fui un niño...

A mi abuelo por su experiencia y ejemplo...

A mi tío por ser mi amigo y por cada una de las enseñanzas que de su ejemplo he aprendido...

A mi hermano por enseñarme cuan noble se puede ser en esta vida...

A mis amigos y profesores de antaño, en especial a mi amigo Rene...

A mis amigos, compañeros y profesores de la UCI por su apoyo, en especial a Yadiel, Yoe, Tony, Niurka, Betty...

A mis tutores por haber ayudado a mi formación como investigador...

Yerandy Arias González

Dedicatoria

A mi mamá, por ser mi musa en todo momento, mi faro, mi luz...

A mi padre, por ser la otra parte de esa bujía inspiradora que me da fuerzas cuando estas se me agotan...

A mis abuelos, por su amor y por regalarme los padres que tengo...

A mi familia por ser esa parte restante de la magia que me convierte en un manantial que solo emana deseos de luchar...

A mis amigos...

A mis educadores...

Alexander Leyva Morales

Le dedico mis esfuerzos plasmados en este trabajo antes que todo a mi mamá, que aunque lejos esta, su presencia y ejemplo permanecen en el centro sur de mi corazón a cada paso que doy...

A mi padre, por su cariño, por hacer de mi un hombre mejor, por la luz que siempre he visto en sus palabras que lo hacen ante mis ojos un ejemplo que jamas podré olvidar...

A mis abuelos por su dedicación tan ardua de crear la familia que hoy somos...

A Ori por su amor y comprensión y por no exigirme nada más que mi amor...

A mi hermana, mi sobrino y tío...

A mis amigos y compañeros

Resumen

El reconocimiento de personas por huellas dactilares se realiza en el primer mundo de forma automática mediante los sistemas AFRS (Automatic Fingerprint Recognition System). En Cuba este proceso, se ejecuta de forma manual por casi todas las instituciones que lo necesitan y que no pueden adquirir los sistemas antes mencionados debido a las dificultades económicas existentes en el país y los altos costos de los mismos. Existen algunos software cubanos que automatizan esta tarea, pero utilizan algoritmos propietarios por los que hay que pagar licencias aún muy costosas.

La presente tesis tiene como objetivo implementar una librería que facilite la verificación de personas por huellas dactilares utilizando técnicas basadas en minucias. Para su realización se emplearon los lenguajes de programación C# 2.x y Matlab siguiendo estrictamente los estándares internacionales del tema propuesto por NIST (National Institute of Standards and Technology).

Como principal aporte práctico del trabajo se destaca la implementación de los algoritmos necesarios para el resaltado de las huellas dactilares, esqueletización, extracción y discriminación de falsas minucias en un futuro sistema de identificación de personas utilizando técnicas basadas en minucias. Además se demostró que el ensamblado .NET creado, es compatible con la plataforma libre Mono. El algoritmo propuesto es competente y eficaz por lo que contribuye a sentar las bases para el desarrollo futuro de un sistema AFRS cubano.

Índice

INTRODUCCIÓN	10
CAPITULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	13
1.1 TENDENCIAS DEL PRE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES DE HUELLAS DACTILARES	13
1.1.1 MEJORA DE LA IMAGEN DE LA HUELLA DACTILAR A PARTIR DE TRANSFORMADA DE FOURIER	14
1.1.2 MEJORA DE LA IMAGEN DE LA HUELLA DACTILAR A PARTIR DE FILTROS GABOR.....	15
1.2 EMPRESAS LÍDERES Y SUS PRINCIPALES PRODUCTOS.....	16
1.2.1 Sagem	16
1.2.2 Cogent.....	16
1.2.3 Nec	16
1.2.4 Motorola.....	17
1.2.5 Neurotechnology	17
1.2.6 Innovatrics	17
1.3 HERRAMIENTAS Y TECNOLOGÍAS EMPLEADAS.....	18
1.3.1 Visual Studio 2008 Team Suite	18
1.3.2 Enterprise Architect 6.5.....	18
1.3.3 Matlab 2006.....	19
1.3.4 Visual SourceSafe 8.0	19
1.3.5 C#.....	20
1.4 METODOLOGÍA DE DESARROLLO UTILIZADA.....	21
CONCLUSIONES	22
CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	23
2.1 PROPUESTA DEL SISTEMA	23
2.2 MODELO DE DOMINIO.....	26
2.3 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES DEL SISTEMA	26
2.4 REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES DEL SISTEMA	27
2.5 DEFINICIÓN DE LOS CASOS DE USOS.	28
2.5.1 Definición de los actores	28
2.5.2 Descripción de los casos de usos del sistema.....	29
2.5.3 DIAGRAMA DE CASOS DE USOS DEL SISTEMA	31
2.5.4 Casos de usos expandidos.....	32
CONCLUSIONES	35
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISEÑO	36
3.1 ANÁLISIS	36
3.1.1 Diagrama de interacción	37

3.2 DISEÑO	38
3.2.1 Diagrama de Clases del Diseño	39
3.2.2 Diagrama de interacción del diseño	40
3.2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS CLASES	41
CONCLUSIONES	44
CAPÍTULO 4: IMPLEMENTACIÓN	45
4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA.....	45
4.2 DIAGRAMA DE COMPONENTES.....	46
CONCLUSIONES	47
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES.....	49
BIBLIOGRAFÍA.....	50

Introducción

El reconocimiento de personas constituye una necesidad histórica del ser humano. Muchas han sido las variantes que se han creado para satisfacer la misma. El empleo de los métodos biométricos es una de estas variantes. Entre ellos, el basado en huellas dactilares es uno de los más populares por su exactitud y efectividad.

Su uso práctico como método de reconocimiento de personas es considerado como el más antiguamente empleado. Su explotación comenzó desde finales del siglo XIX cuando Sir Francis Galton (**Ministerio de Justicia, 2008**) publicó en su libro “Fingerprints” que las huellas dactilares eran únicas y que no cambiaban a lo largo de la vida del individuo. Enunció las tres leyes fundamentales de la Dactiloscopia: perennidad, inmutabilidad y diversidad infinita. Estableció además un método que clasifica e identifica las características, también denominadas “minucias¹”, por el cual las huellas dactilares pueden ser clasificadas hoy en día.

Su hijo, quien continuó la investigación, estableció a partir del cálculo de probabilidad que dos huellas serían iguales en 1:64.000.000.000. Estos aportes son la base para la ciencia de identificación de personas a partir de huellas dactilares.

La transición a la automatización del proceso de reconocimiento de personas por huellas dactilares, comienza a finales de los años 70 del siglo XX junto con la aparición de las tecnologías de la computación. La alta velocidad de procesamiento de información de los ordenadores vislumbraba mejoras visibles a los procesos involucrados en las diferentes aplicaciones del método de reconocimiento por huellas. De esta manera se evitaban trabajos manuales abrumadores y largas horas hombre de esfuerzo. A principios de los años 80 ya existían en el mundo varios sistemas que realizaban la identificación de personas a través de este método de forma automática.

Los mismos son la base de los productos comerciales que se usan para el control de acceso, logueo y para el beneficio de las funciones de verificación que se realizan como parte del reconocimiento de personas mediante huellas dactilares en los países del primer mundo en la actualidad. Estos son muy

¹ Las minucias, en Dactiloscopia, son los puntos de interés de la huellas dactilar que pueden ser bifurcaciones de la crestas o terminaciones de estas, entre otros.

competentes y sofisticados, pero muy costosos por lo que los países subdesarrollados no pueden alcanzarlos.

Actualmente en Cuba se utilizan variantes como los sistemas de control de acceso basados en credenciales para la ejecución de las tareas antes mencionadas. Estos resuelven muchos problemas pero son en general deficientes pues son relativamente fáciles de burlar. Por otra parte el proceso de reconocimiento de personas en la mayoría de las instituciones de criminalística de país se realiza de forma manual, lo que resulta muy agotador para quienes lo ejecutan. Se requieren muchos esfuerzos humanos para lograr resultados que hoy en día se generan rápidamente por los sistemas automáticos.

Con lo antes mencionado se posibilita conocer las necesidades actuales del país en el tema de reconocimiento de personas por huellas dactilares y se formula como **problema científico** ¿cómo facilitar la verificación de personas por huellas dactilares utilizando técnicas basadas en minucias?

Para dar solución al problema planteado, se enmarca como **objeto de estudio** las técnicas de reconocimiento de personas basadas en imágenes digitales de huellas dactilares. Como **campo de acción**, se delimitaron los procesos de mejora de la imagen de la huella y la detección de las minucias. El **objetivo del trabajo** es implementar una librería que facilite la verificación de personas por huellas dactilares utilizando técnicas basadas en minucias.

Para cumplir el objetivo propuesto se definieron las siguientes **tareas de investigación**:

1. Caracterizar los diversos algoritmos existentes para la verificación de personas.
2. Proponer los pasos del procesamiento de imágenes necesarios para la implementación de un algoritmo basado en minucias.
3. Implementar los algoritmos necesarios para el resaltado de las imágenes como el primer paso en la identificación de minucias.
4. Optimizar los algoritmos de resaltado de imágenes para lograr tiempos de ejecución eficientes para una solución de verificación.
5. Implementar los algoritmos de esqueletización de imágenes.

6. Optimizar los algoritmos de esqueletización de imágenes para lograr eficiencia en la solución propuesta.
7. Implementar algoritmos de detección de minucias.
8. Implementar algoritmos de discriminación de minucias.

