

Universidad de las Ciencias Informáticas

Facultad 2



Componente para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía

Trabajo de Diploma para optar por el Título de
Ingeniero en Ciencias Informáticas

Autores: Licett Pérez Marín
Fredy Adriano Jiménez Martínez

Tutor: Ing. Maikel Sánchez Dieguez
Co-tutora: Ing. Yaniurbys Reynaldo Oms.

La Habana, 20 de junio de 2014
“Año 56 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaramos que somos los únicos autores de este trabajo y autorizamos a la Universidad de las Ciencias Informáticas a hacer uso del mismo en su beneficio.

Para que así conste firmamos la presente a los 20 días del mes de Junio del año 2014.

Autores:

Licett Pérez Marín

Fredy Adriano Jiménez Martínez

Tutores:

Maikel Sánchez Dieguez

Yaniurbys Reynaldo Oms

DATOS DE CONTACTO

Tutor:

Ing. Maikel Sánchez Diéguez, Graduado en la Universidad de Ciencias Informáticas en el año 2010, pertenece al departamento SWMI del centro CESIM, ocupa la plaza de especialista y se desempeña como líder de equipo de desarrollo del sistema alas PACS. En el departamento se ha desempeñado como profesor tutor de estudiantes de 3ro y 4to año.

Correo electrónico: msdiequez@uci.cu

Co-tutora:

Ing. Yaniurbys Reynaldo Oms, Graduada en la Universidad de Ciencias Informáticas en el año 2013, pertenece al departamento de *Software* Médico Imagenológico (SWMI) del Centro Especializado en Soluciones de Informática Médica (CESIM), ocupa el rol de Analista. En el departamento se ha desempeñado como profesor tutor de estudiantes de 4to año.

Correo electrónico: yoms@uci.cu

DEDICATORIA

De Licett:

Le dedico este trabajo a mi mamá especialmente por ser la mejor madre del mundo.

A mi hermana y a meli por estar siempre a mi lado y darme tanto amor.

De Fredy:

Les dedico este trabajo a mis padres por el apoyo que me han dado en toda mi vida, por ser mis mejores amigos y además los mejores padres del mundo.

A mi hermanita también se lo dedico por sus chistes jejej, por quererme y ser la mejor hermana que se puede tener.

AGRADECIMIENTOS

De Licett y Fredy:

Le agradecemos a toda nuestra familia que de una forma u otra siempre se han preocupado por nosotros.

A las amistades con las que hemos compartido estos cinco años de nuestra vida y a los compañeros grupo por hacer las clases más divertidas.

A los tutores Maikél y Yani por ayudarnos con sus consejos y críticas.

De Licett además:

A mi mamá, por su apoyo incondicional en todo momento y por ser la persona más importante en mi vida.

A mi hermana que siempre me ha aconsejado y ha estado a mi lado, a meli que siempre me alegra con sus ocurrencias.

A mi papá, a mis tíos Beto y Maritza y a Sandra que siempre me han apoyado y se han preocupado por mí.

A mi novio por comprenderme, ayudarme y quererme tal y como soy.

A las niñas de mi apartamento, con las que he convivido estos 5 años de mi vida.

De Fredy además:

A el piquete del apartamento por las jodederas y el chucho de todos los días, a Zulema por enseñarme a comer más ensaladas o arroz con yogurt jeje y ayudarme en todo lo que ella pudo en la escuela, a mi compañera de tesis Licett, a mis compañeros de ejercicios Francis, Rudy y Ricardo que ya sea con las competencias de Insanity, Abdominales o en el Gym me ayudaron a relajarme y a joder, a todas mis amistades por los momentos que pasamos juntos, a mi socio Alejandro.

En especial le agradezco a mi mamá, mi papá y a mi hermana por ser las personas más grandes de mi vida y a las que más quiero.

RESUMEN

En la actualidad una de las principales causas de muerte entre las mujeres lo constituye el cáncer de mama, las muertes por esta enfermedad podrían disminuirse si la detección y el tratamiento se realizaran en una etapa precoz. La mamografía ha demostrado ser el método más adecuado para la detección precoz de este tipo de cáncer. Muchas son las anomalías que pueden encontrarse en estudios de mamografías y las calcificaciones son una de ellas.

Las calcificaciones constituyen el hallazgo más frecuente del cáncer de mama asintomático, estas son muy difíciles de detectar y diagnosticar. El doble diagnóstico es una alternativa recomendada para una mejor interpretación de las imágenes de mamografía, pero como cada imagen debe ser revisada por dos radiólogos, este procedimiento resulta ineficiente. Una alternativa viable es que el otro radiólogo sea un ordenador actuando como la segunda opinión, así los resultados obtenidos por el ordenador pueden ser confirmados o rechazados.

Con el fin de mejorar los diagnósticos médicos se desarrolló un componente que detecta calcificaciones en imágenes de mamografía, haciendo uso de la técnica de Modelado Fractal de mamografías basado en media y varianza.

Para la validación de los resultados se utilizó una muestra de 40 imágenes, obtenidas de la base de datos MIAS. De las 40 imágenes seleccionadas 3 mostraron falsos positivos, 2 falsos negativos y 35 resultados acertados, representando esto un 7,5%, 5% y 87,5% respectivamente del total de imágenes seleccionadas.

Palabras claves:

Calcificaciones, componente, mamografía, técnicas de detección.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA DETECCIÓN DE CALCIFICACIONES EN IMÁGENES DE MAMOGRAFÍA.	6
1.1. IMÁGENES MÉDICAS.	6
1.2. MODALIDADES DE IMÁGENES MÉDICAS.	6
1.2.1. MAMOGRAFÍA.....	7
1.2.1.1. ANOMALÍAS DETECTADAS EN ESTUDIOS DE MAMOGRAFÍA.	8
1.3. SISTEMAS PARA EL ALMACENAMIENTO, TRANSMISIÓN Y VISUALIZACIÓN DE IMÁGENES MÉDICAS DIGITALES (PACS).	8
1.4. ESTÁNDAR PARA EL INTERCAMBIO DE IMÁGENES MÉDICAS DIGITALES (DICOM).....	9
1.5. PRE-PROCESAMIENTO DE IMÁGENES MÉDICAS.	9
1.6. TÉCNICAS PARA LA DETECCIÓN DE CALCIFICACIONES.....	10
1.7. UTILIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS POR OTROS AUTORES.....	11
1.8. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN.....	12
1.9. ENTORNO DE DESARROLLO INTEGRADO (IDE).	13
1.10. PLATAFORMA DE DESARROLLO.	13
1.11. HERRAMIENTAS DE INGENIERÍA DE SOFTWARE ASISTIDA POR COMPUTADORA (CASE).	14
1.12. METODOLOGÍAS DE DESARROLLO.....	14
1.13. BASES DE DATOS CON IMÁGENES DE MAMOGRAFÍA.....	16
1.13.1 SOCIEDAD DE ANÁLISIS DE IMÁGENES MAMOGRÁFICAS	16
1.13.2 BASE DE DATOS DIGITAL PARA MAMOGRAFÍAS EXPLORATORIAS	16

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	17
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS Y DISEÑO DEL COMPONENTE PARA LA DETECCIÓN DE CALCIFICACIONES EN IMÁGENES DE MAMOGRAFÍA	18
2.1 PROPUESTA DE SOLUCIÓN.	18
2.2 MODELO DE DOMINIO.	18
2.3 ESPECIFICACIÓN DE LOS REQUISITOS DE <i>SOFTWARE</i>	19
2.4 DEFINICIÓN DEL ACTOR DEL SISTEMA.	21
2.5 DIAGRAMA DE CASOS DE USO DEL SISTEMA.....	22
2.5.1 CASOS DE USO EXPANDIDOS. (VER ANEXO 2)	22
2.6 ESTILO ARQUITECTÓNICO A UTILIZAR.....	22
2.7 PATRONES DE DISEÑO.	25
2.7.1 EXPERTO.....	26
2.7.2 POLIMORFISMO.....	26
2.7.3 CONTROLADOR.....	27
2.8 DIAGRAMA DE CLASES DEL DISEÑO.	28
2.9 DIAGRAMA DE SECUENCIA.....	30
CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	32
CAPÍTULO 3. IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DEL COMPONENTE PARA LA DETECCIÓN DE CALCIFICACIONES EN IMÁGENES DE MAMOGRAFÍA.....	33
3.1 ESTILOS DE CODIFICACIÓN.	33
3.2 FRAGMENTOS DE CÓDIGO.	36
3.3 SEGURIDAD DEL COMPONENTE.....	40
3.4 VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	40

CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	44
CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES.....	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEXOS	55
ANEXO 1 MODELO DE DOMINIO.....	55
ANEXO 2 CASOS DE USO EXPANDIDOS.....	56
ANEXO 3 ENTREVISTA REALIZADA AL DR. ROBERTO MIRANDA.....	59
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dirección de las radiografías que deben ser tomadas a cada mama.	7
Figura 2. Requisitos Funcionales.	19
Figura 3. Diagrama de Casos de Uso.	22
Figura 4. Aplicación del estilo arquitectónico Tuberías y Filtros en el componente para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía.	23
Figura 5. Integración del componente al visor de imágenes médicas a través de un aditamento (plugins). ..	24
Figura 6. Integración del componente al visor de imágenes médicas importando una dll.	25
Figura 7. Patrón Experto.	26
Figura 8. Patrón Polimorfismo.	27
Figura 9. Patrón Controlador.	28
Figura 10. Diagrama de Clases del Sistema.	29
Figura 11. Diagrama de Secuencia del Sistema.	30
Figura 12. Simulación de las posiciones Ri y Di en una imagen.	32
Figura 13. Modelo de Dominio.	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción del actor del sistema.	22
Tabla 2. Aplicación del componente para la detección de calcificaciones usando imágenes de la base de datos MIAS.	43
Tabla 3. Resultados estadísticos de la validación del componente aplicado a imágenes con calcificaciones.	44
Tabla 4. CU 1 expandido.	57
Tabla 5. CU 2 expandido.	58

INTRODUCCIÓN

La imagen digital con el paso de los años ha ido evolucionando, de tal forma que en la actualidad se pueden obtener estas imágenes con muy alta calidad. La imagen digital (1) se incorpora a la medicina en la década del 70 con el surgimiento del término radiología digital, la cual ha ido sustituyendo paulatinamente a la radiología analógica, y esto se debe a que el empleo de imágenes digitales en la asistencia de diagnósticos es más ventajoso, por ser este tipo de imágenes de mayor resolución y densidad, lo que permite ver estructuras de pequeño tamaño. Son muchas las modalidades de imágenes médicas que han favorecido considerablemente la comprensión y el diagnóstico de diversas patologías mediante el uso de la imagen digital, y es a partir de estas tecnologías que se hizo necesario el almacenamiento, transmisión y gestión de las imágenes médicas, encargándose de esta tarea sistemas informáticos especializados como los *PACS*¹.

Los sistemas *PACS* (2) entre sus componentes incluyen estaciones de visualización, estas permiten mostrar e interpretar las imágenes y realizar transformaciones sobre ellas, tales como: la aplicación de brillo y contraste, la ampliación, rotación, medición y comparación con otras imágenes, entre otras. A pesar de estas facilidades brindadas por el visor, el análisis de las imágenes médicas digitales es un proceso engorroso; y esto provoca que el profesional encargado de analizarlas, en ocasiones, no sea capaz de detectar en ellas algunas lesiones, ya sea porque son muy pequeñas o no se aprecien con claridad en la imagen, influyendo negativamente en los diagnósticos médicos.

Una posibilidad para mejorar los diagnósticos consiste en utilizar sistemas de Diagnóstico Asistido por Ordenador (*CAD*²) (3). Un sistema *CAD* analiza una imagen médica y trata de detectar zonas sospechosas de contener alguna anomalía. Estas zonas son marcadas sobre la propia imagen con un doble objetivo: llamar la atención del profesional encargado de analizarla hacia la zona sospechosa y aportar una segunda opinión respecto al diagnóstico.

¹ *Picture Archiving Communication System.*

² *Computer-Aided Diagnosis.*

En la actualidad, una de las principales causas de muerte entre las mujeres lo constituye el cáncer de mama, así lo han reportado las estadísticas publicadas por la Organización Mundial de Salud (OMS) (4), este tipo de cáncer representa el 16% de todos los cánceres femeninos. La mortalidad del cáncer de mama (5) se incrementó desde el 2008 hasta el 2012 en un 14%, con un total de 522,000 muertes en 2012. En los últimos años esta negativa evolución en las estadísticas del cáncer de mama podría disminuirse, si la detección y el tratamiento se realizaran en una etapa precoz, lográndose con ello, en muchos casos, la curación del paciente. La mamografía (3) ha demostrado ser el método más adecuado para la detección precoz del cáncer de mama, la cual permite detectar lesiones mamarias que no son palpables, contribuyendo al diagnóstico de la enfermedad desde su etapa inicial. Numerosas anomalías pueden ser detectadas mediante mamografías y las calcificaciones (6) son una de ellas, siendo estas, pequeños depósitos de calcio que se forman en el seno frecuentemente y aunque la mayoría no representan riesgo alguno, deben ser examinadas cuidadosamente, ya que estas constituyen el hallazgo más frecuente del cáncer de mama asintomático.

La alta relación entre la existencia de calcificaciones y la presencia de cáncer de mama demuestra la importancia de su localización y su utilidad como método de diagnóstico. Sin embargo, la tarea de detección de calcificaciones para el diagnóstico de cáncer de mama resulta compleja, destacándose tres importantes dificultades que suelen presentarse en su localización: tienen pequeño tamaño, bajo contraste y a menudo aparecen sobre un fondo no homogéneo que refleja la textura de la mama, lo que ocasiona que no se puedan definir con claridad y se confundan con la textura del tejido mamario.

Para lograr una mejor interpretación de las calcificaciones se recomienda el doble diagnóstico, el cual consiste en el análisis de la imagen mamográfica por dos especialistas para luego llegar a un consenso del resultado final, pero como cada imagen debe ser revisada por dos radiólogos este procedimiento resulta ineficiente, tomando más tiempo para la emisión de los diagnósticos y reduciendo la productividad individual de los especialistas.

Por lo anteriormente expuesto, se plantea el siguiente **problema de la investigación**: ¿Cómo asistir la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía de forma más precisa?

Para enmarcar los límites de la investigación se definió como **objeto de estudio** el proceso de detección de anomalías en imágenes médicas digitales, centrando el **campo de acción** en los algoritmos y técnicas para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía.

Definiéndose como **objetivo general** desarrollar un componente de *software* que permita la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía.

Para dar cumplimiento al objetivo general se han definido las siguientes **tareas de la investigación**:

- Caracterización de las principales anomalías que se detectan en estudios de mamografías.
- Descripción de los principales algoritmos y técnicas existentes para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía.
- Valoración de las herramientas y tecnologías existentes para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía.
- Descripción de las principales bases de datos con imágenes de mamografía.
- Selección de una base de datos para la validación de los resultados.
- Definición del modelo de dominio.
- Realización del levantamiento de requisitos de software.
- Descripción de los casos de uso del componente.
- Definición del estilo arquitectónico que será utilizado.
- Implementación del componente de software para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía.
- Validación de la factibilidad en los resultados alcanzados.

Para el proceso de investigación es necesaria la utilización de **métodos científicos de investigación**. A continuación se reseñan los métodos empleados:

Métodos Teóricos:

- **Método Analítico-Sintético:** se utilizó para analizar las teorías, documentos e información vinculados con el proceso de detección de anomalías en imágenes médicas digitales, lo que permitió generar una propuesta adecuada a la situación planteada.
- **Modelado:** se utilizó para reflejar la estructura, relaciones internas y características de la solución a través de diagramas, haciendo uso para ello del lenguaje de modelado UML.
- **Observación:** se utilizó para observar los resultados obtenidos en la caracterización e identificación de los principales algoritmos y técnicas utilizadas para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía, para poder decidir luego cuál será la más adecuada.

Métodos Empíricos:

- **Experimento:** se utilizó en la validación del componente para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía.
- **Entrevista:** se utilizó para conocer el método más adecuado para la detección de calcificaciones.

Beneficios que ofrece la implementación del componente para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía:

- Detección de calcificaciones de forma más precisa, lo que mejora los diagnósticos médicos.
- Mayor rendimiento individual de los especialistas, ya que la el análisis de las imágenes se realiza en menos tiempo, sirviendo el componente como otro radiólogo que aporta una segunda opinión.