Entre los principales aportes prácticos del trabajo se encuentran la implementación de los algoritmos necesarios para el resaltado de las huellas dactilares, esqueletización, extracción y discriminación de falsas minucias para un sistema de identificación de personas utilizando técnicas basadas en minucias.

Este trabajo posibilitará el inicio de la creación de un AFRS cubano, minimizándole al país los gastos de divisas por concepto de compra de las licencias de algunas soluciones muy eficientes que hoy desarrollan empresas de alto prestigio, en el tema de reconocimiento de personas a través de rasgos biométricos.

La importancia y connotación de un desarrollo de esta índole sería vital en los procesos de autenticación en cualquier institución, lo cual le confiere mayor seguridad. Además, facilitaría el trabajo del personal forense y agiliza las búsquedas en bases de datos nacionales.

El trabajo se estructura como se describe a continuación:

En el **Capítulo 1** se hace un estudio valorativo sobre el estado del arte de los métodos y técnicas de extracción de minucias, para un sistema de verificación de personas por huellas dactilares en el mundo y en Cuba. Se brindan referencias a las tendencias actuales y además se hace un análisis de las técnicas, tecnologías y metodologías empleadas durante la investigación y desarrollo del sistema.

En el **Capítulo 2** se abordan las características del sistema, se hace la propuesta del sistema y además se ofrece el modelo de dominio y la definición de los casos de usos.

El **Capítulo 3** está dedicado al flujo de trabajo análisis y diseño. En él se brindan las clases del análisis, las clases del diseño y los diagramas correspondientes a la realización de cada caso de uso que fueron imprescindibles para una mayor precisión en el momento de la constitución de la solución propuesta.

Por último en el **Capítulo 4** se muestra el modelo de implementación. Este está compuesto por los diagramas de despliegue y componente.

Capítulo 1: Fundamentación Teórica

En este capítulo se abordan de manera general todos los elementos vinculados a los sistemas AFRS, sus conceptos y características. También se abunda sobre el estado del arte de las técnicas y tecnologías que se consideran más indicadas para la construcción de la solución a desarrollar. Posteriormente, se argumenta la elección del Proceso Unificado de Desarrollo como metodología de desarrollo, además, se exponen los rasgos más significativos de las herramientas Visual Studio 2008 Team Suite, Visual SourceSafe y Matlab 2006.

1.1 Tendencias del Pre procesamiento de Imágenes digitales de huellas dactilares

Un sistema de detección de minucias en imágenes digitales de huellas dactilares consta de 4 etapas: Adquisición de la Imagen, Pre-procesamiento de la Imagen, Extracción de características y Matching o Reconocimiento (**Jain Anil, s.a.**). La adquisición de la huella dactilar se obtiene mayoritariamente de dos formas, a través de la ubicación directa del dedo en un escáner infrarrojo o fotocopiando o escaneando una imagen impresa. El Pre-procesamiento de la imagen es el otro paso a seguir. Este es de vital importancia para la extracción de características y actualmente existen varias tendencias en el mundo para su realización.

La etapa de Pre-procesamiento de la imagen digital de la huella, de forma general, consta de las siguientes fases: Normalización, Binarización, Determinación del área de trabajo, Resaltado de las crestas y por último la Esqueletización de la imagen. La más polémica de todas las mencionadas y que al final permite la coexistencia de las diferentes tendencias, es la de Resaltado de las crestas. Esto se debe a que hay muchos métodos eficientes que permiten alcanzar el objetivo señalado y por tanto se generan diferentes criterios a la hora de la selección de los mismos. Los más populares y extendidos son el que se refiere al uso de la Transformada de Fourier (**WUZHILI, s.a.**) y el que aboga por utilizar los filtros de Gabor (**Shlomo Greenberg, s.a.**).

1.1.1 Mejora de la imagen de la huella dactilar a partir de Transformada de Fourier

La transformada de Fourier² es utilizada para pasar una señal del dominio temporal al dominio de las frecuencias. Esto permite obtener información que no es evidente en el primero de los ámbitos mencionados. Está demostrado matemáticamente que una señal periódica se puede descomponer en una suma de senos y cosenos, de esta forma, señales como la voz o las ondas se pueden descomponer en una sumatoria de señales trigonométricas.

Debido a la naturaleza discreta de las imágenes digitales, la Transformada de Fourier se convierte en una poderosa y utilizada herramienta para el procesado de las mismas. Usando el concepto de dominio de las frecuencias en el procesado de imágenes, se hace referencia a la variación de los píxeles de la imagen en función de las coordenadas espaciales. Estas variaciones dan como resultado una relación unívoca entre la imagen original y su transformada.

En esencia, la Transformada de Fourier actúa como un filtro que realza las frecuencias espaciales altas de modo que cuando es aplicado a imágenes que contienen formas geométricas sencillas permite realizar un proceso de segmentación, cuando es aplicada a imágenes con bordes poco diferenciados produce un realce de los mismos y cuando es aplicada a imágenes con ruido produce una reducción del mismo, aspecto este que la hace muy valiosa para mejorar las imágenes de huellas dactilares (**Guillermo Sampallo, s.a.**).

² **Jean-Baptiste-Joseph Fourier** (21 de marzo 1768 en Auxerre - 16 de mayo 1830 en París), matemático y físico francés conocido por sus trabajos sobre la descomposición de funciones periódicas en series trigonométricas convergentes llamadas Series de Fourier,

1.1.2 Mejora de la imagen de la huella dactilar a partir de Filtros Gabor.

El filtro de Gabor³ es un filtro lineal cuya respuesta de impulso es una función armónica⁴ multiplicada por una función gaussiana⁵. La principal ventaja que se obtiene al introducir la envolvente gaussiana o también conocida campana de Gauss es que las funciones de Gabor están localizadas tanto en el dominio espacial como en el de la frecuencia. (**Gabor, 2008**)

El autor Shlomo Greenberg en el libro titulado “Fingerprint Image Enhancement using Filtering Techniques” define a Gabor como un filtro pasabanda en 2 dimensiones, al que se le asigna una determinada frecuencia y una dirección, en aras de obtener una reducción del ruido a la vez que preserva la información de la imagen original. Además, el uso de este método permite el resaltado de partes específicas de la imagen respetando la estructura inicial de la misma. Este filtro es útil en el trabajo en imágenes de huellas digitales, ya que se debe tomar en cuenta que las imágenes a estudiar presentarán localmente una orientación y frecuencia definidas, además que no deben ser alteradas pues introduciría información, produciendo falsas minucias a la hora de extraer las características.

Los bordes y otras transiciones bruscas en los niveles de gris de una imagen dactilar contribuyen significativamente, en el dominio de las frecuencias, al contenido de altas frecuencias de sus transformadas de Fourier y Gabor (**Shlomo Greenberg, s.a.**). La última de las mencionadas tiene también como propiedad analizar el dominio espacial, característica que unida a lo antes expuesto, la hacen relevante en el análisis de texturas, especialmente en la segmentación de las mismas, puesto que diversas texturas tienden a concentrar, en muchos casos, sus energías significativas en ciertas gamas estrechas de frecuencias. Es por ello que en algunos casos se suele relacionar al filtrado de imágenes a través de la Transformada de Gabor con los procesos en la corteza visual. Por estas razones se escogió la variante de aplicar el banco de filtros de Gabor para el resaltado de las crestas de huella dactilar.

³ **Dennis Gabor (Gábor Dénes)** (5 de junio, 1900, Budapest - 9 de febrero, 1979, Londres) fue un físico húngaro que se destaca por ser el inventor de la holografía.

⁴ En matemáticas, una **función armónica** es una función dos veces continuamente derivable

⁵ En matemáticas la **función gaussiana** o campana de Gauss (en honor a Carl Friedrich Gauss), es una función definida por la expresión: $f(x) = ae^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}$ donde a, b, c son constantes reales, (a>0).

Se expusieron las principales corrientes existentes en la actualidad para la realización del Pre-procesamiento de las imágenes digitales de huellas dactilares en el mundo. Se abordó el por qué de la coexistencia de ambas y se brindó una panorámica general de cada una además de que por último se justificó la elección de la tendencia de este filtro.

1.2 Empresas líderes y sus principales productos

1.2.1 Sagem

La Sagem Morpho es una subsidiaria de la Sagem en los Estados Unidos. Desarrolla, manufactura e integra múltiples soluciones biométricas tales como reconocimiento de huellas dactilares, iris y rostro. Esta empresa presenta más de 20 años de experiencia en temas biométricos y ha desarrollado productos tales como Booking LiveScan, RapID, la serie Morpho Access, MorphoSoft, Morpho DigiScan Web, entre otros (**Morpho, 2005**).

1.2.2 Cogent

Esta empresa provee una alta calidad en los sistemas de identificación biométrica, ofrece soluciones tanto para agencias de gobierno, como para fuerzas especiales y soluciones comerciales. La lista de consumidores de productos de esta empresa se expande por todo el mundo. La efectividad y rapidez de sus algoritmos han sido probadas y certificadas por la NIST (**NIST, 2000**). Sus principales aplicaciones son: Cogent Automated Fingerprint Identification System (CAFIS), Cogent Automated Palmprint and Fingerprint Identification System (CAPFIS), Full Function AFIS for Local Law Enforcement Agencies (CAPFIS Prime) (**Cogent, 2007**).

1.2.3 Nec

Con más de 350 despliegues en cerca de 30 países, la tecnología AFIS de NEC ha asistido al reforzamiento de las agencias policiales a lo largo y ancho del mundo en la detención de miles de criminales. El sistema posee una precisión, velocidad y flexibilidad inigualable, según expresa la empresa a través de su sitio web. Sus próximas generaciones incorporan los últimos algoritmos de macheo

biométricos con una arquitectura basada en estándares que posibilita la escalabilidad. Puede ser configurado para que trabaje con solo dos ordenadores personales o extendido a múltiples servicios de procesamiento en paralelo. Su módulo de "Procesamiento de la imagen y extracción de minucias de las huellas" presenta índices de velocidad y precisión realmente altos (**NEC, 2008**).

1.2.4 Motorola

Motorola es una empresa líder en el mercado de las comunicaciones y la telefonía celular, pero ha enfocado parte de su desarrollo a soluciones biométricas como son los AFIS. Provee de estos productos y servicios a más de 37 países, en América del Norte, América del Sur, Europa y Asia. Actualmente sus aplicaciones están incluidas en la criminalística, en el chequeo físico de visa y pasaportes, en el control de fronteras y en servicios social para la detección de fraudes. Los Motorola AFIS soportan 100 millones de registros almacenados en diferentes bases de datos para ser buscados en tiempos ínfimos. Sus principales aplicaciones son Móviles AFIS, LiveScan Station 4000 Portable y Biometric Identification Solution (BIS) (**Motorola, 2008**).

1.2.5 Neurotechnology

Esta compañía posee una larga lista de productos competentes que agrupa en tres grandes grupos, estos son; VeriFinger Software Development Kit (SDK), FingerCell Embedded Development Kit (EDK) y MegaMatcher Software Development Kit (SDK). Todo lo que ha hecho la empresa se basa en el agigantado paso que dio en 1998 cuando desarrolló VeriFinger, un algoritmo de identificación por huellas dactilares, diseñado para sistemas biométricos integradores. Desde entonces se han liberado 12 versiones del algoritmo, con la última de estas, VeriFinger 6.0, se presenta el algoritmo de reconocimiento por huellas dactilares más poderoso hasta la fecha. Actualmente posee, además del antes mencionado, productos tales como el VeriFinger 6.0 Standard SDK, el VeriFinger 6.0 Extended SDK para aplicaciones web, el FingerCell 2.1 EDK para su uso en dispositivos de bajo costo, compactos y móviles y el MegaMatcher 2.1 SDK (**Neurotechnology, 1998**).

1.2.6 Innovatrics

Innovatrics posee el estado del arte de los algoritmos de reconocimiento por huellas dactilares. Han demostrado tener características únicas en sus algoritmos propietarios. Estos introducen un alza sin

precedentes de la velocidad de los AFIS y alcanzan hasta 600.000 mapeos por segundo en una sola PC estándar con un procesador simple. La precisión del algoritmo, primero en el ranking del Concurso Internacional de Verificación por Huellas Dactilares de 2004, garantiza uno de los mayores índices de acierto encontrados en la industria del reconocimiento por huellas dactilares. IEngine, su principal producto en el tema, soporta y acepta minucias basadas en estándares tales como ANSI/INCITS 378-2004 e ISO/IEC SC37/19794-2 lo que garantiza un alto nivel de la interoperabilidad entre diversos escáneres de la huella digital (**Innovatrics, 2008**).

1.3 Herramientas y tecnologías empleadas

En este apartado se describen las características de las herramientas y tecnologías utilizadas; estas son: Visual Studio 2008 Team Suite, Enterprise Architect 6.5, Matlab 2006, Visual SourceSafe 8.0 y C#.

1.3.1 Visual Studio 2008 Team Suite

La herramienta Microsoft Visual Studio 2008 Team Suite brinda servicios útiles para todos los miembros (e.g. arquitectos, diseñadores, desarrolladores) del equipo de desarrollo. Esta herramienta permite modelar la arquitectura y el diseño del sistema. Además incluye herramientas para, medir el rendimiento de la aplicación, garantizar la calidad del producto y optimizar la interacción de los miembros del equipo, entre otros servicios (**Microsoft, 2008**).

1.3.2 Enterprise Architect 6.5

Enterprise Architect combina el poder de la última especificación UML 2.1 con un alto rendimiento y una interfaz intuitiva, para traer un modelado avanzado al escritorio y al equipo completo de desarrollo e implementación. Cubre el tiempo completo de creación del software desde el paso de los requerimientos a través de las etapas del análisis, modelos de diseño, pruebas y mantenimiento. Es multi-usuario, está basada en Windows y diseñada para ayudar a construir un software robusto y fácil de mantener. Ofrece salida de documentación flexible y de alta calidad. Este conjunto de características permiten dotar de todas las herramientas necesarias al equipo entero, incluyendo analistas, evaluadores, administradores de

proyectos, personal del control de calidad y equipo de desarrollo (**Microsoft, Enterprise Architect - Herramienta de diseño UML, 2007**).

1.3.3 Matlab 2006

MATLAB es un ambiente integrado que combina computación numérica, gráficos, visualización avanzada y un lenguaje de programación de alto nivel. Posee un amplio rango de herramientas para modelar sistemas de control, análisis, simulación y procesamiento de prototipos.

Presenta entre otras características:

- Cálculos intensivos desde un punto de vista numérico.
- Gráficos y visualización avanzada.
- Lenguaje de alto nivel basado en vectores, arrays y matrices.
- Colección muy útil de funciones de aplicación.

MATLAB dispone también en la actualidad de un amplio abanico de programas de apoyo especializado, denominados Toolbox, que extienden significativamente el número de funciones incorporadas en el programa principal. Estos Toolbox cubren en la actualidad prácticamente casi todas las áreas principales en el mundo de la ingeniería y la simulación, destacando entre ellos el 'toolbox' de proceso de imágenes, señal, control robusto, estadística, análisis financiero, matemáticas simbólicas, redes neurales, lógica difusa, identificación de sistemas, simulación de sistemas dinámicos, entre otros. Es un entorno de cálculo técnico, que se ha convertido en estándar de la industria, con capacidades no superadas en computación y visualización numérica (**Monografías, 2007**).

1.3.4 Visual SourceSafe 8.0

Microsoft Visual SourceSafe es un sistema de control de versiones en el nivel de archivos, que permite a muchos tipos de organizaciones trabajar en distintas versiones de un proyecto al mismo tiempo. Esta funcionalidad es especialmente ventajosa en un entorno de desarrollo de software, donde se usa para mantener versiones de código paralelas. Sin embargo, el producto también se puede utilizar para mantener archivos en cualquier otro tipo de equipo.

Admite el desarrollo multiplataforma al permitir la edición y el uso compartido de los datos. Se ha diseñado para controlar los problemas de seguimiento y portabilidad que implica mantener una base de control de código fuente, como una base de código de software, en varios sistemas operativos. Para los desarrolladores, Visual SourceSafe aloja código reutilizable u orientado a objetos. Asimismo, facilita el seguimiento de las aplicaciones que utilizan módulos de código concretos (**MSDN, 2008**).

1.3.5 C#

C# (leído en inglés “See Sharp” y en español “C Almohadilla”) es el nuevo lenguaje de propósito general diseñado por Microsoft para su plataforma .NET. Sus principales creadores son Scott Wiltamuth y Anders Hejlsberg, éste último también conocido por haber sido el diseñador del lenguaje Turbo Pascal y la herramienta RAD Delphi.

Aunque es posible escribir código para la plataforma .NET en muchos otros lenguajes, C# es el único que ha sido diseñado específicamente para ser utilizado en ella, por lo que programarla usando C# es mucho más sencillo e intuitivo que hacerlo con cualquiera de los otros lenguajes. Por esta razón, se suele decir que C# es el lenguaje nativo de .NET (**Seco, 2008**).

Entre otras presenta las siguientes características:

- Sencillez.
- Modernidad.
- Orientación a objetos.
- Orientación a componentes.
- Gestión automática de memoria.
- Seguridad de tipos.
- Instrucciones seguras.
- Sistema de tipos unificado.
- Extensibilidad de tipos básicos.
- Extensibilidad de operadores.
- Extensibilidad de modificadores.
- Es Versionable.

- Eficiencia.
- Compatibilidad.

1.4 Metodología de desarrollo utilizada

Razones por las que se emplea RUP para el desarrollo del sistema:

- Controla el riesgo del alcance: reconoce como un hecho que los requerimientos cambian en el desarrollo del proyecto y define un enfoque flexible para controlar estos. Tratar de definir los requerimientos de forma total al inicio del proyecto es una decisión muy riesgosa por lo que el enfoque adoptado en esta metodología asegura un control eficaz del riesgo del alcance.
- Permite la agilidad de forma disciplinada: es flexible pero al mismo tiempo mantiene un nivel de control para lograr que el desarrollo sea efectivo.
- Controla el riesgo financiero: el desarrollo iterativo e incremental que de forma temprana maneja los componentes críticos de un proyecto asegura que se garantice el mayor valor de funcionalidad primero, maximizando el retorno de la inversión todo el tiempo (**González, 2007**).

Conclusiones

En este capítulo se abordó, de manera crítica y valorativa, el estado del arte a nivel mundial de las principales tendencias existentes en los algoritmos de extracción de minucias. Se caracterizaron las principales y se justificó el uso del Filtro de Gabor para el resaltado de las crestas.