Estructuración del contenido.

El presente trabajo está estructurado de la siguiente manera: introducción, tres capítulos que serán descritos a continuación, recomendaciones, referencias bibliográficas, bibliografía y anexos.

Capítulo 1: Fundamentación teórica de la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía.

En este capítulo se aborda el tema del proceso de detección de calcificaciones en imágenes de mamografía, realizándose para ello un estudio de algunas de las técnicas empleadas para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía. También se analizaron las principales tecnologías, herramientas y metodología utilizadas para el desarrollo del componente.

Capítulo 2: Análisis y Diseño del componente para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía.

En este capítulo se presenta la propuesta de solución para la situación problemática. Se muestran los procesos del negocio mediante el modelo de dominio y las características y funcionalidades que tendrá el componente a partir de los requerimientos funcionales y no funcionales del mismo. Además se presenta el diagrama de casos de uso del componente con las correspondientes especificaciones de los casos de uso. Se describe cómo implementar el componente a través del diseño, se explica la arquitectura utilizada y se realizan los diagramas de clases y los diagramas de interacción según los casos de uso definidos.

Capítulo 3: Implementación y validación del componente para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía.

En este capítulo se describen los estilos de codificación utilizados como buenas prácticas, los fragmentos relevantes del código y se realiza la validación de los resultados, con el fin de demostrar la efectividad del componente.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA DETECCIÓN DE CALCIFICACIONES EN IMÁGENES DE MAMOGRAFÍA.

En este capítulo se abordan de manera sintetizada los elementos básicos teóricos, de las técnicas empleadas para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía. Estudiándose así: el concepto de imágenes médicas y dentro de estas, la mamografía y anomalías que pueden encontrarse en esta, pre-procesamiento de las imágenes y técnicas empleadas para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía.

1.1. Imágenes Médicas.

Se le llama imagen médica (7) al resultado de aplicar un conjunto de técnicas y procesos, que son usados con el fin de crear imágenes del cuerpo humano, o parte de él, aprovechando en sí las características físicas y químicas de estas, con propósitos clínicos (procedimiento médico que busca revelar, diagnosticar o examinar enfermedades) o para la ciencia médica. Las imágenes médicas poseen dos parámetros importantes:

Contraste: capacidad de la imagen para revelar diferencias sutiles en la composición de los distintos tejidos del organismo. Como la mayor parte de las imágenes médicas son en blanco y negro, el contraste se suele manifestar en forma de niveles de grises.

Resolución: grado de detalle, puede ser espacial y temporal. Espacial es la distancia mínima que debe haber entre dos puntos para poder identificarlos en la imagen como independientes y temporal es la capacidad para adquirir una imagen óptima en el menor tiempo posible.

1.2. Modalidades de imágenes médicas.

Las modalidades de imágenes médicas (8) son las diferentes técnicas utilizadas para su obtención. Se clasifican de acuerdo al contenido en: anatómico (estructural) o fisiológico (funcional). Cada una de estas modalidades de imagen proporciona una función y características únicas que no pueden ser reemplazadas por las otras modalidades.

Anatómicas: se caracterizan por producir imágenes de muy buena resolución espacial.

Funcionales: se caracterizan por aportar información sobre el funcionamiento de los diferentes órganos o sistemas.

El elemento básico que define las diferentes modalidades es el tipo de energía utilizada, por ejemplo la Radiología utiliza rayos X, la Ecografía utiliza ultrasonido, la Resonancia Magnética utiliza ondas de radio, la Endoscopía utiliza luz y la Medicina Nuclear utiliza rayos gamma.

1.2.1. Mamografía.

La mamografía (9) es un examen radiológico que usa una dosis baja de rayos X para examinar las mamas, aprovechando la propiedad de los mismos de atravesar el cuerpo y producir una imagen en una película fotográfica o en una placa de registro digital. El objetivo de una mamografía es el análisis de la forma, consistencia y componentes de las mamas, en busca de algún tipo de irregularidad que pueda apuntar determinada afección de salud, especialmente de aquellas que puedan derivar eventualmente en diferentes tipos de cáncer.

Existen dos tipos básicos de mamografía de acuerdo a su uso: la de exploración y la de diagnóstico. En el caso de la mamografía de exploración, la OMS sugiere realizar una cada año a las mujeres mayores de 40 años, con el propósito de ayudar a la detección temprana del cáncer de mama, la mamografía de diagnóstico por su parte se aplica a pacientes a los cuales se les ha hallado algún signo anormal en su mamografía de exploración. Generalmente se realizan dos proyecciones de cada mama (9), de arriba abajo y lateral, denominadas vista Craneocaudal (CC) y Mediolateral Oblicuo (MLO) respectivamente, como se observa en la **Figura 1**.

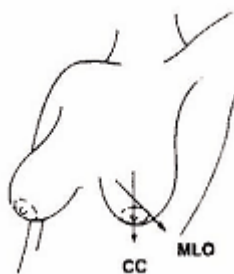


Figura 1. Dirección de las radiografías que deben ser tomadas a cada mama.

1.2.1.1. Anomalías detectadas en estudios de mamografía.

Son muchos los hallazgos mamográficos que se pueden detectar mediante estudios de mamografías, las masas, distorsiones arquitecturales de pequeño tamaño y calcificaciones son los que se presentan con más regularidad, y la mayoría de las veces constituyen signos de presencia o posible desarrollo de un cáncer de mama. A continuación se describen estos tres hallazgos:

- **Masas:** lesión que ocupa espacio y es evidente en dos proyecciones diferentes. Si sólo se visualiza en una proyección, debe denominarse "densidad" mientras no se compruebe su tridimensionalidad (10).
- **Calcificaciones:** pequeños depósitos de calcio que se forman en el seno a medida que la mujer envejece. Son comunes, y pueden ser resultado entre otras cosas, de golpes en el seno e inflamación (11).
- **Distorsiones Arquitecturales:** es un cambio anormal del tejido de la glándula mamaria (12).

Las calcificaciones (6) son el hallazgo más frecuente del cáncer de mama asintomático, apareciendo en más de la mitad de los casos, lo que les confiere un indudable interés diagnóstico. La presencia de depósitos de calcio en la mama es muy frecuente, pudiendo ser desde 0.1mm hasta llegar a medir 2 mm y aunque la mayoría de las calcificaciones no representan riesgo alguno, deben ser examinadas cuidadosamente.

Debido al surgimiento de una gran cantidad de modalidades de imágenes médicas, se hizo necesaria la gestión, transmisión y almacenamiento de las imágenes, encargándose de estas tareas sistemas informáticos especializados como los *PACS*.

1.3. Sistemas para el almacenamiento, transmisión y visualización de imágenes médicas digitales (*PACS*).

Los sistemas *PACS* (2) están formados por las modalidades o equipos de adquisición de imágenes, redes de comunicaciones, servidores de imágenes, y las estaciones de visualización y procesamiento de la información. Todos esos elementos se integran de forma coherente a través de aplicaciones de software que son la interfaz entre los usuarios y la infraestructura tecnológica. El principal objetivo de los *PACS* es: permitir el funcionamiento del servicio de imágenes sin la necesidad de la impresión de placas

radiológicas ni de papeles para la información clínica asociada a las imágenes, supliendo los altos costos en tiempo y dinero que esto significa.

Para poder establecer comunicación entre equipos y sistemas informáticos de diferentes fabricantes que no generaban la información en el mismo formato, se hizo necesario el desarrollo de un estándar que facilitara el manejo de las imágenes y posibilitara la comunicación y compatibilidad de los mismos, este estándar fue evolucionando hasta denominarse *DICOM*³.

1.4. Estándar para el intercambio de imágenes médicas digitales (*DICOM*).

DICOM (13) es un protocolo de comunicación que se utiliza en los entornos sanitarios. Fue promovido por el Colegio Americano de Radiología (*ACR*⁴) y la Asociación Nacional de Productores de Equipos Eléctricos (*NEMA*⁵) en 1985 y marcó el comienzo de la utilización de la imagen médica de manera normalizada en las organizaciones sanitarias. Este protocolo facilita la interoperabilidad entre dispositivos de imágenes médicas de diversos fabricantes, permitiendo el envío y recepción de imágenes médicas con procedimientos estandarizados e independientes de la marca y el modelo de las modalidades. Este estándar define un formato de imagen digital y una estructura de archivo para las imágenes e información asociada.

1.5. Pre-procesamiento de Imágenes Médicas.

En el proceso de obtención de imágenes médicas influyen factores externos de carácter físico como son: los niveles bajos de iluminación, tiempo de adquisición, el polvo, el ruido aleatorio, entre otros (14); los mismos son difíciles de controlar y pueden provocar que las imágenes introduzcan información no deseada como ruidos, artefactos, diferencia de contraste y deformaciones, dificultándose así su interpretación. Estos factores son tratados en la primera fase del procesamiento de imágenes, denominada pre-procesamiento, haciendo uso de varias técnicas de mejora de imágenes, con el objetivo

³ Digital Imaging and Communications in Medicine.

⁴ American College of Radiologist.

⁵ National Electrical Manufacturers Association.

de lograr que la información y los objetos contenidos en las imágenes sean claros y su interpretación se facilite, ayudando a que se obtenga mayor precisión y sensibilidad⁶ y que las etapas posteriores entreguen mejores resultados.

1.6. Técnicas para la detección de calcificaciones.

Para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía, en ocasiones se emplea una etapa intermedia para el pre-procesamiento con la finalidad de eliminar aquellos elementos en la imagen que puedan distorsionar el proceso de identificación de las calcificaciones, mientras que otras veces estas pueden ser detectadas directamente, haciendo uso de técnicas o algoritmos que incluyen internamente un mejoramiento a las imágenes. En el presente trabajo se detectan las calcificaciones de forma directa, para ello se realizó un análisis de algunas de las técnicas existentes para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía, con el fin de seleccionar la más apropiada. A continuación se describen las técnicas estudiadas:

1.6.1 Transformada wavelet.

La transformada wavelet (15) se utiliza para la descomposición de una única imagen en varias, conteniendo cada una de ellas los elementos de un determinado tamaño. Es decir, si una imagen contiene elementos muy grandes, que prácticamente ocupen toda la imagen (como puede ser el fondo mamográfico), y otros muy pequeños (como las microcalcificaciones), como resultado de una descomposición wavelet se obtendrían dos imágenes: una que contenga el fondo y otra exclusivamente con las microcalcificaciones.

1.6.2 Segmentación basada en umbralización y crecimiento de regiones.

La técnica Segmentación basada en umbralización y crecimiento de regiones (16) utiliza un filtro para detectar pequeños objetos brillantes en un fondo variable, haciendo el fondo más homogéneo permitiendo la segmentación. Luego se usa una técnica de segmentación por umbralización que permite separar un

⁶ Fracción de cáncer de mama que es detectada mediante una mamografía.

objeto dentro de la imagen del fondo que lo circunda y segmentación por crecimiento de regiones mediante la cual se buscan pixeles que tengan características similares para extraer la calcificaciones candidatas.

1.6.3 Modelado fractal.

El modelado fractal (17) es un método matemático que ha sido ampliamente aplicado a muchas áreas de la ciencia y la ingeniería que permite cuantificar formas complejas. Para la detección de microcalcificaciones utiliza un complejo algoritmo iterativo, y basándose en la teoría de fractales obtiene una imagen que modela la mamografía original (de la cual se han obtenido los parámetros para el modelado). El realce de las microcalcificaciones se realiza mediante la diferencia entre la imagen original y la modelada, descartando valores negativos. Finalmente, será la comparación con un umbral la que permita tomar la decisión de si se trata de microcalcificación o no. Esta técnica tiene dos variantes: modelado fractal convencional y el modelado fractal basado en media y varianza. La diferencia entre estas dos variantes consiste en la función matemática empleada para obtener la imagen modelada de la imagen original.

1.7. Utilización de las técnicas por otros autores.

Los autores Arturo J. Méndez, Miguel Souto, María J. Lado, Pablo G. Tahoces y Juan J. Vidal de la Universidad de Santiago de Compostela en España, en su investigación “*A wavelet-based algorithm for detecting clustered microcalcifications in digitized mammograms*” (18), realizan un amplio estudio sobre la aplicación de la transformada wavelet para la detección de microcalcificaciones, tanto las que aparecen aisladas como las que aparecen en clústeres, teniendo en cuenta el tipo de tejido presente en la mamografía. Este trabajo plantea el uso de una fase de análisis de la imagen a través de una descomposición wavelet, sobre la que imponen un criterio de decisión comparando con un umbral y finalmente un refinamiento de la imagen para la eliminación de falsos positivos haciendo uso del crecimiento de regiones. Las pruebas realizadas en este estudio arrojaron una sensibilidad global de 76.43%.

En la Conferencia Internacional de Inteligencia Computacional y Aplicaciones de Multimedia del 2007, se presentó el trabajo “*Fractal Modeling of Mammograms based on Mean and Variance for the Detection of Microcalcifications*” (17), por los autores Sankar Deepa y Thomas Tessamma de la Universidad de Ciencia

y Tecnología de Cochin, Kerala, India. En dicho trabajo se evidencian datos de la aplicación de las técnicas Transformada wavelet con redes neuronales y Modelado fractal con sus dos variantes en imágenes obtenidas de la base de datos MIAS, logrando como resultados: un 72% de sensibilidad para la transformada wavelet y un 82% para el modelado fractal en sus dos variantes.

El estudio de las investigaciones presentadas anteriormente permitió llegar a la conclusión siguiente: Muchas técnicas necesitan ser combinadas con otras para poder obtener resultados más acertados. Por ejemplo la transformada wavelet de usarse por sí sola presentaría un gran número de falsos positivos ya que al obtener la imagen que contiene las calcificaciones podría introducirse ruido con valores semejantes al de estas, esta técnica se descartó ya que elevaba mucho la curva de aprendizaje al ser necesario estudiar también otras técnicas para su complemento. La segmentación por umbralización y crecimiento de regiones (19) no siempre trabaja bien en presencia de tejido mamario denso, por lo que no era un método seguro a utilizar, ya que la detección de calcificaciones debe realizarse para todo tipo de tejido. Finalmente el modelado fractal (17), en sus dos variantes demostró un alto grado de sensibilidad, escogiéndose para el desarrollo de la solución propuesta el modelado fractal basado en media y varianza por ser tres veces más rápido que el convencional.

1.8. Lenguajes de Programación.

Diversos son los lenguajes de programación existentes en la actualidad, tales como: *C++*, *Java* y *C#*. La selección de uno de estos para el desarrollo de un software resulta complejo, siendo necesario tener en cuenta algunos factores como: el tipo de programa que se desea realizar y la plataforma requerida para estos programas. A continuación se abordan las características principales de los lenguajes antes mencionados.

C++ (20) es un lenguaje híbrido, ya que permite la programación estructurada, este es un lenguaje de nivel intermedio, pudiéndose utilizar tanto para escribir *software* de bajo nivel, componentes de sistemas operativos y para el desarrollo rápido de aplicaciones, según el marco de trabajo con el que se disponga. *Java* (20) toma mucha de su sintaxis de *C++*, pero tiene un modelo de objetos más simple, una de las principales características que favoreció el crecimiento y difusión de este lenguaje es su capacidad de que el código funcione sobre cualquier plataforma de *software* y *hardware*. *C#* (21) utiliza muchas de las características de *C++* en las áreas de instrucciones, expresiones y operadores, también incorpora las ventajas o mejoras que tiene el lenguaje *Java*, por lo que posee las ventajas del *C++*, pero además la

productividad del lenguaje *Java*. Este lenguaje está desarrollado y estandarizado por *Microsoft* como parte de su plataforma *.NET*.

Se seleccionó como lenguaje de programación *C#*, por las ventajas que presenta en cuanto a rendimiento y características avanzadas. También se tuvo en cuenta que el componente será integrado al visor de imágenes médicas del CESIM que ha sido implementado en dicho lenguaje.

1.9. Entorno de desarrollo integrado (IDE⁷).

Un *IDE* (22) es un programa compuesto por un conjunto de herramientas para un programador. Puede dedicarse en exclusiva a un solo lenguaje de programación o bien, poder utilizarse para varios. Un *IDE* consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica.