Se abundó sobre las singularidades, ventajas y desventajas de los productos de las empresas líderes del mundo en el tema. Se expusieron las herramientas y tecnologías usadas además de la metodología de desarrollo empleada en el proceso.

Capítulo 2: Características del sistema

En este capítulo se dan a conocer las principales características del sistema propuesto. Se posibilita, a partir de un análisis de las singularidades abordadas, concluir cuán competente es el mismo. Además, se ofrece el modelo de dominio de la aplicación conjuntamente con la especificación de los requisitos tanto funcionales como no funcionales.

2.1 Propuesta del sistema

El sistema propuesto consta de tres partes fundamentales: el mejoramiento de la imagen de la huella dactilar, la extracción de las minucias y la discriminación de estas.

El mejoramiento de la imagen permite que la fase posterior sea más simple y eficiente. Aquí se normaliza la imagen, después se determinan, simultáneamente, el área de trabajo y la orientación de las crestas. Luego se aplica el filtro de Gabor para resaltar las mismas hasta que finalmente se esqueletiza la imagen.

Aterrizando más en la descripción de cada uno de los pasos y comenzando por la normalización para ser fieles al flujo de procesos en el sistema, hay que decir que esta se hace necesaria para tener una cierta independencia de las propiedades de la imagen como son el brillo y el contraste. La ecuación (**González R. C., 2001**) que permite esto es la siguiente:

Sea $I(x, y)$ la imagen de entrada,

$$N(x, y) = \frac{(N^{\circ} \text{ Niveles} - 1)}{(\max(I) - \min(I))} \cdot (I(x, y) - \min(I)).$$

Fórmula 1. Normalización

donde:

- $I(x, y)$, nivel de gris de la imagen en la coordenada (x, y) .
- $\min(I)$, $\max(I)$: mínimo y máximo nivel de gris en la imagen respectivamente.

- $N(x, y)$, nivel de gris de la imagen normalizada en la coordenada (x, y) .

Para normalizar una imagen empleando esta fórmula, primero se realiza un recorrido por la misma y se encuentran el máximo y el mínimo de los niveles de grises que se necesitan en esta. Después se lleva a cabo un segundo trayecto en el que se sustituyen los valores que hay en cada una de las posiciones que corresponden a los pares de coordenadas (x, y) en la matriz de la imagen por el valor arrojado por la fórmula. Una vez concluida esta labor la imagen está normalizada.

A continuación se determinan el área de trabajo y la orientación de las crestas simultáneamente. Para ello se recorre la imagen escogiendo pequeños bloques de 16x16 píxeles. En cada paso del recorrido se determina la desviación estándar (**Wikipedia, 2008**) del bloque y si este está por encima de un umbral determinado estadísticamente, se considera que este pertenece al área de trabajo. En aras de optimizar el algoritmo, como para hallar la orientación de las crestas se necesita trabajar en matrices de igual tamaño, se decidió aprovechar, cada vez que se encontrara un bloque que fuera parte del área de trabajo, para determinar la orientación de la cresta que este contuviese. De ahí que se calcule el gradiente concebido por Anil Jain (Rocío Gutiérrez Lecca, 2005) y que se define como:

$$\theta_d = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{16} 2G_x(i,j)G_y(i,j)}{\sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^{16} (G_x(i,j)^2 - G_y(i,j)^2)} \right), G_x \neq 0 \text{ and } G_y \neq 0$$

Fórmula 2. Gradiente definido por Anil Jain

En la práctica esto no es más que el ángulo existente entre la recta tangente a la cresta y la horizontal.

Utilizando la desviación estándar y el gradiente ya calculados se aplica el filtro de Gabor para resaltar las crestas en la imagen.

Para ejecutar el último de los pasos de esta etapa se aplica el filtro morfológico de esqueletización (**Maestre, 2000**) que es el que se encarga de llevar el grosor de las crestas a un píxel.

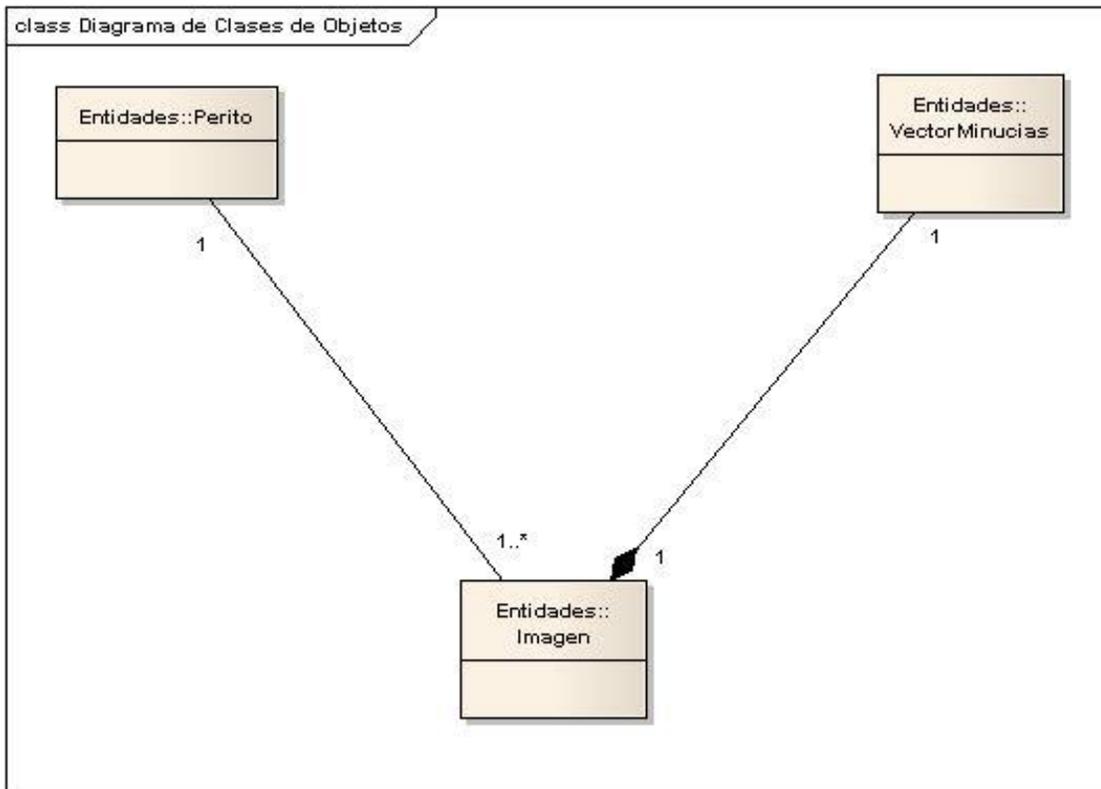
Una vez que se hayan realizado todos los pasos descritos, la imagen se encuentra mejorada y se encuentra lista para que las minucias sean extraídas.

La extracción de las minucias se realiza a través de un recorrido por toda la imagen; donde se encuentre un píxel de color negro cuya suma de su 8 vecindad sea 3, este se identifica como una bifurcación y donde halla uno cuya suma sea 1, se identifica como una terminación. De esta forma se determinan estos dos tipos de minucias que se encuentran definidos en NIST (**NIST, 2000**).

La discriminación de los puntos característicos comienza con la aplicación del algoritmo de Convex Hull (**Wikipedia, 2008**) para eliminar todos los puntos externos a la huella. Después se determina la distancia media entre las crestas para que, una vez hallada, realizar un recorrido por toda la imagen y cada vez que se encuentre una minucia, hacer una búsqueda en toda el área que comprende el círculo de radio igual a la distancia encontrada y centro en el punto característico. Todas las minucias que se encuentren en esta región se eliminan. De esta forma se discriminan algunas falsas minucias como islotes y holes.

Esta solución propuesta, fue concebida, diseñada y construida sobre la base de algoritmos no propietarios y siguiendo estándares internacionales para garantizar que la misma sea comercializable en cualquier lugar del mundo y además aplicable en cualquier institución estatal del país.

2.2 Modelo de Dominio



2.3 Requerimientos funcionales del sistema

RF-1 Mejorar imagen de la huella.

RF-2 Extraer minucias.

RF-3 Discriminar falsas minucias.

RF-4 Generar vector de minucias.

2.4 Requerimientos no funcionales del sistema

Número	Requisito	Tipo
RNF-1	El algoritmo implementado en c#.Net debe ser portable a la plataforma libre Mono.	Portabilidad
RNF-2	Solo el Grupo de Procesamiento de Imágenes y Señales (GPI), perteneciente a la Universidad de las Ciencias Informáticas y los autores del mismo, tendrá acceso a utilizar el algoritmo.	Legal
RNF-3	La velocidad en el procesamiento de las imágenes dactilares debe ser igual o superior al establecido por lo estándares internacionales.	Rendimiento
RNF-4	El sistema propuesto debe ser capaz de adaptarse con el fin de alcanzar un equilibrio interno frente a los cambios externos del entorno.	Confiability
RNF-5	Los software empleados son: <ul style="list-style-type: none"> • Visual Studio 2008 • MatLab 7.4 • Enterprise Architect 	Software

2.5 Definición de los casos de usos.

2.5.1 Definición de los actores

Actores	Justificación
Envoltura_sistema	Sistema externo que se encarga de proveer la imagen de la huella dactilar al sistema para determinar las minucias.