Para *C#* se encuentran entre otros *IDEs* el *SharpDevelop* y *Microsoft Visual Studio*. Ambos soportan varios lenguajes y el uso del *framework .Net*. *SharpDevelop* se caracteriza por ser un sistema de código abierto y gratuito, al contrario de *Visual Studio*, este está diseñado para sistemas operativos *Windows*, la versión 2013 incorpora nuevas características mejoradas como *IntelliTrace*, que depura el argumento “no reproducible”, también incluye análisis de código estático y herramientas de pruebas para ayudar a garantizar la calidad del código en todo momento, estas características permiten que todo el proceso de desarrollo sea más sencillo, garantizando la calidad de los resultados, desde el diseño a la implementación.

Se seleccionó *Visual Studio* 2013 teniendo en cuenta las características anteriormente expuestas, el uso de este IDE aporta un gran número de herramientas que facilitaran el desarrollo de la solución propuesta, propiciando mayor rendimiento y agilidad.

1.10. Plataforma de desarrollo.

Puesto que se seleccionó como lenguaje de programación *C#* la plataforma de desarrollo que se utilizará es *.Net* (23), en su versión 4.0, la cual está formada por un entorno en tiempo de ejecución (*CLR*⁸), y la

⁷ *Integrated Development Environment*.

⁸ *Common Language Runtime*.

biblioteca de clases del marco de trabajo *.Net*. El *CLR* realiza un control automático del código garantizando que la aplicación se ejecute correctamente y la biblioteca incluye clases, interfaces y tipos de valor que son compatibles con una amplia gama de tecnologías.

1.11. Herramientas de Ingeniería de Software Asistida por Computadora (CASE⁹).

Las herramientas *CASE* (24) son aplicaciones informáticas destinadas a aumentar la productividad en el desarrollo de *software*, reduciendo el coste de los mismas en términos de tiempo y de dinero. El uso de estas herramientas permite mejorar la planificación de un proyecto y aumentar la calidad del *software*. Existen diversas herramientas de este tipo, *Visual Paradigm* y *Enterprise Architect (EA)* son algunas de ellas, estas soportan el ciclo de vida completo del desarrollo de *software* y permiten construir diversos tipos de diagramas como: modelo de casos de uso, diagramas de clases y diagrama de componentes, por mencionar algunos.

Para el modelado del componente se escogió *Enterprise Architect* en su versión 7.5 por ser la herramienta definida para el modelado de soluciones en el departamento SWMI. Esta herramienta ofrece salida de documentación flexible y de alta calidad y permite realizar ingeniería inversa para varios lenguajes.

1.12. Metodologías de desarrollo.

Las metodologías de desarrollo de *software* (25) son un conjunto de procedimientos, técnicas y ayudas a la documentación para el desarrollo de productos *software*. Una metodología está formada por fases, cada una de las cuales se puede dividir en sub-fases, que guiarán a los desarrolladores de sistemas a elegir las técnicas más apropiadas en cada momento del proyecto y también a planificarlo, gestionarlo, controlarlo y evaluarlo.

Actualmente existen numerosas propuestas metodológicas que inciden en distintas dimensiones del proceso de desarrollo. Entre las más conocidas se encuentran: Proceso Unificado Abierto (*OpenUP*¹⁰),

⁹ *Computer Aided Software Engineering.*

¹⁰ *Open Unified Process.*

Programación Extrema (*XP*¹¹) y Proceso Unificado de *Rational* (*RUP*¹²), las cuales se describirán a continuación.

RUP (26) comprende un conjunto de actividades necesarias para transformar los requisitos de un usuario en un sistema de *software*. Es un marco de trabajo genérico que puede especializarse para una gran variedad de sistemas de *software* y diferentes tamaños de proyecto. Las características fundamentales de *RUP* es que está dirigido por casos de uso, centrado en la arquitectura y es iterativo e incremental.

OpenUp (27) es un proceso dirigido a la gestión y desarrollo de proyectos de *software* basados en desarrollo iterativo, ágil e incremental. El proceso propuesto por *OpenUP* conserva las características esenciales de *RUP* en el sentido de que se basa en casos de uso, en el desarrollo iterativo e incremental y es centrado en la arquitectura. Plantea que sólo se debe usar los procesos que sean necesarios, que no se debe usar muchos artefactos, además debe acoplarse a las necesidades del usuario permitiendo ser modificado y extendido.

XP (28) forma parte del grupo de las metodologías ágiles, está más orientada a la generación de código con ciclos muy cortos de desarrollo, se dirige a equipos de desarrollo pequeños y hace especial hincapié en aspectos humanos asociados al trabajo en equipo e involucra activamente al cliente en el proceso. Lo fundamental en este proceso de desarrollo es lograr la comunicación entre los usuarios y los desarrolladores.

La metodología *RUP*, se ha seleccionado para guiar el proceso de desarrollo de la solución propuesta por las siguientes razones: se pretende no solo obtener como resultado de este proceso una solución informática, sino también una buena documentación asociada a esta solución, además con el uso de esta metodología se espera reducir riesgos que puedan existir en el proceso de desarrollo. *RUP* a pesar de ser clasificada como robusta, permitirá ser configurada a las necesidades del proyecto y posibilitará tener claro y accesible el proceso de desarrollo que se sigue.

¹¹ *Extreme Programming*.

¹² *Rational Unified Process*.

1.13. Bases de datos con imágenes de mamografía.

Para poder evaluar los resultados obtenidos mediante la investigación, se hace necesario contar con una base de datos que permita efectuar estudios sobre diferentes zonas de las imágenes conociendo las características de antemano. Luego de realizadas varias investigaciones se llegó a la conclusión que las bases de datos de más fácil acceso y por lo tanto las más utilizadas son:

1.13.1 Sociedad de Análisis de Imágenes Mamográficas (MIAS¹³) (29) (30) está conformada por 322 imágenes mamográficas; de las cuales sólo 25 contienen microcalcificaciones, 13 son malignas y 12 son benignas y más de 160 son casos de mamas sanas. También como dato muy importante, *MIAS* incluye las coordenadas (x, y), correspondientes al centro de las anomalías y el radio aproximado de un círculo que encierra las anomalías. Los diagnósticos incluidos están verificados por biopsias. Las imágenes se encuentran en formato *PGM* de 1024 x 1024 píxeles digitalizadas a 8 *bits* y su tamaño es de 1.0 *Mb*.

1.13.2 Base de Datos Digital para Mamografías Exploratorias (DDSM¹⁴) (31), esta base de datos se dice que es la más completa. Actualmente cuenta con 43 volúmenes, para un total de 10480 imágenes, correspondientes a 2620 casos. Cada caso posee cuatro imágenes que pertenecen a dos proyecciones de cada mama (OML y CC) e información adicional asociada al caso como: datos del paciente, número de anomalías presentes, el tipo de lesión según el *BI-RADS*¹⁵, la categoría de la lesión, de 1 a 5, según *BI-RADS* y la descripción del contorno del hallazgo marcado como anormal, por mencionar algunos.

¹³ *Mammographic Image Analysis Society.*

¹⁴ *Digital Database for Screening Mammography.*

¹⁵ El *BI-RADS (Breast Imaging Reporting and Data System)* es un sistema de datos y reportes, elaborado por el Colegio Estadounidense de Radiología, que ayuda al radiólogo a elaborar un reporte estandarizado y reduce la posible confusión en la interpretación de la imagen mamográfica.

Para validar los resultados obtenidos en la presente investigación se escogió la base de datos *MIAS*, excluyendo *DDSM* debido a que la misma no se encuentra de forma gratuita, costando alrededor de 20 a 30 dólares por volumen.

La base de datos *MIAS* ha sido utilizada en proyectos como:

- “Aportaciones al Diagnóstico de Cáncer Asistido por Ordenador”, trabajo realizado bajo la dirección de los Doctores Dr. Juan Carlos Pérez Cortés y Dr. Roberto Paredes Palacios, presentado en la Universidad Politécnica de Valencia para optar al grado de Doctor en Informática realizado en mayo de 2006 por Rafael Llobet Azpitarte. El uso de esta base de datos le permitió comparar los resultados obtenidos, con los logrados por otros autores que utilizaron esta misma base de datos.
- “Tesis doctoral Desarrollo de Técnicas de Reconocimiento y Procesamiento Utilizando un Sistema CAD para Aplicaciones en Medicina y en Otras Áreas”, presentada en el Instituto Politécnico Nacional de México por la Msc. Cristina Juárez Landín.
- “Detección de Microcalcificaciones en Imágenes de Mamografía Usando Diferencia de Filtros Gaussianos Optimizado”, por Samuel A. Oporto Díaz en la Universidad Nacional de Ingeniería, en la ciudad de Lima, Perú, la cual permitió comprobar la efectividad del procedimiento propuesto.

Conclusiones del capítulo.

En este capítulo se definen las bases teóricas de la investigación a partir del estudio de una serie de términos de relevancia para la misma. El estudio de las principales anomalías que pueden ser detectadas en estudios de mamografías permitió conocer la necesidad de detectar las calcificaciones de forma más precisa. El análisis de los principales algoritmos y técnicas existentes para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía demostró que existen múltiples vías para elaborar sistemas que emitan diagnósticos de forma semiautomática. La descripción de diferentes herramientas y tecnologías permitió seleccionar algunas de estas para llevar a cabo el desarrollo de la solución. Finalmente, la descripción de las principales bases de datos con imágenes de mamografía permitió seleccionar una de ellas para validar la fiabilidad del componente.

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS Y DISEÑO DEL COMPONENTE PARA LA DETECCIÓN DE CALCIFICACIONES EN IMÁGENES DE MAMOGRAFÍA

El presente capítulo tiene como principal objetivo la planificación de la solución propuesta y exposición de las características del sistema a implementar. Para ello se describe la propuesta de solución y el contexto en el que se desarrolla el problema, se especifican los requisitos de *software*, diagramas de modelo de dominio y casos de uso del sistema. Se presenta la solución que se le dio al problema en cuestión a través un conjunto de artefactos, dentro de los cuales son fundamentales el diagrama de clases del diseño, el diagrama de secuencia y la arquitectura elegida para el desarrollo del componente.

2.1 Propuesta de solución.

Con el fin de mejorar los diagnósticos médicos y aumentar la productividad de los especialistas, se propone la creación de un componente para la detección de calcificaciones, que brinda al especialista la opción de analizar una imagen de mamografía o un área dentro de la imagen, mostrando las posibles calcificaciones contenidas en esta y actuando como una segunda opinión, así los resultados obtenidos por este pueden ser confirmados o rechazados. El componente permite variar el umbral¹⁶ de binarización¹⁷ para obtener resultados más exactos.

2.2 Modelo de Dominio.

RUP define en su primera fase de desarrollo la realización del modelo de negocio, con el objetivo de comprender el entorno del cliente y detectar las mejoras potenciales en los procesos de la organización. Cuando no es posible identificar claramente los procesos del negocio, *RUP* propone realizar un modelo de dominio, que es un subconjunto del modelo de negocio.

El Modelo de Dominio (26) representa un acercamiento a la solución propuesta, donde se modelan los principales conceptos implicados en el desarrollo de la solución, así como las relaciones existentes entre ellos. El modelo de dominio captura los tipos más importantes de objetos en el contexto del sistema. Los

¹⁶ Valor que se usa para comparar con los píxeles de la imagen.

¹⁷ Proceso de convertir la imagen en blanco y negro según la comparación realizada con el umbral.

objetos del dominio representan las cosas que existen o los eventos que suceden en el entorno en el que trabaja el sistema.

El modelo de dominio se describe específicamente mediante diagramas de clases, utilizando el lenguaje de modelado *UML*. Teniendo en cuenta que los procesos de negocio no están claramente definidos, se describe el negocio a través del modelo de dominio. (Ver Anexo 1)

2.3 Especificación de los requisitos de *software*.

Los requisitos de *software* (26) son capacidades o condiciones que el sistema debe cumplir. Estos se mantienen invariables sin importar con qué propiedades o cualidades se relacionen. Los requisitos funcionales del componente desarrollado se muestran a continuación:



Figura 2. Requisitos Funcionales.

RF 1. Seleccionar área: permite al especialista seleccionar la región que desea analizar en la imagen mamográfica.

RF 2. Crear imagen modelada: utilizando la teoría de fractales crea una nueva imagen que modela la región seleccionada.

RF 3. Restar imágenes: resta la imagen modelada a la región de interés, descartando aquí los valores negativos.

RF 4. Resaltar calcificaciones: compara cada uno de los píxeles de la imagen resultante con un umbral, creando así una imagen binaria.

RF 5. Mostrar resultados: permite observar las calcificaciones detectadas en la imagen original, estas se muestran de color rojo.

RF 6. Variar umbral de binarización: permite cambiar el valor del umbral de binarización para mejorar los resultados.

2.3.1 Requisitos no funcionales.

Los requisitos no funcionales son propiedades o cualidades que el producto debe tener. Debe pensarse en estas propiedades como las características que hacen al producto atractivo, usable, rápido o confiable. Los requisitos no funcionales forman una parte significativa de la especificación. Son importantes para que clientes y usuarios puedan valorar las características no funcionales del producto.

El nombre de los requerimientos no funcionales comienza con un prefijo que permitirá identificar a que categoría pertenece, seguido de un número consecutivo, así está establecido por el departamento SWMI. A continuación se relacionan los prefijos para cada categoría utilizada.

RNFO: requisito no funcional de funcionamiento.

RNE: requisito no funcional de eficiencia.

RNDI: requisito no funcional de diseño e Implementación.

Los requisitos no funcionales del componente desarrollado son los que se relacionan a continuación:

- **Funcionamiento:** especifican los temas relacionados con el buen funcionamiento del componente.

RNFO 1. Framework.Net 4.0: Para un correcto funcionamiento del sistema se debe tener instalado el *Framework.Net 4.0* o superior.

RNFO 2. Sistema Operativo Windows7 o superior: La estación de trabajo donde se ejecute el sistema debe tener el Sistema Operativo *Windows7* o superior.

- **Eficiencia:** definen las características de la eficiencia del componente.

RNE 1. Tiempos de respuesta cortos: El tiempo de demora de las respuestas están entre 0.58 segundos para un área de 152 pixeles de ancho por 160 pixeles de alto y 10 minutos con 37 segundos para un área de 832 pixeles de ancho por 992 pixeles de alto.

- **Diseño e Implementación:** especifican o restringen la codificación o construcción de un sistema.

RNDI 1. Uso de la metodología RUP: El análisis de la aplicación está basado en la metodología *RUP* con el fin de organizar el proceso de desarrollo de *software*.

RNDI 2. Lenguaje de modelado UML 2.1: El diseño de la aplicación se realizara haciendo uso del lenguaje de modelado *UML*.

RNDI 3. Uso de Enterprise Architect 7.5: Se utilizó como herramienta *CASE*, *Enterprise Architect* para el modelado de los artefactos que se generan en cada uno de los flujos de trabajo.

RNDI 4. C# 4.0 como lenguaje de programación: Se utilizó como lenguaje de programación *C#*.

RNDI 5. Uso de Visual Studio 2013: Se utilizó como *IDE* de desarrollo *Visual Studio 2013*, ya que utiliza como marco de trabajo el *Framework .Net* y *C#* como lenguaje de programación.

RNDI 6. Uso de Microsoft Framework .Net 4.0: Se utilizó como plataforma de desarrollo *Microsoft Framework .Net* en su versión 4.0.

2.4 Definición del actor del sistema.

Los actores del sistema (26) pueden ser personas, otros sistemas o *hardware* externo que interactúen con el sistema. Cada actor asume un conjunto coherente de papeles cuando interactúa con el sistema. Los actores se comunican con el sistema mediante el envío y recepción de mensajes hacia y desde el sistema según éste lleva a cabo los casos de uso.

Actor	Justificación
Especialista	Es la persona que interactúa con el sistema. Aplica la técnica de detección con el fin de obtener un resultado.

Tabla 1. Descripción del actor del sistema.