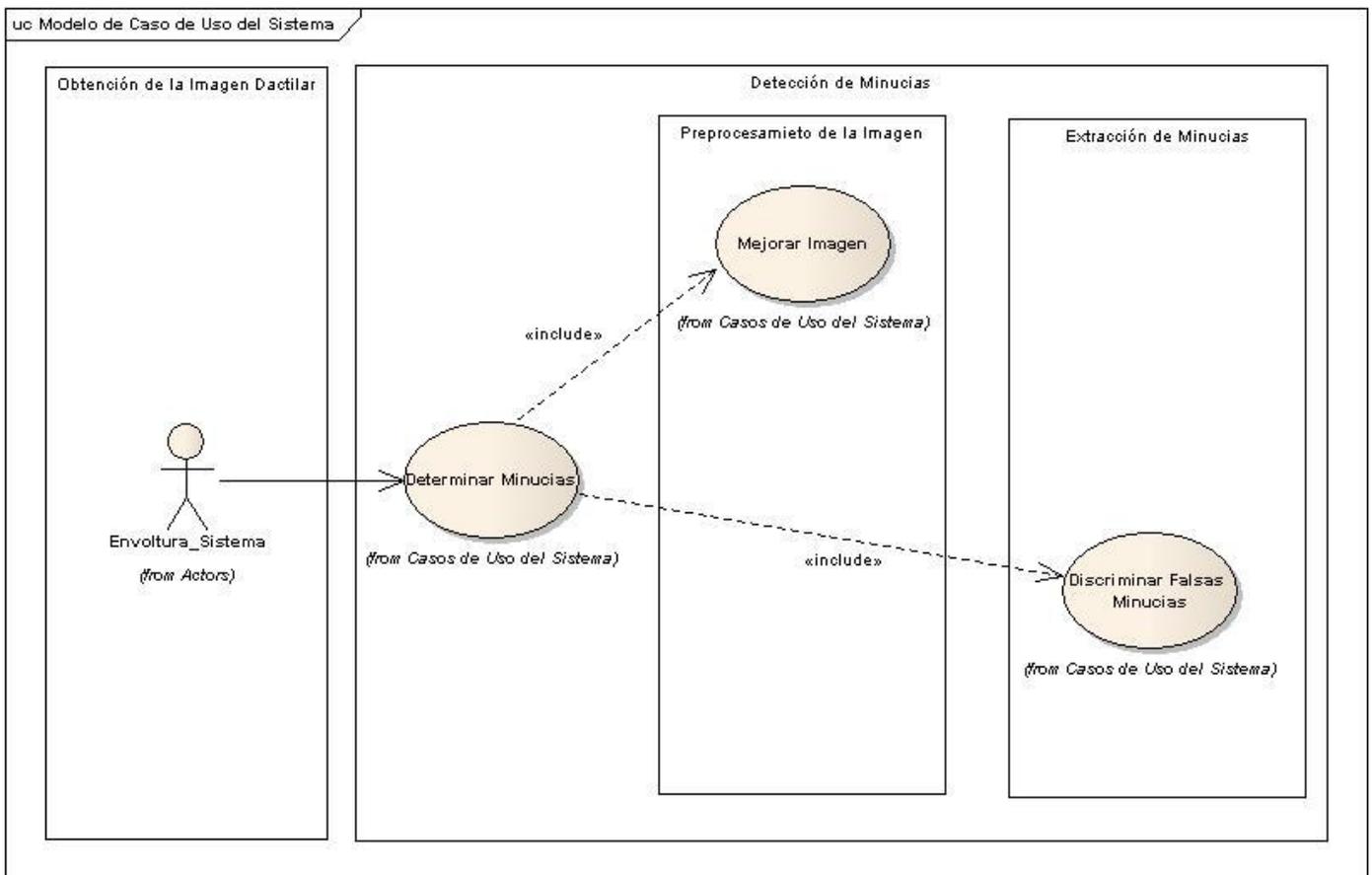
2.5.2 Descripción de los casos de usos del sistema

CU-1	Determinar Minucias
Actor	Envoltura_sistema
Descripción	Se realiza el mejoramiento de la imagen, posteriormente la extracción de las minucias teniendo en cuenta la suma de la 8 vecindad de cada píxel de la imagen y por último se lleva a cabo la discriminación de las falsas minucias.
Referencia	RF-4

CU-2	Mejorar imagen (Caso de uso incluido)
Actor	
Descripción	Se normaliza la imagen, después se determina, simultáneamente, el área de trabajo y la orientación de las crestas, luego se aplica el filtro de Gabor hasta que finalmente se esqueletiza la imagen.
Referencia	RF-1

CU-3	Discriminar falsas minucias (Caso de Uso incluido)
Actor	
Descripción	<p>Se aplica el algoritmo Convex Hull. Luego se realiza un recorrido por el vector de características para ir escogiendo las minucias que serán centros de los círculos que se formarán con radio igual a la distancia media entre las crestas y centro en el punto característico escogido en la iteración del recorrido. Se eliminan todas las minucias del vector de características que se encuentren dentro del círculo formado. Este paso y el anterior se repiten hasta que se recorra todo el vector y se termine el caso de uso.</p>
Referencia	RF-3

2.5.3 Diagrama de Casos de usos del sistema



2.5.4 Casos de usos expandidos

Caso de uso	
CU-1	Determinar Minucias
Propósito	Determinar el vector características
Actores Envoltura_sistema (Inicia)	
<p>Resumen: El caso de uso se inicia cuando la Envoltura_sistema provee la imagen de la huella a la librería y provoca el comienzo de un flujo de procesos de los que el primero es el mejoramiento de la imagen. Seguidamente se lleva a cabo la extracción de las minucias que se realiza recorriendo la imagen y tomando de esta pequeñas matrices de 3x3 para seleccionar aquellos puntos que sean centros de estos bloques y cuyas sumas de su 8 vecindad sea 3 ó 1, clasificándolos a su vez en bifurcaciones o terminaciones respectivamente. Por último se realiza la discriminación de falsas minucias. Al final se muestra como salida el vector de características correspondiente a la huella.</p>	
Referencias	RF-4
Acción del actor	Respuesta del sistema
1. El actor Envoltura_sistema introduce la imagen.	2. Mejora la imagen (Ver caso de uso incluido Mejorar imagen)
	3. Recorre la imagen tomando matrices de 3x3.
	4. Suma la 8 vecindad del centro de la matriz escogida y si es 3 ó 1 se escoge dicho punto clasificándolo a su vez en bifurcación o terminación respectivamente.
	4. Discrimina las falsas minucias (Ver caso de uso incluido Discriminar falsas minucias)
	5. Devuelve el vector de minucias y termina el caso de uso.

Caso de uso	
CU-2	Mejorar imagen (caso de uso incluido)
Propósito	Mejorar la imagen de la huella dactilar.
Actores	
<p>Resumen: El caso de uso comienza con la normalización de la imagen, después se determina, paralelamente, el área de trabajo y la orientación de las crestas en la misma, luego se aplica el filtro de Gabor hasta que finalmente esta se esqueletiza.</p>	
Referencias	RF-1
Acción del actor	Respuesta del sistema
	1. Normaliza la imagen
	2. Determina, al mismo tiempo, el área de trabajo y la orientación de las crestas.
	3. Aplica el filtro de Gabor para lograr un buen resaltado de las crestas.
	4. Esqueletiza la imagen y termina el caso de uso

Caso de uso	
CU-3	Discriminar minucias (Caso de Uso incluido)
Propósito	Eliminar las falsas minucias extraídas anteriormente
Actores	
<p>Resumen: Este caso de uso se inicia aplicando el algoritmo Convex Hull para eliminar todos los puntos externos a la huella y delimitar así el área en la que se va a realizar como tal el trabajo de discriminación. Posteriormente se realiza un recorrido por el vector de características y con cada una de las minucias allí plasmadas se ejecutan las acciones que a continuación se describen; se forma un círculo de radio igual a la distancia media entre las crestas determinada anteriormente y centro en el punto característico en cuestión. Todas las minucias pertenecientes al vector que estén dentro del área de dicho círculo son eliminadas y el vector se actualiza. De esta forma se discriminan algunas falsas minucias como los islotes y los holes.</p>	
Referencias	RF-2
Acción del actor	Respuesta del sistema
	1. Aplica el algoritmo Convex Hull.
	2. Realiza un recorrido por el vector de características para ir escogiendo las minucias que serán centros de los círculos.
	3. Se forma el círculo de radio igual a la distancia media entre las crestas y centro en el punto característico escogido en la iteración del recorrido.
	4. Se eliminan todas las minucias del vector de características que se encuentren dentro del círculo formado. Este paso y el anterior se repiten hasta que se recorra todo el vector y se termine el caso de uso.