2.5 Diagrama de Casos de Uso del Sistema.

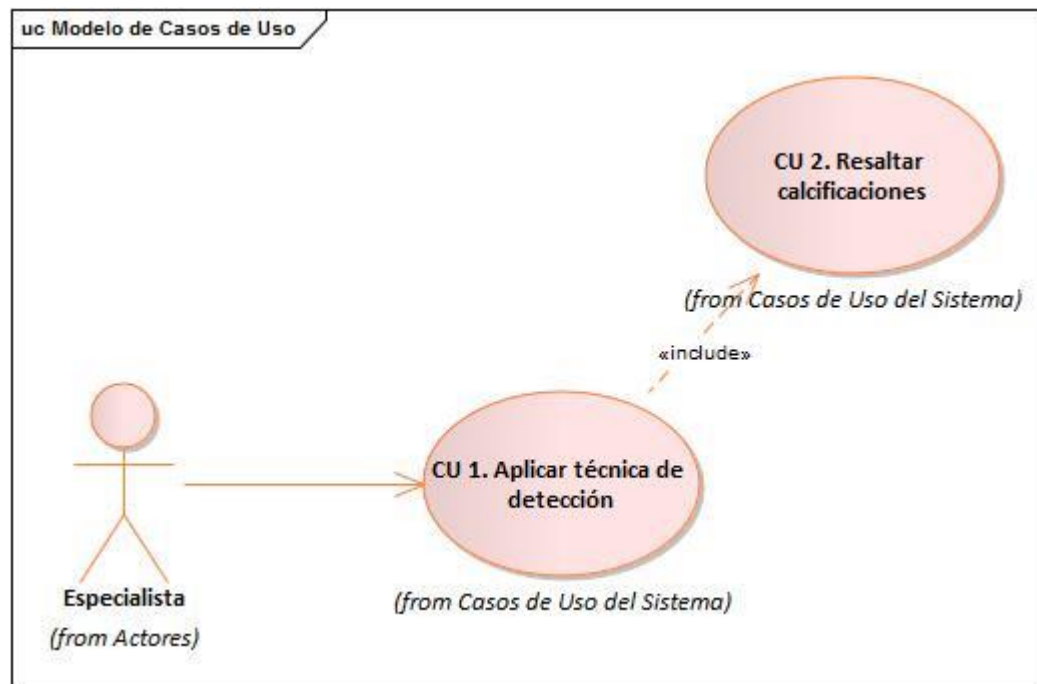


Figura 3. Diagrama de Casos de Uso.

2.5.1 Casos de uso expandidos. (Ver Anexo 2)

2.6 Estilo Arquitectónico a utilizar.

La Arquitectura de *Software* (32) es una vista del sistema que incluye los componentes principales del mismo, la conducta de esos componentes según se percibe desde el resto del sistema, las formas en que interactúan y se coordinan para alcanzar la misión del sistema. Es la organización fundamental de un sistema centrada en sus componentes, las relaciones entre ellos y el ambiente y los principios que orientan su diseño y evolución. En el desarrollo de la solución se empleó el estilo arquitectónico Tuberías y filtros.

El estilo Tuberías y Filtros (33) tiene un grupo de componentes llamados filtros, conectados por tuberías que transmiten datos de un filtro al siguiente. El filtro está diseñado para recibir entrada de datos de una forma y producir la salida de datos de una forma específica. Se aplica cuando los datos de entrada se han de transformar en datos de salida mediante una serie de operaciones. Los filtros no necesitan saber el funcionamiento de los vecinos, solo se preocupan de su entrada y su salida. Este estilo arquitectónico permite realizar las transformaciones necesarias a la imagen para llegar a la detección de las calcificaciones, como se muestra en la **figura 4**.

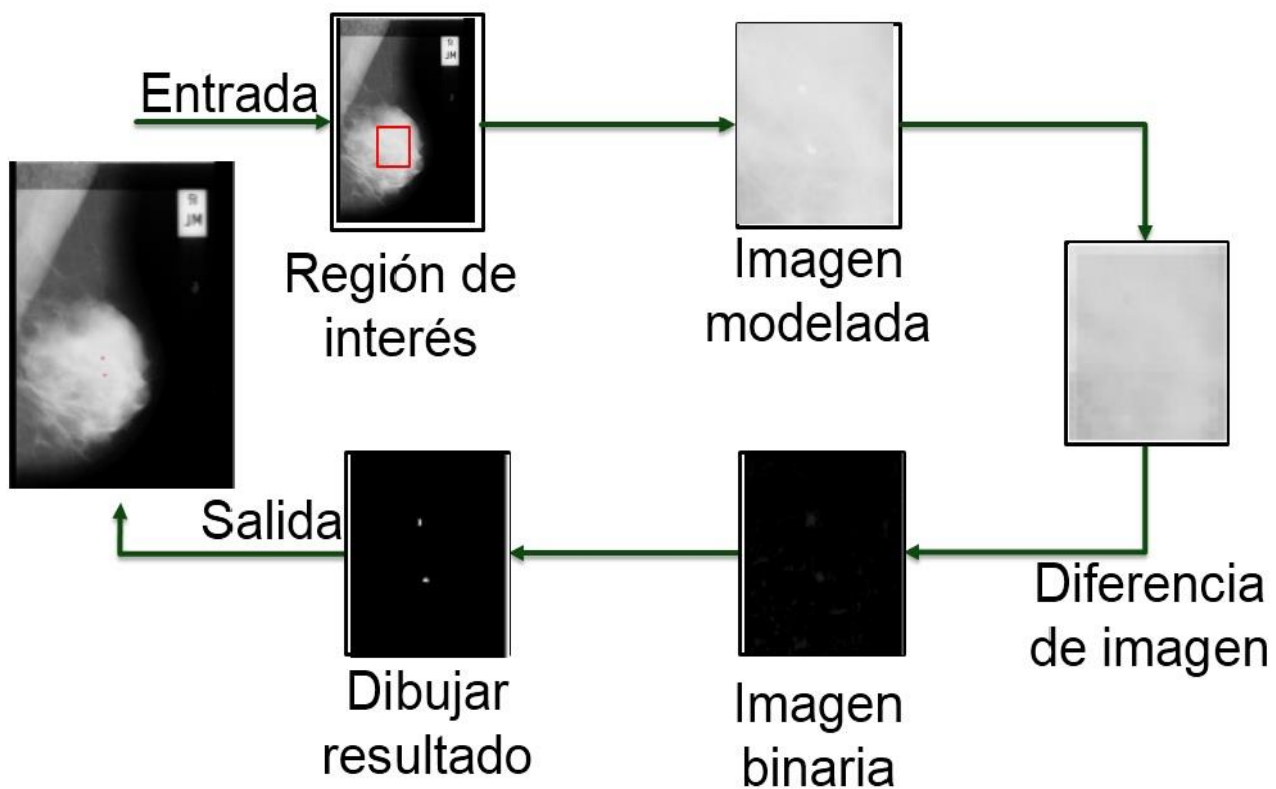


Figura 4. Aplicación del estilo arquitectónico Tuberías y Filtros en el componente para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía.

Luego de cargada la imagen de mamografía a analizar en el visor de imágenes médicas, se aplica el primer filtro que es el encargado de seleccionar la región de interés, el siguiente filtro crea una imagen que modela la región seleccionada basándose en la teoría de fractales usando media y varianza, el tercer filtro resta la imagen modelada a la región de interés, descartando aquí los valores negativos; el filtro siguiente

convierte la imagen resultante en una imagen binaria, comparando cada uno de los píxeles con un umbral que ha sido calculado a partir de la desviación estándar de dicha imagen, el último filtro posiciona en la imagen original las calcificaciones resaltadas en la imagen binaria obtenida, mostrándolas de color rojo.

El componente puede ser integrado al visor de imágenes médicas de la solución *PACS* que ha sido desarrollada por el departamento SWMI del CESIM, perteneciente a la UCI.

La integración se puede realizar de dos formas:

1. **A través de un aditamento (*plugins*):** teniendo en cuenta que el visor está basado en una arquitectura de *plugin*, el componente puede ser parte de un *plugin* y este puede ser integrado al visor de imágenes médicas.

Importando el componente: teniendo en cuenta que el componente es una Biblioteca de Enlace Dinámico (*DLL*¹⁸), puede ser integrado de forma directa al visor de imágenes médicas.

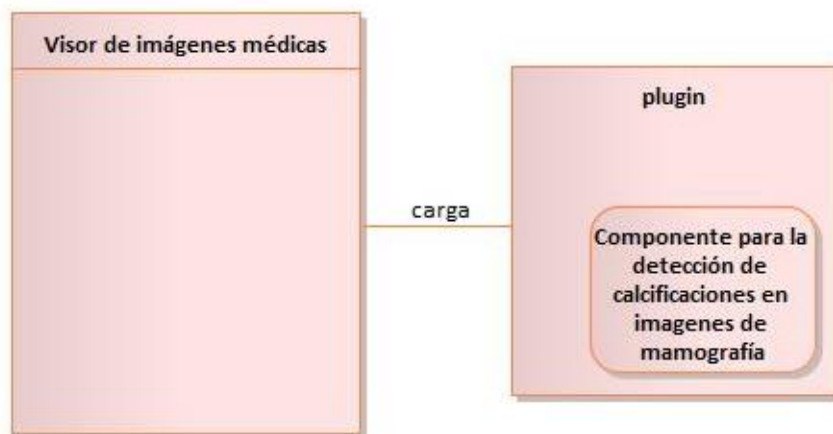


Figura 5. Integración del componente al visor de imágenes médicas a través de un aditamento (*plugins*).

¹⁸ *Dynamic-Link Library*.

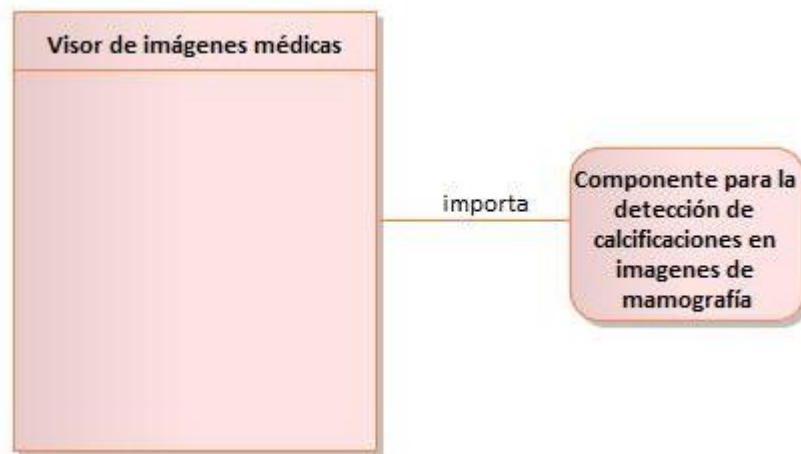


Figura 6. Integración del componente al visor de imágenes médicas importando una dll.

Estas formas de integración permiten que el componente sea utilizado por otros visores de imágenes médicas.

2.7 Patrones de diseño.

Para el diseño del componente se hace necesario el uso de patrones que describan la solución a problemas comunes durante esta fase. Un patrón (34) es una descripción de un problema y la solución, a la que se da un nombre, y que se puede aplicar a nuevos contextos.

Teniendo en cuenta que la asignación habilidosa de responsabilidades es extremadamente importante en el diseño de objetos, para el desarrollo del componente se utilizaron Patrones de Principios Generales para Asignar Responsabilidades (*GRASP*¹⁹) (34). Estos describen los principios fundamentales de diseño de objetos para la asignación de responsabilidades, constituyen un apoyo para la enseñanza que ayuda a entender el diseño de objeto esencial y aplica el razonamiento para el diseño de una forma sistemática, racional y explicable. A continuación se presentan los patrones usados y cómo se aplicaron estos a la solución propuesta.

¹⁹ *General Responsibility Assignment Software Patterns.*

2.7.1 Experto.

El patrón Experto (34) asigna una responsabilidad al experto en información, o sea, la clase que cuenta con la información necesaria para cumplir la responsabilidad.

- La clase *Utils* tiene como responsabilidad mostrar la imagen final con los resultados.

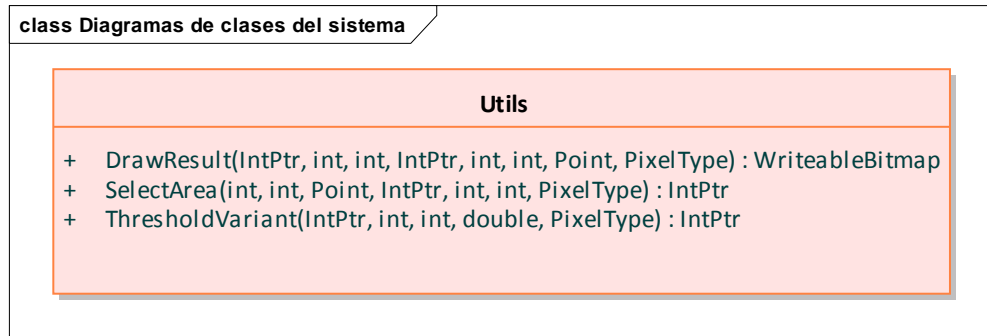


Figura 7. Patrón Experto.

2.7.2 Polimorfismo.

El patrón Polimorfismo (34) se utiliza cuando se identifican variaciones en un comportamiento, asigna la responsabilidad para el comportamiento, utilizando operaciones polimórficas a los tipos (clases) para los que varía el comportamiento. Tiene como ventajas que se añaden fácilmente las extensiones necesarias para nuevas variaciones y las nuevas implementaciones se pueden introducir sin afectar a los clientes.

La clase *BaseAlgorithm* define una serie de métodos que después son redefinidos por las clases *Fractal8BitAlgorithm* y *Fractal16BitAlgorithm*.

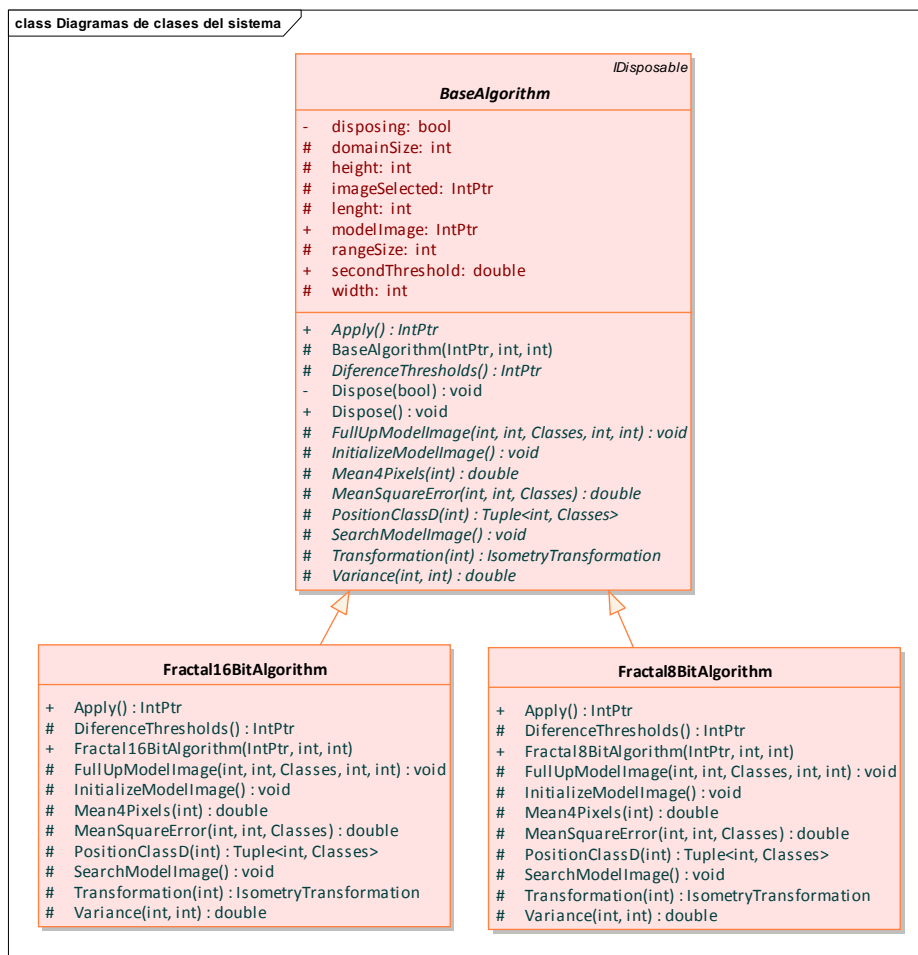


Figura 8. Patrón Polimorfismo.

2.7.3 Controlador.

El patrón Controlador (34) asigna la responsabilidad de las operaciones del sistema a los objetos situados en la capa del dominio y no en los soportes de la capa de presentación brindando mayor potencial de los componentes reutilizables, ya que garantiza que los procesos de dominio sean manejados por la capa de aplicación y no por la de interfaz, además de tener un mayor control.

- La clase *BaseAlgorithm* cumple con este patrón, esta clase es la encargada de realizar todas las operaciones.

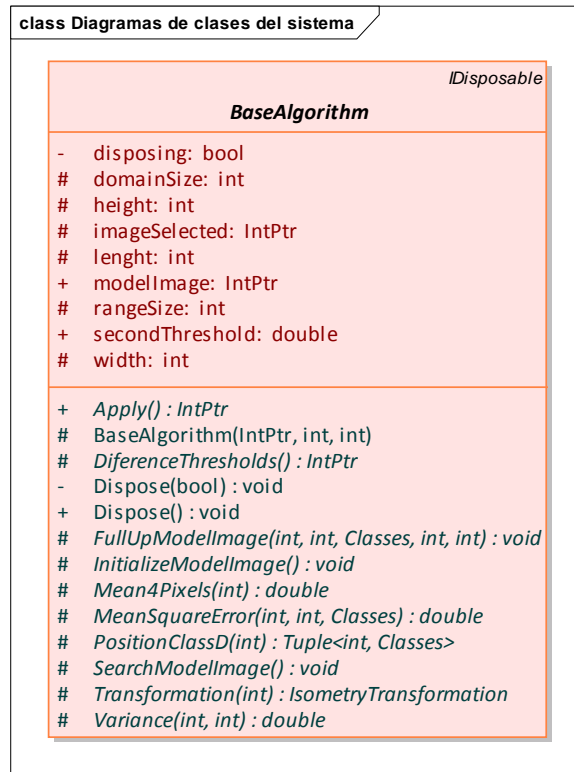


Figura 9. Patrón Controlador.

2.8 Diagrama de clases del diseño.

Los diagramas de clases (26) son los más utilizados en el modelado de sistemas orientados a objetos. Un diagrama de clases en sí, muestra un conjunto de clases, interfaces y colaboraciones, así como sus relaciones. Los mismos se utilizan para reflejar la vista de diseño estática de un sistema. Son la base para los posteriores diagramas de componentes y los de despliegue. Su importancia radica en que permite construir sistemas ejecutables aplicando ingeniería directa e inversa.

A continuación se muestra el diagrama de clases del diseño:

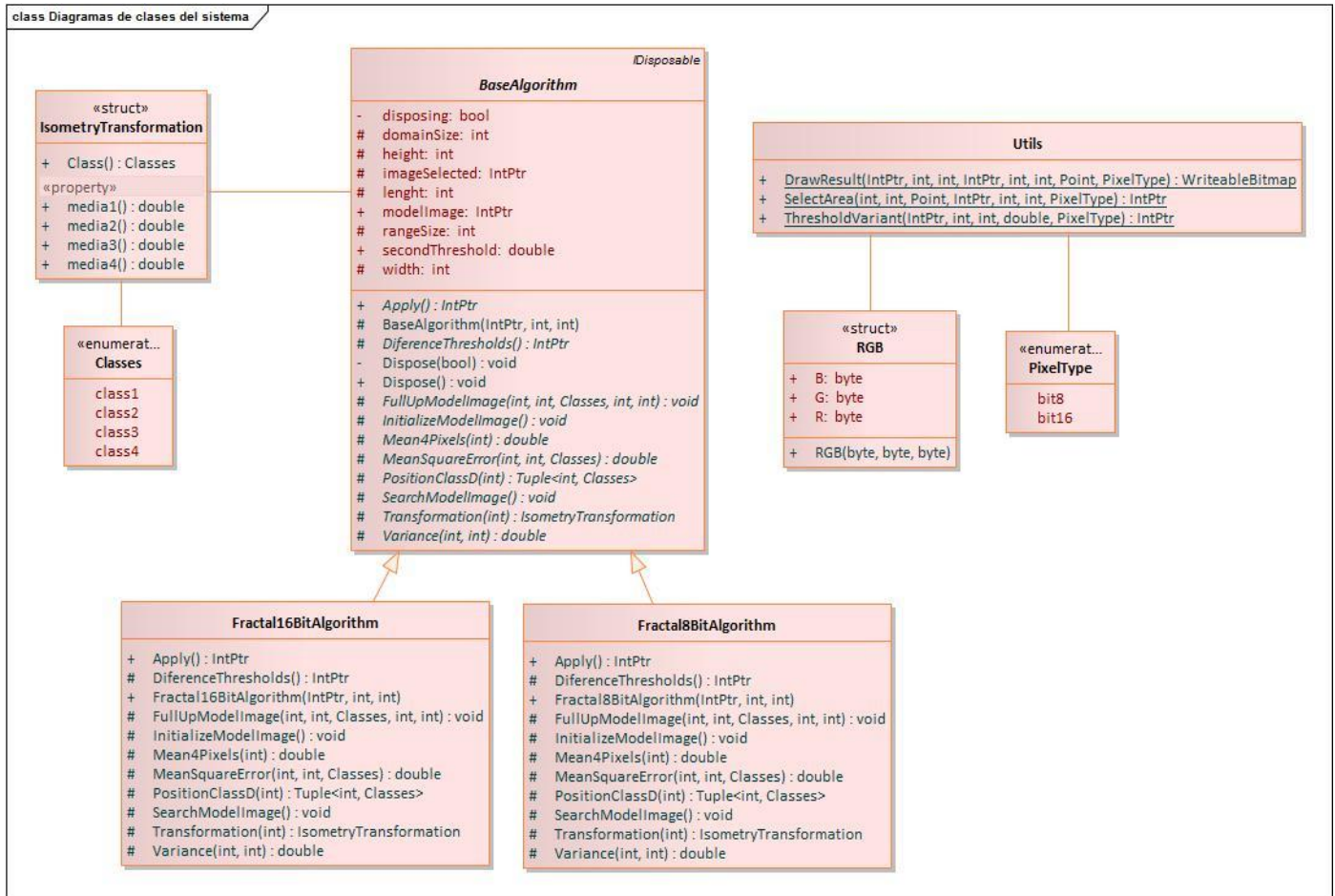


Figura 10. Diagrama de Clases del Sistema.

2.9 Diagrama de secuencia.

El diagrama de secuencia (26) es utilizado para modelar interacción entre objetos en un sistema. Un diagrama de secuencia muestra la interacción de un conjunto de objetos en una aplicación a través del tiempo. Contiene detalles de implementación del escenario, incluyendo los objetos y clases que se usan para implementar el escenario y mensajes cambiados entre los objetos.

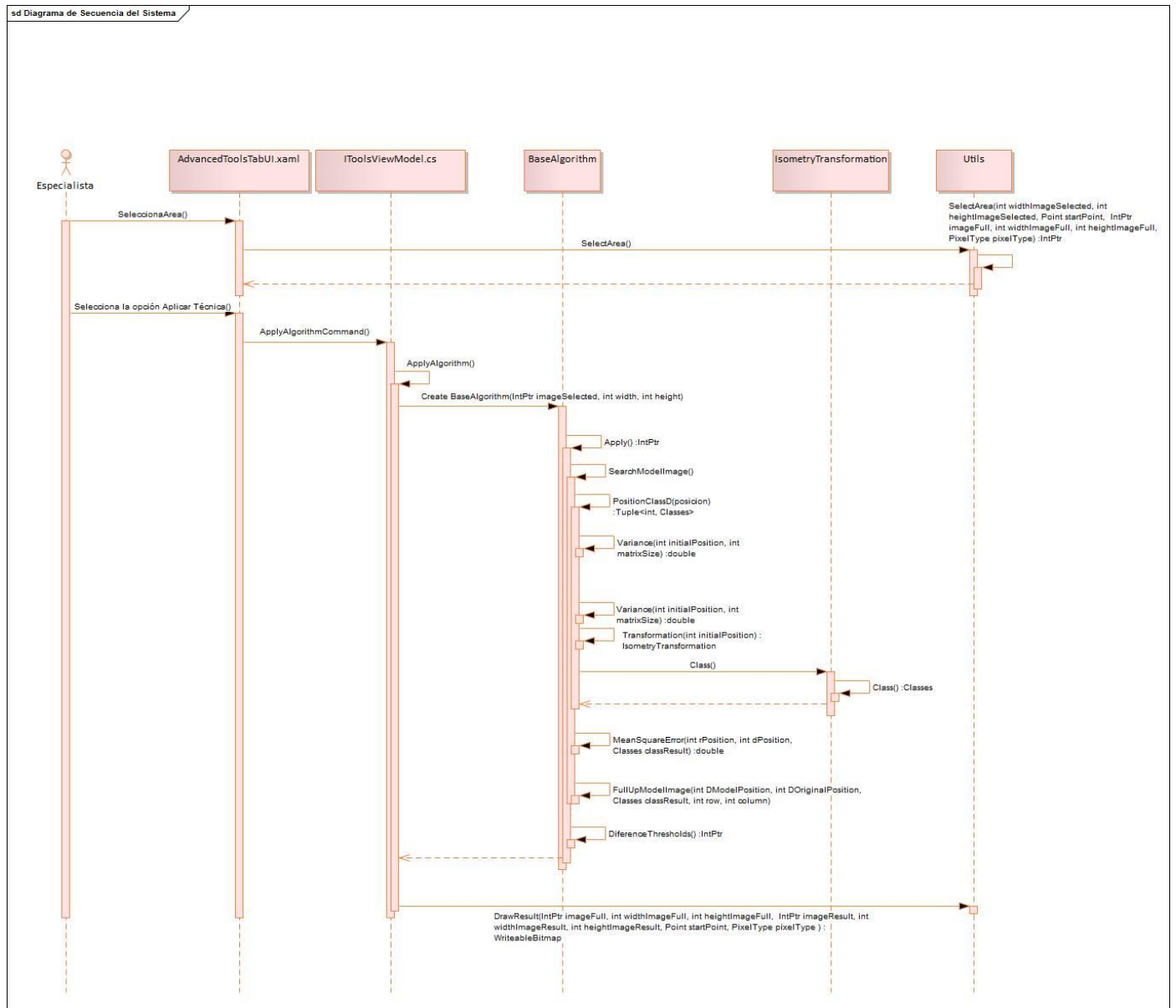


Figura 11. Diagrama de Secuencia del Sistema.

Descripción de la secuencia

1. El especialista selecciona el área a analizar: luego de visualizada la imagen mamográfica en el visor de imágenes médicas, el componente para la detección de calcificaciones permite al especialista seleccionar el área que desea analizar o analizar la imagen completa, la selección inicia al presionar el clic izquierdo sobre la imagen, a medida que mueva el *mouse* sobre la misma se va dibujando un rectángulo siendo esta el área a seleccionar, para finalizar la selección se presiona clic derecho.
2. Se ejecuta el método **SelectArea**: una vez seleccionada el área se ejecuta el método **SelectArea** en la clase **Utils**, el cual recibe por parámetro el ancho y alto de la imagen seleccionada, el punto inicial del rectángulo, la imagen mamográfica almacenada en un puntero, el ancho y alto total de la imagen mamográfica y el tipo de imagen que se está analizando, permitiendo obtener el área seleccionada sobre la imagen.
3. El especialista selecciona la opción **Aplicar Técnica**.
4. Se ejecuta el comando **ApplyAlgorithmCommand**.
5. Se ejecuta el método **ApplyAlgorithm**.
6. Se crea una instancia de la clase **BaseAlgorithm**: recibe por parámetro el área seleccionada en la mamografía original y el ancho y el alto de la misma.
7. Se ejecuta el método **Apply**: es el encargado de devolver una imagen binaria con las posibles calcificaciones, auxiliándose para ello en los métodos **SearchModellImage** y **DiferenceThresholds**.
8. Se ejecuta el método **SearchModellImage**: es el encargado de crear una imagen lo más cercana posible a la imagen seleccionada pero sin las calcificaciones, para ello va recorriendo la imagen seleccionada y se auxilia de los métodos **PositionClassD** y del **FullUpModellImage**.
9. Se ejecuta el método **PositionClassD**: recibe por parámetro la posición de Ri en la imagen original y así la intersección de Ri con Di es nula, este método usa a su vez los métodos **Variance**, **Transformation** y **MeanSquareError**, permitiéndole seleccionar el Di más óptimo para el Ri que se está analizando. A medida que se recorre la imagen, **PositionClassD** devuelve el valor de la posición de Di en la imagen seleccionada y la clase de transformación que se le aplica a este Di, con estos valores y usando el método **FullUpModellImage** se va creando la imagen modelada.
10. Se ejecuta el método **DiferenceThresholds**: después de creada la imagen modelada, se le resta a la imagen original dicha imagen, quedando así una nueva imagen con las posibles calcificaciones, luego

se le aplica un umbral en dos pasos, con el objetivo de crear una imagen binaria donde los pixeles de color blanco son las posibles clasificaciones.

11. Por último se ejecuta el método **DrawResult** de la clase **Utils**, el cual recibe por parámetro la imagen binaria y este dibuja la imagen original con las posibles calcificaciones resaltadas de color rojo.

La siguiente figura simula las posiciones R_i y D_i de una imagen seleccionada:

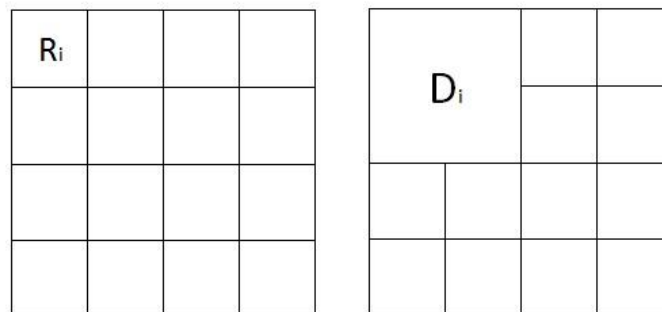


Figura 12. Simulación de las posiciones R_i y D_i en una imagen.

Conclusiones del capítulo.

En este capítulo se establecieron las funcionalidades que debe cumplir el sistema a partir de la especificación de los requisitos funcionales. La definición de los requerimientos no funcionales ofreció un mejor enfoque de las características físicas y técnicas que debe cumplir la aplicación para su buen funcionamiento. El modelo de dominio permitió modelar los principales conceptos implicados en el desarrollo de la solución, así como las relaciones existentes entre ellos. La descripción los casos de usos vinculados a los requisitos funcionales identificados constituyen una guía para la implementación de las funcionalidades de la solución. El uso del estilo arquitectónico Tuberías y Filtros permitió establecer una secuencia ordenada de pasos en el proceso de detección de calcificaciones. Finalmente se identificaron los patrones Experto, Polimorfismo y Controlador, permitiendo la adecuada asignación de responsabilidades a las clases del sistema.

CAPÍTULO 3. IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DEL COMPONENTE PARA LA DETECCIÓN DE CALCIFICACIONES EN IMÁGENES DE MAMOGRAFÍA

En este capítulo se exponen aspectos propios de la implementación de la solución propuesta, como son, los estilos de codificación utilizados y los fragmentos de código más relevantes. También se describen las vías para validar el correcto funcionamiento del componente haciendo uso de la base de datos seleccionada.

3.1 Estilos de codificación.

Los estilos de codificación (35) son modelos de programación a seguir, los cuales describen todos los aspectos de la generación de código que no están enfocadas a la lógica del programa, sino a su estructura y apariencia física.

Para lograr la lectura, comprensión y mantenimiento del código en menos tiempo se definieron para la implementación del componente los estilos de codificación que se describen a continuación, teniendo en cuenta las convenciones de código de *C#*.

Para identificadores:

Se empleó *UperCamelCase* para las clases y las funciones. Define que cada palabra en los identificadores comience con mayúscula. Un ejemplo se evidencia en la clase "*BaseAlgorithm*".