Conclusiones

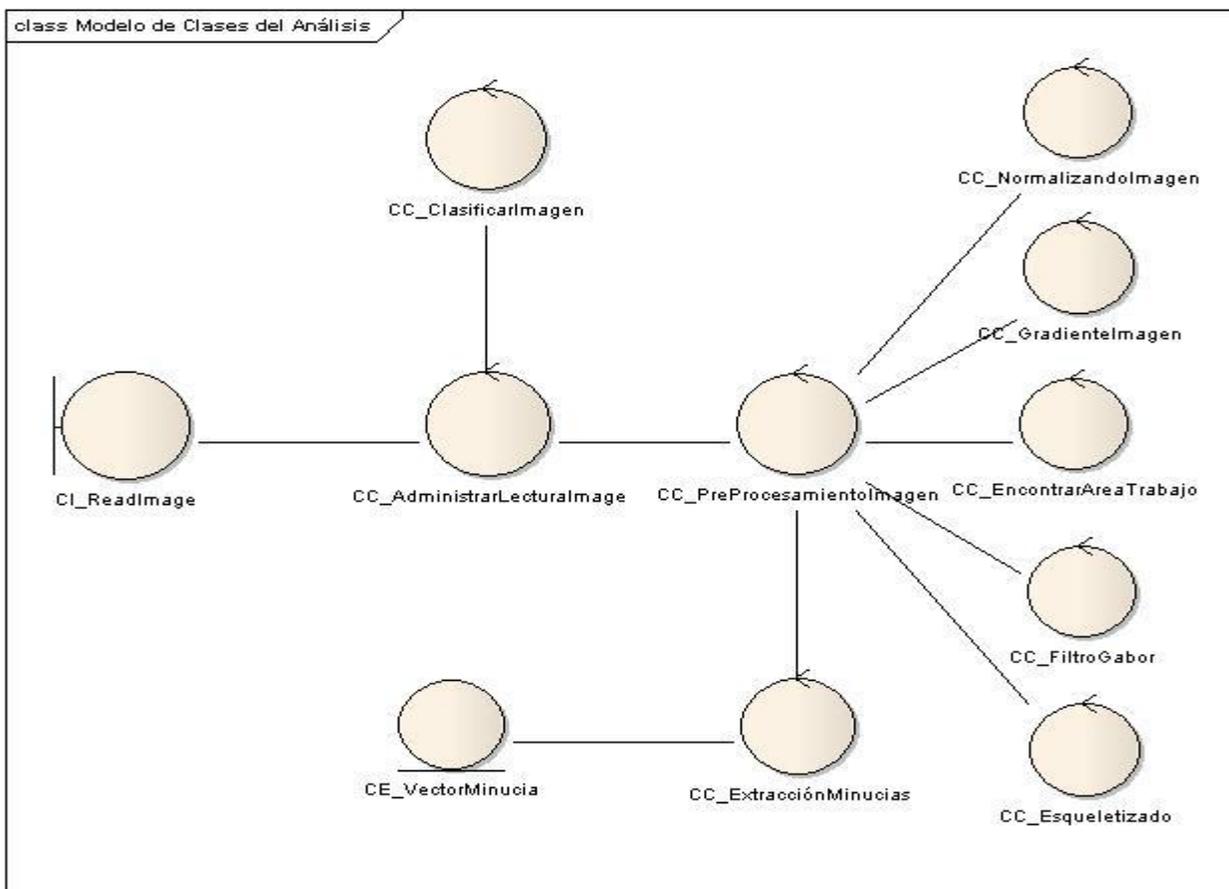
En este capítulo se brindaron las principales características del sistema, se mostró el modelo de dominio conjuntamente con la especificación de los requerimientos funcionales y no funcionales, se describieron también los casos de uso del sistema que sirvieron de guía para el desarrollo del software.

Capítulo 3: Análisis y Diseño

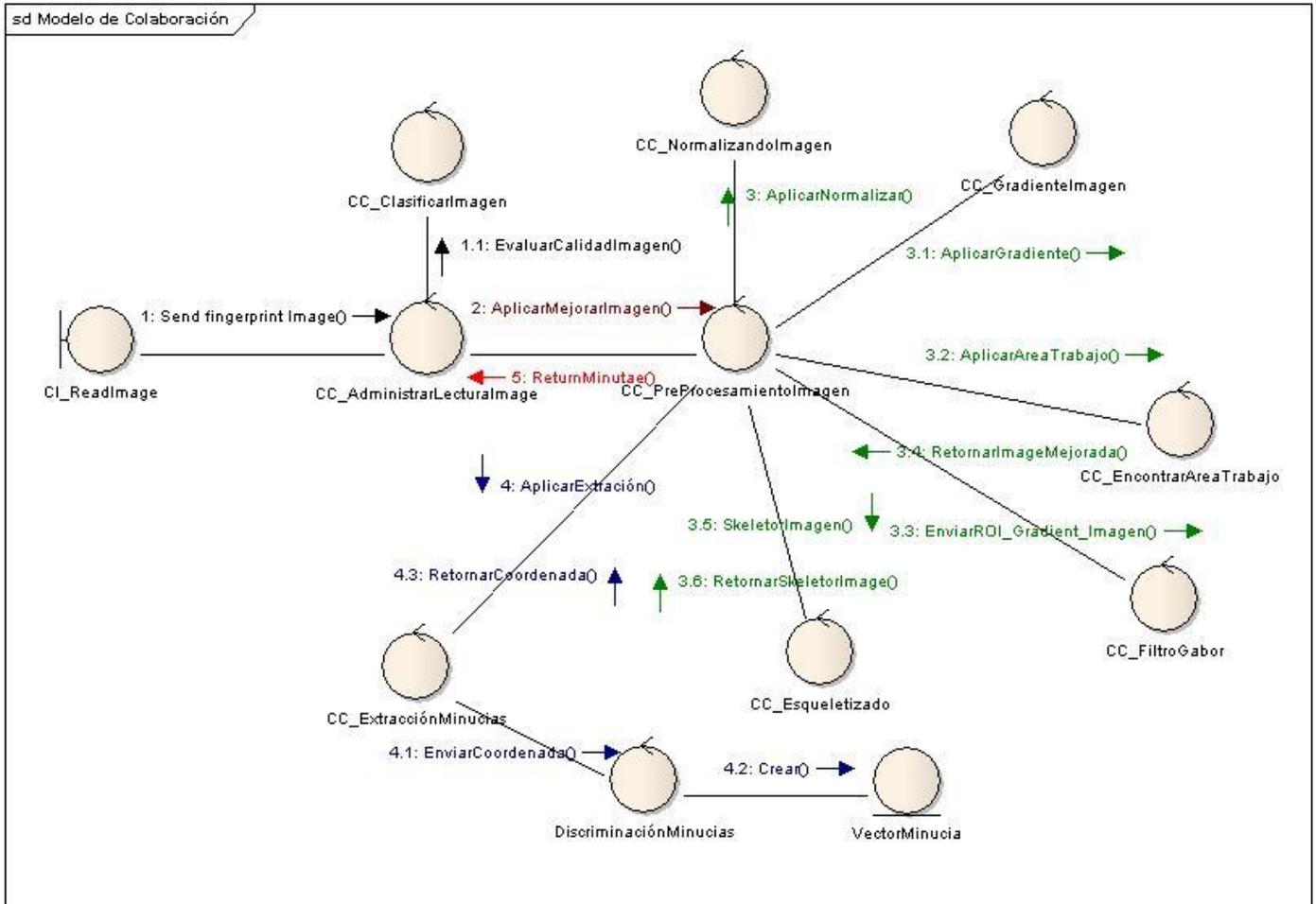
3.1 Análisis

En el diagrama de análisis se muestran los conceptos básicos del sistema, la abstracción más general que se puede hacer del mismo, sin tener en cuenta plataforma o lenguaje a desarrollar. Fue realizado a través de un diagrama clases de UML simplificado, en el que se representan las clases y las asociaciones preliminares entre ellas.

Las clases del análisis se centran en los requisitos funcionales que son evidentes en el dominio del problema porque representan conceptos y relaciones del dominio. Tienen atributos y entre ellas se establecen relaciones de asociación, agregación / composición, generalización / especialización y tipos asociativos.