Los nombres de las variables se escribieron en minúscula, en caso de que sea un nombre compuesto se utilizó la notación *lowerCamelCase*, esta define que la primera palabra comience con minúscula y las demás con mayúsculas. A continuación se muestra un fragmento de código donde se pone de manifiesto este estilo.

```
public abstract class BaseAlgorithm:IDisposable
{
    private bool disposing;
    public double secondThreshold;
```

Para sentencias compuestas:

Deben estar indentadas a un nivel superior que el precedente, como se muestra a continuación.

```
Parallel.For(0, lenght, i =>{
    puntero[i] = 0;
});
```

Para la indentación:

La unidad de indentación de bloques de sentencias son 4 espacios. Un ejemplo de esto se puede observar en el fragmento de código que se muestra a continuación.

```
if (media1 == media2 && media3 == media4 && media1 == media3)
    return Classes.class1;
```

Para las declaraciones:

Se declara cada variable en una línea distinta y se agrupan por tipo de datos.

```
protected int width;
protected int height;
protected int lenght;
protected int rangeSize;
protected int domainSize;

public double secondThreshold;

public IntPtr modelImage;
protected IntPtr imageSelected;
```

Para los comentarios:

Se estableció la utilización de comentarios lineales o de una sola línea cuya sintaxis para el lenguaje C# es “//”. Los comentarios se utilizaron para describir las clases. A continuación se representa un bloque de comentarios correspondiente a la clase “*Utils*”:

```
/// <summary>
/// Clase utilizada para la selección del área de interés, muestra de resultado y el
/// cálculo de un nuevo resultado a partir de un umbral determinado.
/// </summary>
```

Líneas y espacios en blanco:

Se utilizan líneas en blanco para separar segmentos de código que pueden corresponder a clases, funciones, declaraciones, implementaciones, comentarios y bloques. Se colocaron espacios para separar cada operador de su respectivo operando.

Para las llaves:

Se definió que las llaves de apertura se colocaran solitarias en la línea siguiente e indentadas al nivel de la línea cabecera del bloque. Las llaves de cierre se colocaron solitarias en la línea que sigue a la última línea dentro del bloque. En el caso de cuerpos de bloque con una sola sentencia se puede o no usar las llaves. A continuación se muestra un ejemplo de la utilización de este estilo.

```
protected override unsafe void SearchModelImage()
{
    int pos = 0;
    int countW = width / rangeSize;
    int countH = height / rangeSize;

    for (int i = 0; i < countH; i++)
    {
        for (int j = 0; j < countW; j++)
        {
            var D = PositionClassD(pos + j * rangeSize);
            FullUpModelImage(pos + j * rangeSize, D.Item1, D.Item2, i, j);
        }
        pos += width * rangeSize;
    }
}
```

3.2 Fragmentos de código.

A continuación se exponen los fragmentos de código más significativos en el desarrollo del componente:

```
protected override unsafe void SearchModelImage()
{
    int pos = 0;
    int countW = width / rangeSize;
    int countH = height / rangeSize;

    for (int i = 0; i < countH; i++)
    {
        for (int j = 0; j < countW; j++)
        {
            var D = PositionClassD(pos + j * rangeSize);
            FullUpModelImage(pos + j * rangeSize, D.Item1, D.Item2, i, j);
        }
        pos += width * rangeSize;
    }
}
```

Este método permite la selección de la imagen que modela la mamografía original, auxiliándose de los métodos *PositionClassD* y *FullUpModelImage*.

```

protected override unsafe Tuple<int, Classes> PositionClassD(int rPosition)
{
    int dCountW = width / domainSize;
    int dCountH = height / domainSize;
    double comparer = double.MaxValue;
    int dPos = 0;
    int pos = 0;
    Classes classResult = Classes.class1;

    double varianceR = Variance(rPosition, rangeSize);

    for (int j = 0; j < dCountH; j++)
    {
        for (int i = 0; i < dCountW; i++)
        {
            int rf = rPosition / width;
            int rc = rPosition % width - 1;
            int diPos = pos + i * domainSize;
            int df = diPos / width;
            int dc = diPos % width - 1;

            if (!(df <= rf && df + domainSize >= rf && dc <= rc && dc + domainSize >= rc))
            {
                double varianceD = Variance(diPos, domainSize);
                double varianceDiference = Math.Abs(varianceR - varianceD);
                if (varianceDiference >= 0.01 && varianceDiference <= 1)
                {
                    Classes classValue = Transformation(diPos).Class();
                    double t = MeanSquareError(rPosition, diPos, classValue);
                    if (comparer > t)
                    {
                        comparer = t;
                        dPos = diPos;
                        classResult = classValue;
                    }
                }
            }
        }
        pos += width * domainSize;
    }
    return Tuple.Create<int, Classes>(dPos, classResult);
}

```


- 1 En este fragmento es donde se obtiene la varianza de la región R.
- 2 Luego se recorre la imagen y se busca la varianza de cada una de las regiones D, para restar estas y las que cumple con la condición que elimina las posibles calcificaciones.
- 4 Para finalizar se busca la región D que su error cuadrado medio sea menor y esta es la que se selecciona.

```
protected override unsafe IntPtr DiferenceThresholds()
{
    byte* imgOriginal = (byte*)(imageSelected);
    byte* imgModeled = (byte*)(modelImage);
    IntPtr imageResult = Marshal.AllocHGlobal(lenght);
    var resultImage = (byte*)(imageResult);
    double total1 = 0;

    1 for (int i = 0; i < lenght; i++)
    {
        int x = imgOriginal[i] - imgModeled[i];
        if (x < 0)
        {
            resultImage[i] = 0;
            imgModeled[i] = 0;
        }
        else
        {
            resultImage[i] = (byte)x;
            imgModeled[i] = (byte)x;
        }
        total1 += resultImage[i];
    }
    double average1 = total1 / lenght;
    double deviation1 = 0;
    Parallel.For(0, lenght, i =>
    {
        deviation1 += Math.Pow(resultImage[i] - average1, 2);
    });
    deviation1 = Math.Sqrt(deviation1 / lenght);
    //Primer Umbral
    double threshold1 = 3 * deviation1;
    double total2 = 0;

```

```

double count2 = 0;
for (int i = 0; i < lenght; i++)
{
    3 if (resultImage[i] < threshold1)
    {
        total2 += resultImage[i];
        count2++;
        resultImage[i] = 0;
        imgModeled[i] = 0;
    }
}
double average2 = total2 / count2;
double deviation2 = 0;
Parallel.For(0, lenght, i =>
{
    deviation2 += Math.Pow(resultImage[i] - average2, 2);
});
deviation2 = Math.Sqrt(deviation2 / lenght);
//Segundo Umbral
4 double threshold2 = 6 * deviation2;
secondThreshold = threshold2;
for (int i = 0; i < lenght; i++)
{
    5 if (resultImage[i] < threshold2)
        resultImage[i] = 0;
    else
        resultImage[i] = 255;
}
return imageResult;
}

```

- 1 En este fragmento se realiza la resta de la imagen modelada y la mamografía original, descartando aquí los valores negativos y se calcula la desviación estándar de la imagen resultante.
- 2 Luego se calcula el primer umbral.
- 3 Se aplica el primer umbral y se calcula la desviación de la imagen resultante.
- 4 Después se calcula el segundo umbral.
- 5 Para finalizar se compara la imagen resultante con el segundo umbral quedando así una imagen binaria con las posibles calcificaciones.

4.1 Seguridad del componente.

Existen múltiples herramientas que son visores de *dll*, estas van desde depuradores hasta ingeniería inversa, permitiendo a cualquier usuario examinar los detalles del software para cualquier finalidad, conocer los mecanismos de protección contra copia y la lógica de negocio. Para mantener la seguridad del componente se realizó ofuscación al código.

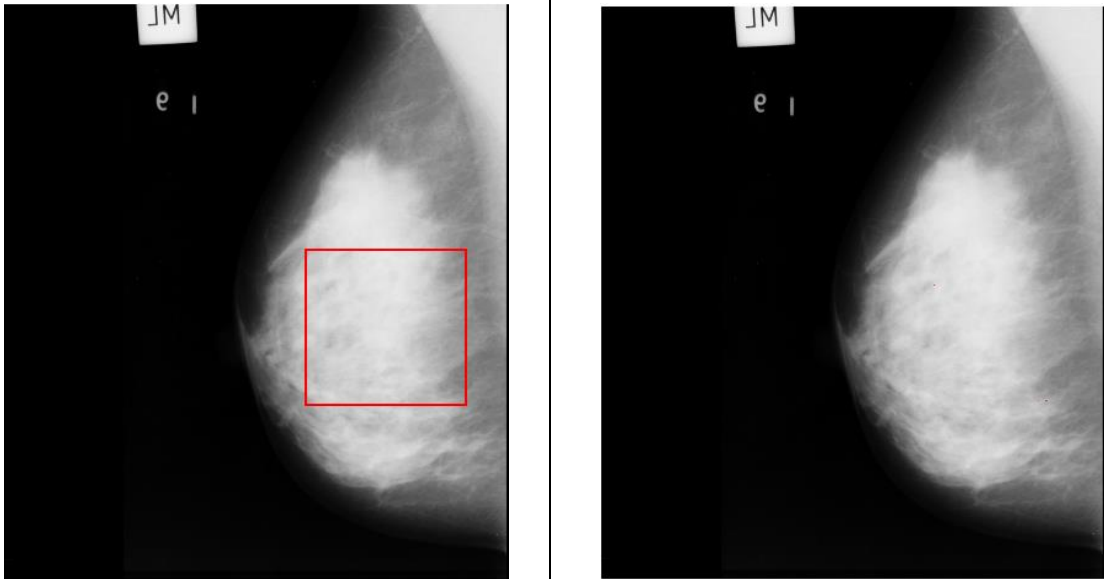
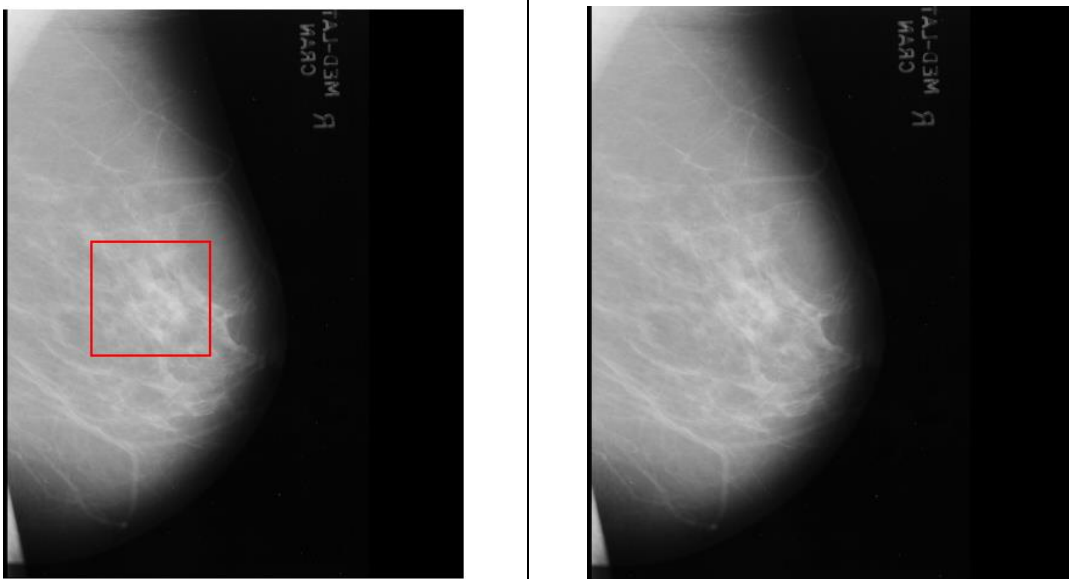
La ofuscación es una técnica que permite cambiar sin problema el nombre de los símbolos de los ensamblados, así como otros métodos para frustrar la acción de los descompiladores. Cuando se aplica correctamente, la ofuscación aumenta la protección contra la descompilación, dejando la aplicación intacta, es decir que no se modifica la lógica final del sistema. Como resultado, fracasará cualquier intento de aplicar ingeniería inversa en las instrucciones para obtener un lenguaje de programación, porque la traducción es ambigua.

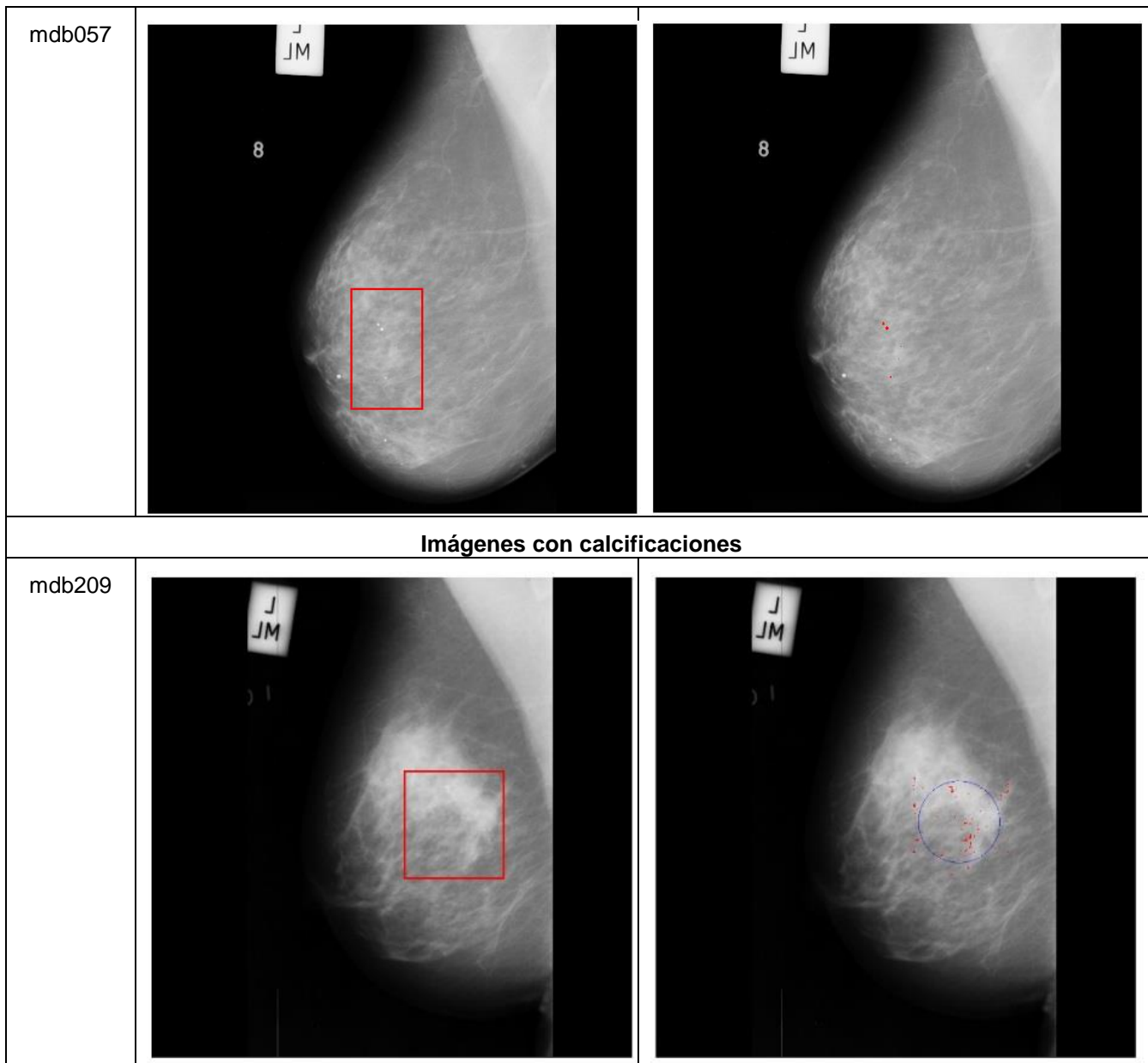
4.2 Validación de los resultados.

La validación de los resultados se realizó haciendo uso de la base de datos *MIAS*, la cual fue descrita en el Capítulo 1. Se seleccionó una muestra de imágenes de la base de datos, haciendo uso del muestreo por cuotas, este tipo de muestreo se basa generalmente en el conocimiento de las características de la población y/o de los individuos más "representativos" o "adecuados" para los fines de la investigación. Primeramente se fijan unas "cuotas" que consisten en un número de individuos que reúnen unas determinadas condiciones y una vez determinada la cuota se eligen los primeros que se encuentren que cumplan esas características.

Las cuotas seleccionadas fueron de 20 imágenes con calcificaciones y 20 sin calcificaciones, el análisis de las mismas se llevó a cabo seleccionando una región de interés para así comparar los resultados arrojados por el componente implementado con el diagnóstico incluido por *MIAS* para cada imagen. Tras comparar ambos diagnósticos, se constató que los resultados obtenidos eran muy cercanos a los incluidos por la base de datos, lo que se puede observar en las siguientes imágenes:

Imagen a analizar con la región de interés seleccionada	Imagen analizada. En las imágenes con calcificaciones se observa un círculo aproximado que encierra las anomalías, creado a partir de los datos ofrecidos por <i>MIAS</i> y de color rojo las posibles calcificaciones detectadas
---	---

Imágenes sin calcificaciones	
mdb003	
mbd024	




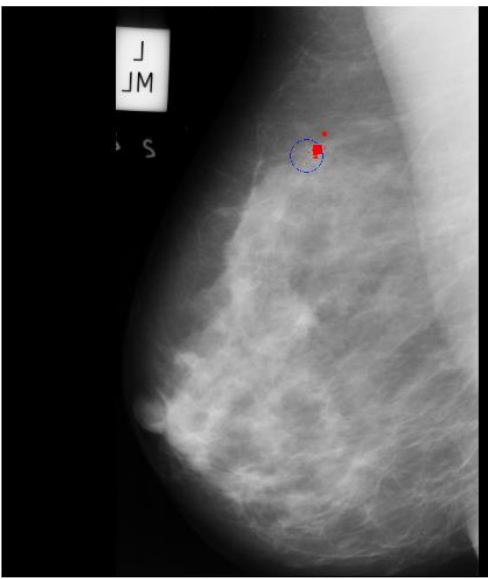
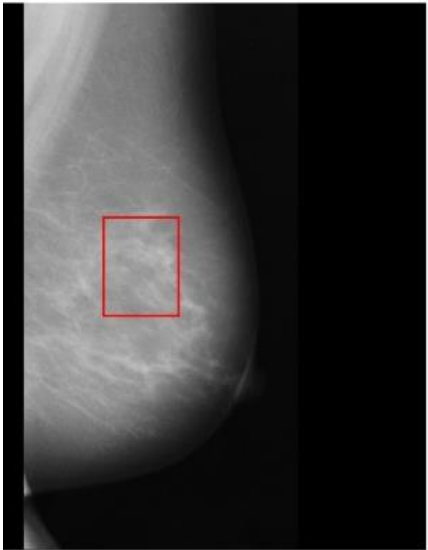
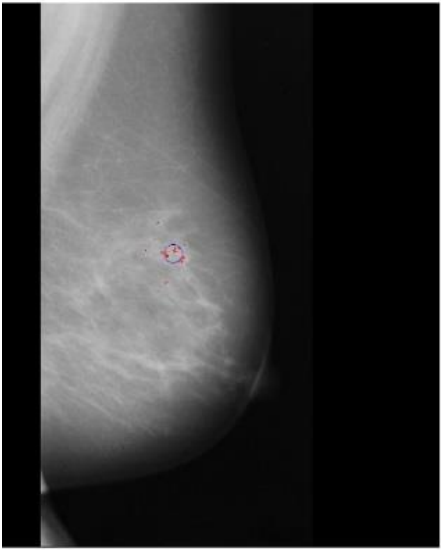
Mdb219		
mdb238		

Tabla 2. Aplicación del componente para la detección de calcificaciones usando imágenes de la base de datos *MIAS*.

Total de Imágenes	Detección de calcificaciones		
	Acertados	Falsos Positivos	Falsos Negativos
20 con calcificaciones	17	1	2
20 sin calcificaciones	18	2	-
Por ciento de detección	87,5%	7,5%	5%

Tabla 3. Resultados estadísticos de la validación del componente aplicado a imágenes con calcificaciones.

Acertados: el componente obtiene los resultados esperados, en el caso de las imágenes con calcificaciones, estas solo son detectadas dentro de las coordenadas ofrecidas por *MIAS* y en el caso de las imágenes sin calcificaciones el componente no detecta nada.

Falsos Positivos: el componente detecta calcificaciones cuando en verdad no las hay, para el caso de las imágenes con calcificaciones, el componente detecta algunas fuera de las coordenadas ofrecidas por *MIAS*.

Falsos Negativos: el componente no detecta las calcificaciones contenidas en la imagen.

De las 40 imágenes analizadas, 3 mostraron falsos positivos, 2 falsos negativos y 35 resultados acertados, representando esto un 7,5%, 5% y 87,5% respectivamente del total de imágenes seleccionadas. Los resultados arrojados por el componente fueron comparados con los obtenidos en la investigación "*Fractal Modeling of Mammograms based on Mean and Variance for the Detection of Microcalcifications*" (descrita en el epígrafe 2.7), mostrando un 5,5% más de sensibilidad.

Conclusiones del capítulo.

La definición de los estilos de codificación sirvió de base para estructurar un código bien organizado, lo que propicia que el mantenimiento y posterior consulta del mismo se realice de manera más fácil. La validación de los resultados garantiza la confiabilidad del componente.

CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de la presente investigación se llevó a cabo la construcción de un componente para asistir la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía de forma más precisa, concluyendo:

- El estudio de las técnicas transformada *wavelet*, segmentación basada en umbralización y crecimiento de regiones y modelado fractal para la detección de calcificaciones en imágenes de mamografía permitió adquirir el conocimiento necesario para llevar a cabo la solución propuesta.
- El diseño y planificación de la solución permitió establecer un punto de partida para las actividades de implementación y facilitó la definición de las funcionalidades a desarrolladas.
- Las pruebas aplicadas a la propuesta de solución permitieron validar las funcionalidades implementadas asegurando así la calidad de la propuesta.

RECOMENDACIONES

Implementar métodos para la clasificación de calcificaciones en benignas y malignas.

Implementar funcionalidades para la detección de otras anomalías que aparecen en las mamas y pueden representar signos de presencia o posible desarrollo de un cáncer como son las masas y las distorsiones arquitecturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. **Radiodiagnóstico digital oral.** Relación entre la Radiología Convencional y la Radiología Digital. [En línea]. Radiodiagnóstico digital oral. Marzo 3, 2012. [Consultado el: 6 de Diciembre, 2013.]. Disponible en: http://www.radiodiagetctodigitaloral.com/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=90&Itemid=76.
2. **ZÚÑIGA, JESÚS I.** Sistemas para archivo y comunicación de imágenes (PACS). México. CENETEC SALUD, 2009.
3. **RODRÍGUEZ, VERÓNICA.** Temas de Ciencia y Tecnologías. México. Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2012. No. 47. Vol. 15.
4. **OMS.** Cáncer de mama: prevención y control. [En línea]. Organización Mundial de la Salud. [Consultado el: 4 de Junio, 2014.]. Disponible en: <http://www.who.int/cancer/detection/breastcancer/es/index1.html>.
5. **CNN México.** Los casos de cáncer de mama en el mundo aumentan un 20% desde 2008. [En línea]. CNN México. Diciembre 12, 2013. [Consultado el: 4 de Mayo, 2014.]. Disponible en: <http://mexico.cnn.com/salud/2013/12/12/los-casos-de-cancer-de-mama-en-el-mundo-aumentan-un-20-desde-2008>.
6. **OPORTO, SAMUEL A.** Detección de Microcalcificaciones en Imágenes de Mamografías Usando Diferencia de Filtros Gaussianos Optimizados. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería, 2004.
7. **GONZALES, ALCIDES.** Segmentación de Imágenes Médicas, mediante Técnicas de Contornos y Técnicas de Regiones. La Habana. UCI, 2010.
8. **BALLESTEROS, FERNANDO.** Desarrollo de aplicaciones DICOM para la gestión de imágenes biomédicas. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid, 2003.
9. **DUVÁN, ALBERTO.** Método de detección de distorsiones de la arquitectura de la glándula mamaria a partir de imágenes radiológicas. Colombia. Universidad Nacional de Colombia, 2011.
10. **VALLEJO, JUANA M.** El diagnóstico estandarizado en mamografía. Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana, 2007.

11. **GUERRA, ANÍBAL; RIVAS, JOEL.** Detección de microcalcificaciones en imágenes mamográficas usando redes neuronales. Caracas. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 2011.
12. **GÓMEZ, BETANCUR; DUVÁN, ALBERTO.** Método de detección de distorsiones de la arquitectura de la glándula mamaria a partir de imágenes radiológicas. Universidad Nacional de Colombia, 2011.
13. **RUIZ, CARLOS; TRUJILLO, ANDRÉS, et al.** Aproximación a la representación en XML de objetos DICOM para fotografía médica digital. Colombia. Escuela de ingeniería de Antioquia, 2007. ISBN: 1794-1237.
14. **BENÍTEZ, ANIA.** Detección automática de regiones cerebrales relacionadas con la regulación de apetito en imágenes de resonancia magnética. Madrid. Universidad Autónoma de Madrid, 2011.
15. **WANG, TED C; KARAYIANNIS, NICOLAOS B.** Detection of Microcalcifications in Digital Mammograms Using Wavelets. Iowa. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1998. No. 4, Vol. 17.
16. **WALLET, BRADLEY C; SOLKA, JEFFREY L, et al.** Method for Detecting Microcalcifications in Digital Mammograms. Baltimore. Journal of Digital Imaging, 1997. Vol. 10, No. 3. ISBN: 0897-1889/97/1003-10435.
17. **DEEPA, SANKAR; TESSAMMA, THOMAS.** Fractal Modeling of Mammograms based on Mean and Variance for the Detection of Microcalcifications. Kerala. Cochin University Of Science and Technology, 2007.
18. **MÉNDEZ, ARTURO J, et al.** A wavelet-based algorithm for detecting clustered microcalcifications in digitized mammograms. Maryland. American Association of Physicists in Medicine, 1999.
19. **PRIEBE, CAREY E, et al.** Method for Detecting Microcalcifications in Digital Mammograms. Baltimore. Journal of Digital Imaging, 1997.
20. **GRIFFITHS, IAN.** Programming C# 4.0. Sebastopol. O'Reilly Media Inc., 2010. ISBN: 978-0-596-15983-2.
21. **Abundiz.** Generalidades y Características (C#). [En línea]. Programación I, Septiembre 8, 2009. [Consultado el: 18 de Febrero, 2014]. Disponible en: http://programacion1abundiz.blogspot.com/2009/09/generalidades-y-caracteristicas-c_08.html.

22. **Oracle Corporation.** NetBeans IDE The Smarter and Faster Way to Code. [En línea]. Oracle Corporation, 2012. [Consultado el: 15 de Febrero, 2013] Disponible en: <http://netbeans.org>.
23. **BAUTA, RENÉ R.** Desarrollo de una herramienta generadora de ficheros de mapeo, para la persistencia de esquemas relacionales basada en Doctrine. Trabajo de Diploma. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, 2009.
24. **DE LA CRUZ, ELIZABETH; GUZMÁN, DALIAMNY.** Propuesta de herramienta CASE para los proyectos del Centro de Desarrollo de Informática Industrial (CEDIN). Trabajo de Diploma. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, 2010.
25. **PRESSMAN, ROGER S.** Ingeniería de Software. Un enfoque práctico. McGraw-Hill, 2005. ISBN: 9701054733.
26. **JACOBSON, IVAR.** El Proceso Unificado de Desarrollo de Software. La Habana. Félix Varela, 2004. ISBN: 84-7829-036-2.
27. **Córdoba Software Factory.** Proceso de Desarrollo OpenUP. [En línea]. Córdoba Software Factory, Septiembre 2, 2008. [Consultado el: 17 de Mayo, 2014]. Disponible en: <http://cbasqa.wordpress.com/2008/09/02/proceso-de-desarrollo-openup/>.
28. **CANÓS, JOSÉ H; LETELIER, PATRICIO, et al.** Metodologías Ágiles en el Desarrollo de Software. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia, 2012.
29. **JUÁREZ, CRISTINA.** Desarrollo de técnicas de Reconocimiento y Procesamiento utilizando un sistema CAD para aplicaciones en medicina y en otras áreas. Mexico. Instituto Politécnico Nacional, 2008.
30. **CASTILLO, MARÍA E.** Detección Automática de Microcalcificaciones en Mamografías Digitales. México. Instituto Politecnico Nacional, 2008.
31. **RISTORI, ESTHER, et al.** Bases de datos de mamografía digital. Estudio comparativo. [En línea]. Rayos Medicina, Agosto 8, 2013. [Consultado el: 19 de Mayo, 2014]. Disponible en: <http://www-rayos.medicina.uma.es/Rmf/RadiolDigital/DDSM.htm>.
32. **VALDESPINO, CECILIA.** Arquitectura de Plug-in para Sistemas de visualización Médica. Manzanillo. Revista Avanzada Científica, 2012. No. 1. Vol. 15. ISBN: 1029-3450.

33. **Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos.** Introducción a la Arquitectura del Software. Sevilla, 2013.
34. **LARMAN, CRAIG.** UML y Patrones Introducción al análisis y diseño orientado a objetos. La Habana. Félix Varela, 2004. 492 p. ISBN: 842-053-438-2.
35. **HRISTOV, ALEXANDER.** Manual de Estilo de Programación. 2007.
36. **MEDINA, RUBÉN; BELLERA, JESÚS.** Bases del Procesamiento de Imágenes Médicas. Mérida. Universidad de Los Andes.

BIBLIOGRAFÍA

Radiodiagnóstico digital oral. Relación entre la Radiología Convencional y la Radiología Digital. [En línea]. Radiodiagnóstico digital oral. Marzo 3, 2012. [Consultado el: 6 de Diciembre, 2013.]. Disponible en: http://www.radiodiagnosticodigitaloral.com/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=90&Itemid=76.

ZÚÑIGA, JESÚS I. Sistemas para archivo y comunicación de imágenes (PACS). México. CENETEC SALUD, 2009.

RODRÍGUEZ, VERÓNICA. Temas de Ciencia y Tecnologías. México. Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2012. No. 47. Vol. 15.

OMS. Cáncer de mama: prevención y control. [En línea]. Organización Mundial de la Salud. [Consultado el: 4 de Junio, 2014.]. Disponible en: <http://www.who.int/cancer/detection/breastcancer/es/index1.html>.

CNN México. Los casos de cáncer de mama en el mundo aumentan un 20% desde 2008. [En línea]. CNN México. Diciembre 12, 2013. [Consultado el: 4 de Mayo, 2014.]. Disponible en: <http://mexico.cnn.com/salud/2013/12/12/los-casos-de-cancer-de-mama-en-el-mundo-aumentan-un-20-desde-2008>.

OPORTO, SAMUEL A. Detección de Microcalcificaciones en Imágenes de Mamografías Usando Diferencia de Filtros Gaussianos Optimizados. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería, 2004.

GONZALES, ALCIDES. Segmentación de Imágenes Médicas, mediante Técnicas de Contornos y Técnicas de Regiones. La Habana. UCI, 2010.

BALLESTEROS, FERNANDO. Desarrollo de aplicaciones DICOM para la gestión de imágenes biomédicas. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid, 2003.

DUVÁN, ALBERTO. Método de detección de distorsiones de la arquitectura de la glándula mamaria a partir de imágenes radiológicas. Colombia. Universidad Nacional de Colombia, 2011.

VALLEJO, JUANA M. El diagnóstico estandarizado en mamografía. Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana, 2007.