3.1.1 Diagrama de interacción

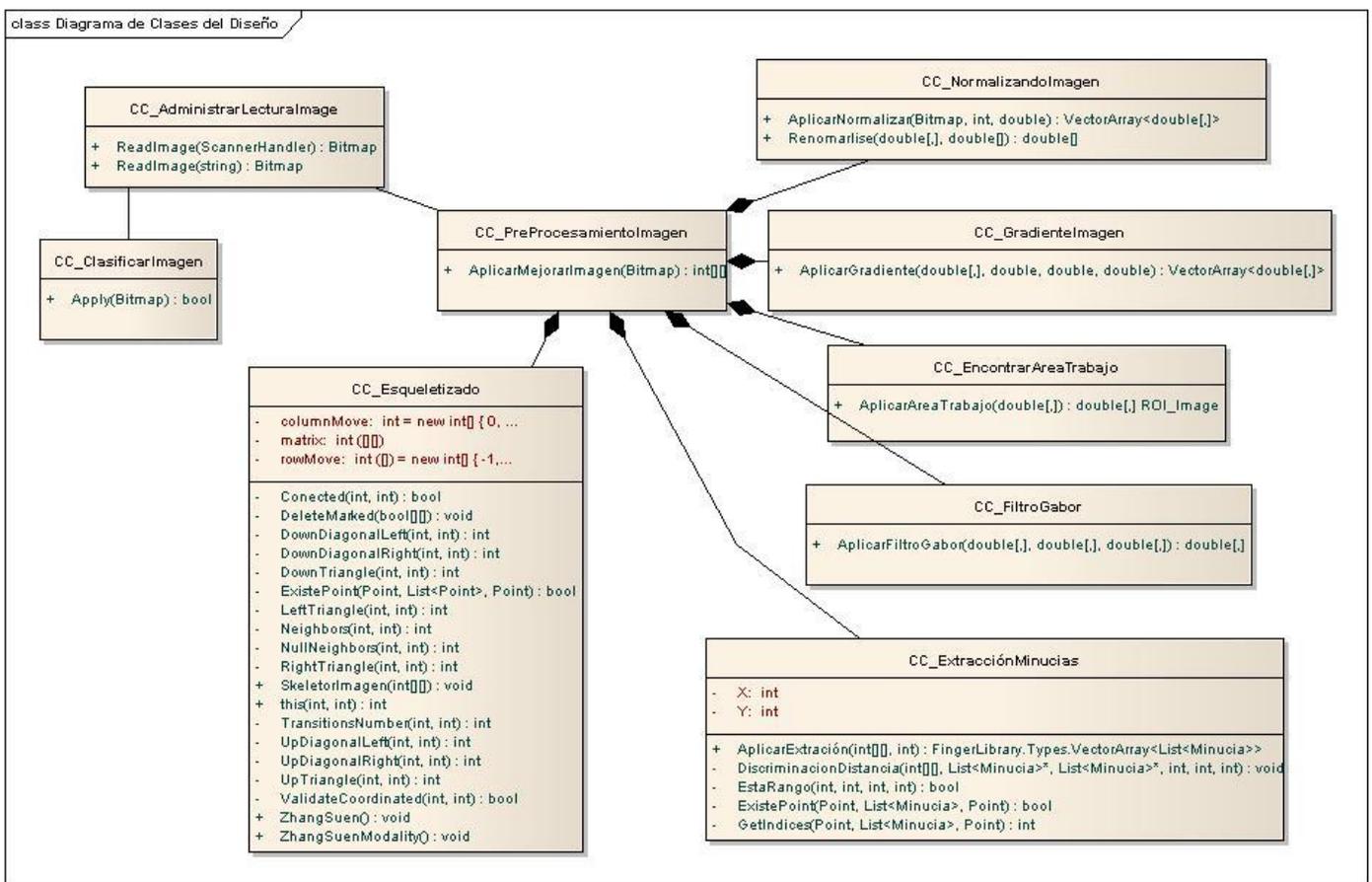


3.2 Diseño

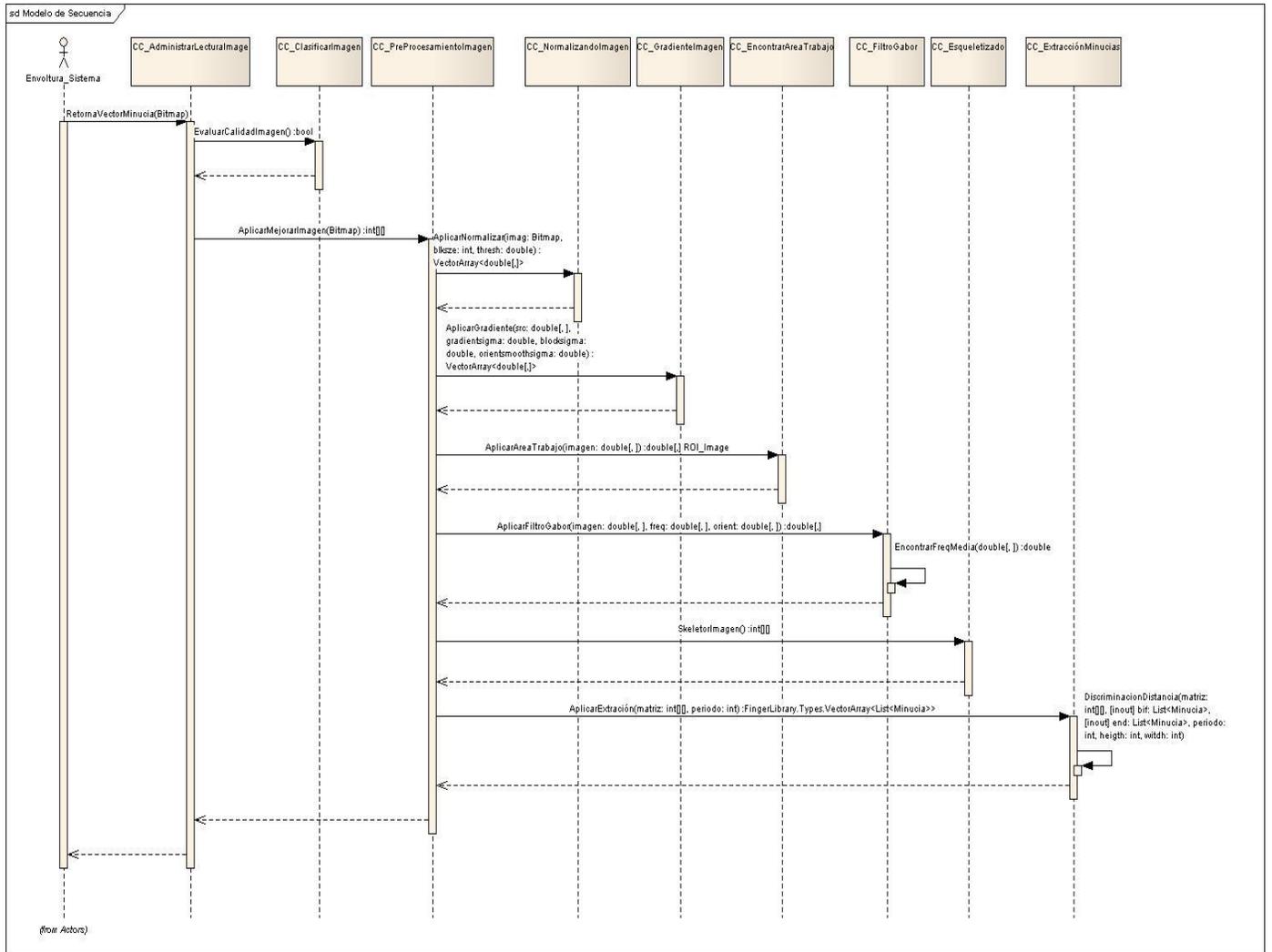
El propósito fundamental del diseño es indicar como se llevará a cabo el sistema. El mismo constituye una parte fundamental del software y durante él se toman decisiones estratégicas y tácticas para cumplir los requerimientos funcionales y de calidad de un sistema, así como también se refina la visión obtenida en el análisis.

3.2.1 Diagrama de Clases del Diseño

Los diagramas de clases son los más utilizados en el modelo de sistemas orientados a objetos. Un diagrama de clases muestra un conjunto de clases, interfaces y colaboraciones, así como sus relaciones. Los diagramas de clases se utilizan para modelar la vista de diseño estática de un sistema y además se obtiene como resultado del refinamiento del modelo conceptual.



3.2.2 Diagrama de interacción del diseño



3.2.3 Descripción de las clases

Nombre: CC_PreProcesamientoImagen	
Tipo de Clase: Controladora	
Atributo	Tipo
Para cada responsabilidad:	
Nombre:	AplicarMejorarImagen
Descripción:	Se encarga de controlar el flujo secuencial de la información.

Nombre: CC_AdministrarLecturaImagen	
Tipo de Clase: Controladora	
Atributo	Tipo
Para cada responsabilidad:	
Nombre:	ReadImage
Descripción:	Facilita de forma genérica la lectura de imágenes de variados formatos.

Nombre: CC_ClasificarImagen	
Tipo de Clase:	
Atributo	Tipo
Para cada responsabilidad:	
Nombre:	Aplicar
Descripción:	Clasifica la imagen tomada, posibilitando

Nombre: CC_NormalizarImagen	
Tipo de Clase:	
Atributo	Tipo
Para cada responsabilidad:	
Nombre:	AplicarNormalizar
Descripción:	Posibilita tener una cierta independencia de las propiedades de la imagen, como lo son el brillo y el contraste.

Nombre: CC_GradienteImagen	
Tipo de Clase: Controladora	
Atributo	Tipo
Para cada responsabilidad:	
Nombre:	AplicarGradiente
Descripción:	Permite hallar la orientación de las crestas de la huella dactilar, dividiéndola en bloques de $W \times W$, y luego aplicándole la fórmula definida por (Rocío Gutiérrez Lecca, 2005) para el cálculo de la orientación partiendo de los gradientes.

Nombre: CC_EncontrarAreaTrabajo	
Tipo de Clase:	
Atributo	Tipo
Para cada responsabilidad:	
Nombre:	AplicarAreaTrabajo
Descripción:	Permite definir en la huella dactilar que parte es fondo (región blanca), y cual es frente o área de trabajo (zona donde están ubicadas las crestas), partiendo de dividir la imagen en bloques de $W \times W$ y hallarle la desviación estándar.

Nombre: CC_FiltroGabor	
Tipo de Clase:	
Atributo	Tipo
Para cada responsabilidad:	
Nombre:	AplicarFiltroGabor
Descripción:	Permite resaltar las crestas de la imagen a partir de tener la orientación de las crestas, el área de trabajo y la frecuencia media por bloque $W \times W$.

Nombre: CC_ExtraccionMinucias	
Tipo de Clase:	
Atributo	Tipo
X	int[]
Y	int[]
Para cada responsabilidad:	
Nombre:	AplicarExtracción
Descripción:	Permite extraer y discriminar las minucias de la huella dactilar.

Nombre: CC_Esqueletizado	
Tipo de Clase:	
Atributo	Tipo
columnMove	int[]
matrix	Int[,]
rowMove	Int[]
Para cada responsabilidad:	
Nombre:	SkeletorImagen
Descripción:	Maneja el flujo de eventos para lograr esqueletizar la imagen resaltada de la huella dactilar.
Nombre:	ZhangSuen
Descripción:	Permite esqueletizar las huellas dactilares partiendo del algoritmo propuesto por Zhang Suen.

Conclusiones

En el presente capítulo se presentaron las etapas del flujo de trabajo de análisis y diseño, habiéndose hecho el modelo de clases del análisis y del diseño, el diagrama de colaboración correspondiente para cada una de las operaciones del sistema propuesto. Se ha realizado una descripción detallada en forma de tablas de las clases que conforman el diagrama de clases del diseño, describiéndose cada uno de los atributos y funciones que conforman dichas clases. Teniéndose así una idea más precisa de los elementos constitutivos del sistema que se propone.

Capítulo 4: Implementación

En el flujo de trabajo Implementación se define cómo se organizan las clases y objetos en componentes, cuáles nodos se utilizarán, la ubicación en ellos de los componentes. El objetivo de este flujo de trabajo del Proceso Unificado de Desarrollo, es desarrollar la arquitectura y el sistema como un todo (**Jacobson Ivar, 2000**).

En el presente capítulo se abunda sobre la implementación del sistema propuesto, además se describen los componentes del mismo y se expone el diagrama de componentes.

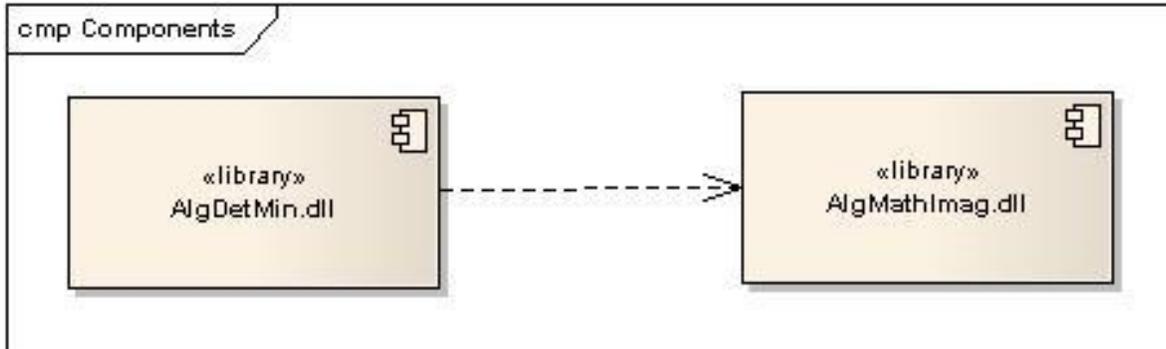
4.1 Descripción de los componentes del sistema

Los algoritmos propuestos en el presente trabajo se exponen dentro del ensamblado (**Archer, 2001**) AlgDetMin.dll. En el mismo se encuentran los espacios de nombres AlgDetMin.Improvement y AlgDetMin.MinDefinition.

En el primero de los espacios de nombres mencionados, se encuentran todos los tipos que permiten el mejoramiento de la imagen de la huella dactilar mientras que el segundo contiene los tipos que posibilitan la definición de las minucias de la huella dactilar.

El componente reutilizable AlgMathImg.dll, creado y empleado durante el desarrollo del sistema, se compone de tipos que permiten analizar y procesar imágenes digitales. Funcionalidades tales como el cálculo de la desviación estándar, la determinación de gradiente (**Rocío Gutiérrez Lecca, 2005**), la normalización de una imagen y el filtro de Gabor se exponen en dicho elemento.

4.2 Diagrama de componentes



Conclusiones

En este capítulo se han descrito los componentes ejecutables involucrados en el sistema propuesto. Se abundó acerca de la estructura de AlgDetMin.dll caracterizando a su vez a sus espacios de nombre y los tipos contenidos en cada uno de ellos. Además, se presentó el diagrama de componentes de dicho sistema.

Conclusiones

En la realización del presente trabajo se caracterizaron los diversos algoritmos existentes para la verificación de personas por huellas dactilares, se propusieron los pasos del procesamiento de imágenes necesarios para la implementación de un algoritmo basado en minucias. Además, se implementaron los algoritmos para el resaltado de las imágenes y los procedimientos de extracción y discriminación de los puntos característicos.

Se cumplió con el objetivo propuesto para el trabajo pues se implementó una librería que facilita la verificación de personas por huellas dactilares utilizando técnicas basadas en minucias.

Para ello se propusieron los pasos de un algoritmo que sientan las bases de un futuro sistema de reconocimiento (AFRS) cubano y se detalló la estructura y el diseño del mismo. La sensibilidad, la especificidad, el índice de falsos positivos y el índice de falsos negativos, son competentes comparándolos con los propuestos por los estándares internacionales. Se demostró que el ensamblado .NET creado, es compatible con la plataforma libre Mono.

Recomendaciones

Durante el desarrollo del presente trabajo surgieron ideas que pudieran tenerse en cuenta para un futuro desarrollo en busca de una aplicación más abarcadora; por esto se recomienda:

1. Contactar a través de la dirección del proyecto, la facultad y la universidad con el grupo de trabajo del MININT que está inmerso en el desarrollo de un AFIS cubano para realizar intercambios técnicos en cuanto al algoritmo propuesto en el presente trabajo.
2. Incorporar nuevos tipos de minucias (cores y deltas) para un mejor indexado en las bases de datos a partir de las clasificaciones de los Mapas de Poincaré y así facilitar el macheo.
3. Incorporar nuevos criterios de discriminación de minucias.

Bibliografía

Cogent. (2007). *CogentAFIS*. Recuperado el 21 de noviembre de 2008, de www.cogentsystems.com:
<http://www.cogentsystems.com/cogentAFIS.asp>

E.U.A, G. d. (7 de 10 de 2000). *National Institute of Standards and Technology*. Recuperado el 20 de 1 de 2009, de [nist.gov](http://www.nist.gov): <http://www.nist.gov/>

Enterprise Architect - Herramienta de diseño UML. (2007). Recuperado el 20 de noviembre de 2008, de msdn.microsoft.com: <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/3h0544kx>

Gabor, F. d. (16 de Octubre de 2008). *Filtro de Gabor*. Recuperado el 24 de noviembre de 2008, de <http://es.wikipedia.org>: http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_de_Gabor

González, C. G. (2007). *Aplicación de metodología ágil de almacenes de datos basada en el proceso unificado de desarrollo*. Recuperado el 20 de noviembre de 2008, de www.monografias.com:
<http://www.monografias.com/trabajos64/aplicacion-metodologia-agil-almacenes-datos/aplicacion-metodologia-agil-almacenes-datos2.shtml>

González, R. C. (2001). *Digital Image Processing*. University of Tennessee.

Guillermo Sampallo., A. G. *Segmentación y filtro en imágenes usando la transformada de Fourier solo de fase*.

Historia de la Biometría. (2008). Recuperado el 20 de noviembre de 2008, de www.biometria.gov.ar:
<http://www.biometria.gov.ar/index.php/documentos/58-historia-de-la-biometria>

Innovatrics. (2008). *Technology - Overview*. (Innovatrics) Recuperado el 22 de noviembre de 2008, de www.innovatrics.com: <http://www.innovatrics.com/technology/overview>

Jacobson Ivar, G. B. (2000). *El Proceso Unificado de Desarrollo*. Addison Wesley Logman.

Jain K., C. S. Adaptive Flow Orientation Based Feature Extraction in Fingerprint Images.

Maestre, J. S. (2000). *Sistema eficiente de reconocimiento de gestos de la mano*. Madrid: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

Microsoft. (2008).

Ministerio de Justicia, S. y. (2008). *Historia de la Biometría*. Recuperado el 20 de noviembre de 2008, de www.biometria.gov.ar: <http://www.biometria.gov.ar/index.php/documentos/58-historia-de-la-biometria>

Monografías. (12 de julio de 2007). *Matlab*. Recuperado el 20 de noviembre de 2008, de www.monografias.com:
<http://www.monografias.com/trabajos5/matlab/matlab.shtml>

Morpho, S. (2005). Recuperado el 21 de noviembre de 2008, de www.morpho.com: <http://www.morpho.com/>

Motorola. (2008). *Biometrics*. Recuperado el 21 de noviembre de 2008, de www.motorola.com:
<http://www.motorola.com/biometrics>

MSDN. (2008). *Introducción a Visual SourceSafe*. (Microsoft) Recuperado el 20 de noviembre de 2008, de
msdn.microsoft.com: <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/3h0544kx>

NEC. (2008). *IDS/AFIS*. (NEC Corporation of América) Recuperado el 22 de noviembre de 2008, de www.necam.com:
<http://www.necam.com/IDS/AFIS/>

Neurotechnology. (1998). *Fingerprint biometrics*. (Neurotechnology) Recuperado el 22 de noviembre de 2008, de
www.neurotechnology.com: <http://www.neurotechnology.com/fingerprint-biometrics.html>

Rocío Gutiérrez Lecca, C. P. (2005). *Mejoramiento del Rendimiento de la Extracción de Minucias para el Reconocimiento Automático de Huellas Dactilares*. Universidad Nacional de Trujillo (UNT).

Seco, J. A. (22 de enero de 2008). *El lenguaje de programación C#. Introducción a C#*. Recuperado el 20 de noviembre de 2008, de programmatium.blogspot.com: http://programmatium.blogspot.com/2008/01/el-lenguaje-de-programacin-c_23.html

Shlomo Greenberg., M. A. Fingerprint Image Enhancement using Filtering Techniques.

Wikipedia. (2008). Obtenido de Wikipedia.

WUZHILI. Fingerprint Recognition.