- GUERRA, ANÍBAL; RIVAS, JOEL.** Detección de microcalcificaciones en imágenes mamográficas usando redes neuronales. Caracas. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 2011.
- GÓMEZ, BETANCUR; DUVÁN, ALBERTO.** Método de detección de distorsiones de la arquitectura de la glándula mamaria a partir de imágenes radiológicas. Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- RUIZ, CARLOS; TRUJILLO, ANDRÉS, et al.** Aproximación a la representación en XML de objetos DICOM para fotografía médica digital. Colombia. Escuela de ingeniería de Antioquia, 2007. ISBN: 1794-1237.
- BENÍTEZ, ANIA.** Detección automática de regiones cerebrales relacionadas con la regulación de apetito en imágenes de resonancia magnética. Madrid. Universidad Autónoma de Madrid, 2011.
- WANG, TED C; KARAYIANNIS, NICOLAOS B.** Detection of Microcalcifications in Digital Mammograms Using Wavelets. Iowa. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1998. No. 4, Vol. 17.
- WALLET, BRADLEY C; SOLKA, JEFFREY L, et al.** Method for Detecting Microcalcifications in Digital Mammograms. Baltimore. Journal of Digital Imaging, 1997. Vol. 10, No. 3. ISBN: 0897-1889/97/1003-10435.
- DEEPA, SANKAR; TESSAMMA, THOMAS.** Fractal Modeling of Mammograms based on Mean and Variance for the Detection of Microcalcifications. Kerala. Cochin University Of Science and Technology, 2007.
- MÉNDEZ, ARTURO J, et al.** A wavelet-based algorithm for detecting clustered microcalcifications in digitized mammograms. Maryland. American Association of Physicists in Medicine, 1999.
- PRIEBE, CAREY E, et al.** Method for Detecting Microcalcifications in Digital Mammograms. Baltimore. Journal of Digital Imaging, 1997.
- GRIFFITHS, IAN.** Programming C# 4.0. Sebastopol. O'Reilly Media Inc., 2010. ISBN: 978-0-596-15983-2.
- Abundiz.** Generalidades y Características (C#). [En línea]. Programación I, Septiembre 8, 2009. [Consultado el: 18 de Febrero, 2014]. Disponible en: http://programacion1abundiz.blogspot.com/2009/09/generalidades-y-caracteristicas-c_08.html.
- Oracle Corporation.** NetBeans IDE The Smarter and Faster Way to Code. [En línea]. Oracle Corporation, 2012. [Consultado el: 15 de Febrero, 2013] Disponible en: <http://netbeans.org>.

- BAUTA, RENÉ R.** Desarrollo de una herramienta generadora de ficheros de mapeo, para la persistencia de esquemas relacionales basada en Doctrine. Trabajo de Diploma. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, 2009.
- DE LA CRUZ, ELIZABETH; GUZMÁN, DALIAMNY.** Propuesta de herramienta CASE para los proyectos del Centro de Desarrollo de Informática Industrial (CEDIN). Trabajo de Diploma. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, 2010.
- PRESSMAN, ROGER S.** Ingeniería de Software. Un enfoque práctico. McGraw-Hill, 2005. ISBN: 9701054733.
- JACOBSON, IVAR.** El Proceso Unificado de Desarrollo de Software. La Habana. Félix Varela, 2004. ISBN: 84-7829-036-2.
- Córdoba Software Factory.** Proceso de Desarrollo OpenUP. [En línea]. Córdoba Software Factory, Septiembre 2, 2008. [Consultado el: 17 de Mayo, 2014]. Disponible en: <http://cbasqa.wordpress.com/2008/09/02/proceso-de-desarrollo-openup/>.
- CANÓS, JOSÉ H; LETELIER, PATRICIO, et al.** Metodologías Ágiles en el Desarrollo de Software. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia, 2012.
- JUÁREZ, CRISTINA.** Desarrollo de técnicas de Reconocimiento y Procesamiento utilizando un sistema CAD para aplicaciones en medicina y en otras áreas. Mexico. Instituto Politécnico Nacional, 2008.
- CASTILLO, MARÍA E.** Detección Automática de Microcalcificaciones en Mamografías Digitales. México. Instituto Politecnico Nacional, 2008.
- RISTORI, ESTHER, et al.** Bases de datos de mamografía digital. Estudio comparativo. [En línea]. Rayos Medicina, Agosto 8, 2013. [Consultado el: 19 de Mayo, 2014]. Disponible en: <http://www-rayos.medicina.uma.es/Rmf/RadiolDigital/DDSM.htm>.
- VALDESPINO, CECILIA.** Arquitectura de Plug-in para Sistemas de visualización Médica. Manzanillo. Revista Avanzada Científica, 2012. No. 1. Vol. 15. ISBN: 1029-3450.
- Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos.** Introducción a la Arquitectura del Software. Sevilla, 2013.

LARMAN, CRAIG. UML y Patrones Introducción al análisis y diseño orientado a objetos. La Habana. Félix Varela, 2004. 492 p. ISBN: 842-053-438-2.

HRISTOV, ALEXANDER. Manual de Estilo de Programación. 2007.

MEDINA, RUBÉN; BELLERA, JESÚS. Bases del Procesamiento de Imágenes Médicas. Mérida. Universidad de Los Andes.

Sparx Systems. Enterprise Architect - Herramienta de diseño UML. [En línea]. Sparx Systems, 2007. [Consultado el: 18 de Febrero, 2014]. Disponible en: <http://www.sparxsystems.com.ar/products/ea.html>.

Microsoft Developer Network. Introducción Visual Studio. [En línea]. Microsoft Developer Network, 2014. [Consultado el: 18 de Febrero, 2014]. Disponible en: <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms165079.aspx>.

BARROS, JORGE. Informe de Cáncer de la OMS. [En línea]. Manual Naturista del Cáncer. 2009 [Consultado el: 26 de Febrero, 2014]. Disponible en: <http://www.manualnaturistadelcancer.com/2009/11/informe-de-cancer-de-la-oms.html>.

DEEPA, SANKAR Y TESSAMMA, THOMAS. National Center for Biotechnology Information. [En línea]. Department of Electronics, Cochin University of Science & Technology, 2012. [Consultado el: 8 de Abril, 2014]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3046673/>.

GRGIC, MISLAV. Databases. [En línea]. Mammographic Image Analysis, Abril 17, 2011. [Consultado el: 5 de Diciembre, 2013]. Disponible en: <http://www.mammoimage.org/databases/>.

STROUSTRUP, BJARNE. El lenguaje de programación C++. Wilmington. Adison-Wesley, 1993. ISBN: 0-201-60104-4.

GARCÍA, JAVIER, et al. Aprenda Java como si estuviera en primero. San Sebastián. Universidad de Navarra, 2000.

Visual Paradigm International. Visual Paradigm Boost Productivity with Innovative and Intuitive Technologies. [En línea]. Visual Paradigm International, 2012. [Consultado el: 6 de Febrero, 2013]. Disponible en: <http://www.visual-paradigm.com>.

OMS. Cancer. Datos y Cifras. [En línea]. Organización Mundial de la Salud, Febrero, 2014. [Consultado el: 4 de Junio, 2014.] Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/es/>.

ANEXOS

Anexo 1 Modelo de Dominio.

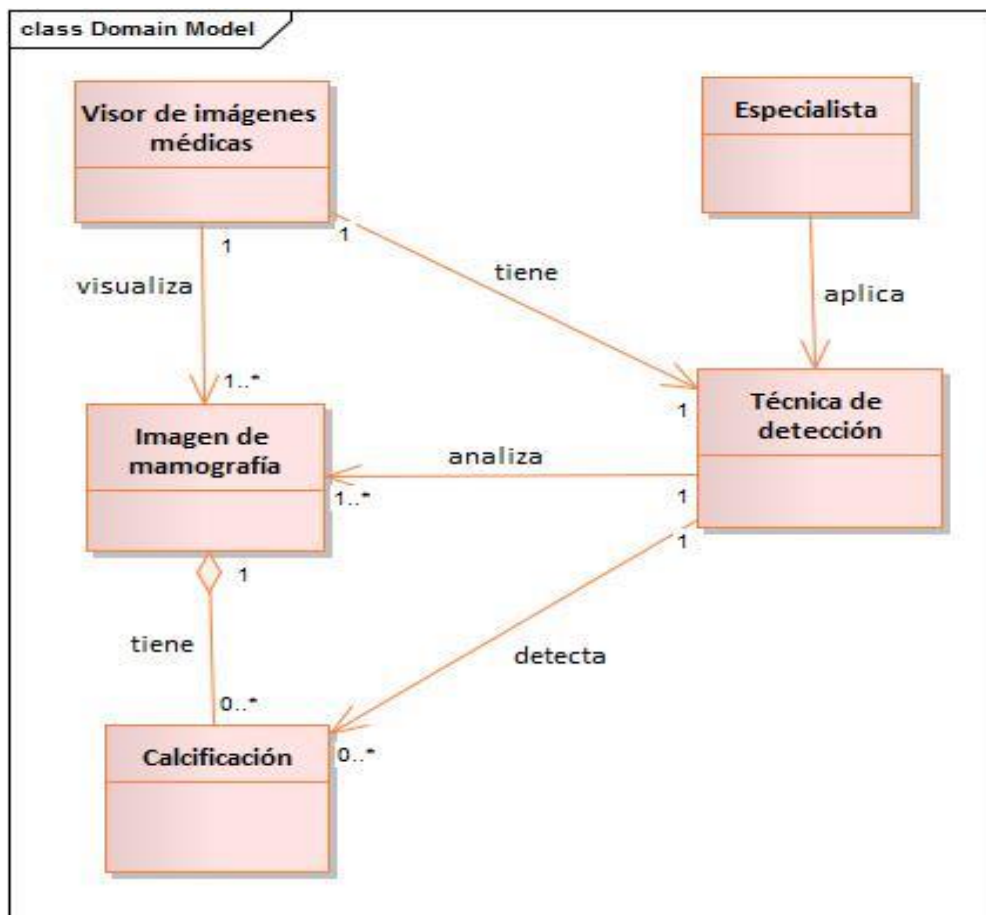


Figura 13. Modelo de Dominio.

- **Definición de las clases del sistema:**

Visor de imágenes médicas: representa al sistema que carga y permite visualizar una mamografía.

Imagen de mamografía: imagen que va a ser analizada.

Técnica de detección: representa las operaciones necesarias para detectar calcificaciones en imágenes de mamografía.

Calcificación: representa el resultado que se obtiene luego de aplicar la técnica de detección a la mamografía.

Especialista: Representa al usuario que interactúa con el sistema. Aplica la técnica de detección.

[Volver al epígrafe 2.2 Modelo de Dominio.](#)

Anexo 2 Casos de uso expandidos.

CU 1. Aplicar técnica de detección.	
Objetivo	Analizar una imagen de mamografía a través de una técnica para la detección de calcificaciones y mostrar las posibles calcificaciones existentes en esta.
Actores	Especialista (inicia).
Resumen	El caso de uso se inicia cuando el especialista selecciona la opción Aplicar técnica de detección, el sistema obtiene una imagen correspondiente al fondo de la imagen que se está analizando, conocida como imagen modelada, luego realiza un mejoramiento de calcificaciones para obtener las posibles calcificaciones contenidas en la imagen, muestra los resultados obtenidos y permite variar el umbral para que los resultados sean más exactos.
Complejidad	Alta
Prioridad	Crítico
Referencias	RF 1, RF 2, RF 5, RF 6
Precondiciones	El visor de imágenes médicas debe haber cargado una imagen de mamografía.
Postcondiciones	Se muestran las posibles calcificaciones contenidas en la imagen con una tonalidad roja.
Flujo de eventos	
Flujo básico Aplicar técnica de detección	
<ol style="list-style-type: none"> 1. El especialista selecciona la opción Aplicar técnica de detección. 2. El sistema obtiene una imagen que contiene el fondo de la imagen que se está analizando, conocida como imagen modelada. 3. El sistema mejora las calcificaciones. (Ver CU 2. Resaltar Calcificaciones) 4. El sistema toma las coordenadas de las calificaciones obtenidas en el mejoramiento y las coloca en la 	

<p>imagen original con un color rojo.</p> <p>5. El sistema permite variar el umbral para obtener resultados más acertados.</p> <p>6. Termina el caso de uso.</p>		
<p>Flujo básico Aplicar técnica de detección seleccionando área</p>		
<ol style="list-style-type: none"> 1. El especialista selecciona un área. 2. El sistema muestra la selección realizada sobre la imagen. 3. El especialista selecciona la opción Aplicar técnica de detección. 4. El sistema toma la selección como una imagen. 5. El sistema crea una nueva imagen que modela a la imagen seleccionada, es decir contiene el fondo de la imagen seleccionada. 6. El sistema resalta las calcificaciones. (Ver CU 2. Resaltar Calcificaciones) 7. El sistema toma las coordenadas de las calificaciones obtenidas en el mejoramiento y las coloca en la imagen original con un color rojo. 8. El sistema permite variar el umbral para obtener resultados más acertados. 9. Termina el caso de uso. 		
<p>Flujos alternos: No Aplicable</p>		
Relaciones	CU Incluidos	Resaltar calcificaciones. Ver CU 2. Resaltar Calcificaciones.
	CU Extendidos	No aplicable
Requisitos funcionales	no	No aplicable
Asuntos pendientes		No aplicable

Tabla 4. CU 1 expandido.

CU 2. Resaltar calcificaciones.	
Objetivo	Hacer visibles las posibles calcificaciones contenidas en la imagen.
Actores	Especialista.

Resumen	El caso de uso comienza cuando el sistema crea una imagen que modela a la imagen original, luego resta a la imagen original la imagen modelada y el resultado de esta diferencia es comparado con un umbral para descartar falsos positivos.	
Complejidad	Alta	
Prioridad	Crítico	
Referencias	RF 3, RF 4	
Precondiciones	El visor de imágenes médicas debe haber cargado una imagen de mamografía y el especialista debe haber seleccionado la opción Aplicar técnica de detección .	
Postcondiciones	Se crea una nueva imagen que contiene solamente las posibles calcificaciones.	
Flujo de eventos		
Flujo básico Resaltar Calcificaciones		
<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema resta a la imagen original la imagen modelada. 2. El sistema crea una imagen que contiene todos los puntos que pudieran ser calcificaciones, resultado de la diferencia entre la imagen original y la modelada. 3. El sistema compara los puntos obtenidos con un umbral, para descartar los valores menores que este, debido a que estos valores no son calcificaciones. 4. El sistema crea una imagen binaria que contiene solamente las posibles calcificaciones. 5. Termina el caso de uso. 		
Flujos alternos: No Aplicable		
Relaciones	CU Incluidos	No aplicable
	CU Extendidos	No aplicable
Requisitos funcionales	no	No aplicable
Asuntos pendientes	No aplicable	

Tabla 5. CU 2 expandido.

[Volver al epígrafe 2.5.1 Casos de uso expandidos.](#)

Anexo 3 Entrevista realizada al Dr. Roberto Miranda Barrabia.

Preguntas:

- ¿Qué métodos se utilizan para realizar estudios mamográficos?
- ¿Permiten estos métodos detectar cualquier anomalía en las mamas?
- ¿Cuál de estos métodos es el más adecuado para la detección de calcificaciones?

Respuestas:

- La mamografía y el ultrasonido de mama.
- El ultrasonido detecta cualquier lesión nodular y determina si es sólida o quistes y si es presunta de malignidad. La mamografía además de esto puede detectar microcalcificaciones y nódulos bien profundos que pueden escapar en el ultrasonido.
- La mamografía, por medio de esta se puede diagnosticar las calcificaciones y microcalcificaciones. Por el ultrasonido son muy difíciles de detectar.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Macrocalcificaciones: depósitos de calcio voluminosos (grandes) que probablemente representen cambios degenerativos en los senos, tales como el envejecimiento de las arterias, viejas lesiones o inflamación de los senos. Estos depósitos están asociados a afecciones benignas (no cancerosas) y no requieren una biopsia.

Microcalcificaciones: trocitos muy pequeños de calcio en los senos. Pueden aparecer individualmente o en forma de racimos. Las microcalcificaciones que se observan en un mamograma preocupan un poco más que las macrocalcificaciones, pero no siempre significan la presencia de cáncer.

Radiología analógica: conjunto de técnicas para obtener imágenes radiológicas escaneadas en una placa radiográfica.

Radiología digital: conjunto de técnicas para obtener imágenes radiológicas escaneadas en formato digital.

Segmentación basada en umbralización: Este tipo de segmentación, permite separar un objeto dentro de la imagen del fondo que lo circunda, la técnica se basa en comparar alguna propiedad de una imagen con un umbral fijo o variable, realizando tal comparación para cada uno de los píxeles que conforman la imagen, si el valor de la propiedad de un píxel supera el valor del umbral, entonces el píxel pertenece al objeto, en caso contrario, el píxel pertenece al fondo. (36)

Segmentación por crecimiento de regiones: De acuerdo a esta técnica, se buscan píxeles que tengan características similares (por ejemplo niveles de gris similares) y que adicionalmente sean vecinos. El método comienza con un píxel, el cual es seleccionado automáticamente o proporcionado por el usuario y a continuación examina los píxeles vecinos para decidir si tienen características similares. De ser así, el píxel vecino que cumpla con tal condición de similaridad, es agrupado junto con los anteriores para conformar así una región. (36)